

---

**SEMINAR NASIONAL INFRASTRUKTUR ENERGI NUKLIR**

**Pontianak, 10 Oktober 2019**

---

---

**PUSAT KAJIAN SISTEM ENERGI NUKLIR  
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL**

ISSN: 2621-3125

# **SEMINAR**

## **NASIONAL INFRASTRUKTUR ENERGI NUKLIR**

**“Keterlibatan Pemangku Kepentingan dalam rangka  
Penyiapan Pembangunan PLTN di Kalimantan Barat”**

Pontianak, 10 Oktober 2019

Kerja sama:



Fakultas Teknik  
Universitas Tanjungpura



**batan**  
Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir  
Badan Tenaga Nuklir Nasional

Didukung Oleh:



Pemerintah Daerah Provinsi Kalimantan Barat



# DEWAN EDITOR

---

Dr. Ing. Ir. Eka Priadi, MT	UNTAN
Ir. Rudy Gianto, MT, Ph.D	UNTAN
Dr. Ing. Ir. Slamet Widodo, MT	UNTAN
Dr. Eng. Ir. Hardiansyah, MT	UNTAN
Ir. Elvira, MT, Ph.D	UNTAN
Dr. Herry Sujaini, ST, MT	UNTAN
Dr. Aji Ali Akbar, M.Si	UNTAN
Dr. Nurhayati, ST, MT	UNTAN
Dr. Hj. Henny Herawati, ST, MT	UNTAN
Dr. Rizki Purnaini, ST, MT	UNTAN
Dr. Bomo Wibowo Sanjaya, ST, MT	UNTAN
Dr. Eng. Mohammad Sofitra, ST, MT	UNTAN
Dr. Ing. Seno Darmawan Panjaitan, ST, MT	UNTAN
Ayong Hiendro, ST, MT	UNTAN
Budhi Purwoko, ST, MT	UNTAN
Dian Rahayu Jati, ST, M.Si	UNTAN
Dr. Retno Gumilang Dewi	ITB
Dr. Eko Budi Lelono	PSG
Dra. Heni Susiati, M.Si.	BATAN
Ir. Sriyana, M.T.	BATAN
Ir. Edwaren Liun	BATAN
Ir. Moch. Djoko Birmano, M.Sc.	BATAN
Wiku Lulus Widodo, M.Eng.	BATAN
Dr. Sunarko	BATAN
Imam Bastori, S.T.	BATAN
Ir. Tagor Malem Sembiring	BATAN
Drs. Susetyo Trijoko, M.App.Sc.	BATAN
Nuryanti, M.T.	BATAN
Dra. Dharu Dewi, M.Si.	BATAN
Yuliasuti, M.Si.	BATAN
Mudjiono, S.Si	BATAN

# S A M B U T A N

---

*Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh;*

Salam Sejahtera bagi kita semua; *Shalom; Om Swastiastu; Namó Buddhaya;* Salam Kebajikan.

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Kuasa, pagi ini saya bisa berada di sini bertemu dengan Ibu-Ibu dan Bapak- Bapak sekalian, tentu tak lupa saya untuk menyapa, Yang terhormat Gubernur Kalimantan Barat dalam hal ini diwakili oleh Kepala Balitbangda; yang saya hormati Rektor Universitas Tanjungpura yang diwakili oleh Dr. M. Iqbal Arsyad; yang saya hormati kolega saya Kepala BAPETEN; yang saya hormati Mantan Ketua Kaukus Nuklir di Parlemen Komisi VII Bapak Dr. Kurtubi, sekarang beliau luar biasa mempromosikan iptek nuklir, kita doakan bersama semoga Beliau tetap sehat untuk terus mengawal nuklir di Indonesia tepuk tangan untuk Pak Kurtubi. Saya sapa juga teman-teman saya dari BATAN, BAPETEN ada disini banyak, kemudian juga dari UNTAN Bu Dr. Netty dan kawan-kawan, Pak As Natio, Pak Arnold, senior-senior kami yang sudah merasakan asam garam mempromosikan PLTN sejak beberapa tahun yang lalu, dan juga semua adik-adik mahasiswa yang sudah hadir di sini.

Ini seminar yang ketiga yang saya hadiri dalam seminggu ini, hari Senin di Bali bersama Pak Jazi, ada Pak Kurtubi tentang teknologi yang sangat maju dari PLTB..Hari Selasa di Bogor, mengenai Baterai, dan *advanced material* (material maju). Jadi banyak yang belum tahu juga bahwa iptek nuklir manfaatnya tidak hanya untuk energi, bahkan mendukung riset baterai, pengembangan baterai yang justru hulunya adalah dengan iptek nuklir. Jepang melakukan penelitian baterai dengan menggunakan 70% sumber neutron yang dihasilkan reaktor penelitiannya. Reaktor penelitian kita di Serpong memiliki sumber neutron yang besar dan sudah mulai digunakan, tetapi masih perlu dilipatgandakan lagi penggunaannya sehingga saya mengundang mahasiswa-mahasiswa dari universitas mana saja yang mau menggunakan reaktor riset kami di Serpong, memanfaatkan berkas neutronnya, silahkan datang di Serpong. Hari ini bicara tentang Infrastruktur Energi Nuklir, sebelumnya pagi tadi Subuh sudah bicara di hadapan Majelis Sajadah Fajar, saya tidak memberikan tausiah agama tetapi didaulat untuk memberikan hal tentang iptek nuklir. Saya senang sekali ternyata banyak juga yang bertanya. Dari yang bertanya tentang molekul itu apa, nuklir itu apa sampai kemudian masuk ke pertanyaan tentang PLTN.

Salah satu aspek dalam penyiapan infrastruktur energi nuklir adalah Keterlibatan Pemangku Kepentingan. Apabila berbicara tentang pembangunan PLTN, tidak bisa hanya satu organisasi, satu kementerian, satu Lembaga tetapi harus melibatkan banyak kementerian, banyak lembaga, banyak organisasi sehingga harus ada dirigen-nya. Yang sering ditanya tentu BATAN, terus BATAN bagaimana ini Pak? Kapan BATAN membangun PLTN? dan sebagainya. Sering kali yang dilihat hanya BATAN, padahal banyak sekali Lembaga yg menentukan bisa tidaknya suatu PLTN itu dibangun. BATAN sendiri sebagai Lembaga litbang yang diberi tugas melakukan penelitian,

pengembangan dan pemanfaatan iptek nuklir dalam kaitan ini tugasnya adalah yang utama sebagai *Technical Support Organization-TSO*, pemberi dukungan teknis, apa saja konkritnya? Konkritnya 1. Membantu melakukan studi tapak, 2. Membantu menyiapkan dokumen-dokumen untuk studi kelayakan, 3. Membantu melakukan pemilihan teknologi, 4. Membantu melakukan transfer teknologi, pada saat proyek itu benar-benar dilakukan dan yang lain adalah penyiapan SDM. Itulah tugas-tugas BATAN yang sesuai dengan kewenangan BATAN. Misalkan melakukan studi tapak, kita sudah melakukan di beberapa tempat seperti di Jepara dan di Bangka studi tapak sudah selesai bahkan, kemudian kita juga melakukan pra-survei tapak di Nusa Tenggara Barat-NTB, Kalimantan Timur dan juga di Kalimantan Barat, kita sudah lakukan itu. Dan sekali lagi, BATAN akan mendukung Pemerintah Daerah yg memang memiliki niat untuk mengintroduksi nuklir sebagai salah satu pembangkit energinya.

Perlu didiskusikan kembali apa saja infrastrukturnya, bagaimana menyiapkannya dan lain sebagainya. Selain itu juga ada *paper-paper* yang mungkin secara lebih teknis akan mengupas banyak hal terutama dari teman-teman BATAN dan mitra BATAN yang lain. Harapan saya tentunya seminar ini jadi salah satu cara untuk mendesiminasikan dan juga untuk mendiskusikan, Pak Suparman (Kepala Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir – BATAN) tadi menyampaikan bahwa, mungkin ada yang tidak setuju ada yang setuju, semuanya silakan tetapi tujuan kita mudah-mudahan tetap satu, semua itu adalah untuk kesejahteraan masyarakat. Dan BATAN sudah sesuai dengan mandatnya melakukan litbang iptek nuklir untuk perdamaian dan kesejahteraan.

Saya kira itu saja, saya tidak ingin berpanjang lebar dan nanti saya masih ada waktu untuk bicara lagi. Dan sesuai dengan permintaan panitia, dengan mengucapkan *Bismillahirrahmanirrahim*, dengan nama Tuhan Yang Maha Kuasa, Yang Maha Pemurah lagi Maha Penyayang, saya menyatakan Seminar Infrastruktur Energi Nuklir Tahun 2019 di Universitas Tanjungpura ini dibuka. Saya mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada Universitas Tanjungpura, Provinsi Kalimantan Barat, seluruh panitia dan seluruh hadirin yang di sini.

Terima kasih,

*WabillahiTaufik Walhidayah Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.*

Pontianak, 10 Oktober 2010

Prof. Dr. Ir. Anhar Riza Antariksawan

# KATA PENGANTAR

---

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional bekerja sama dengan Universitas Tanjungpura menyelenggarakan Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir (SIEN) tahun 2019. Seminar ini merupakan SIEN yang kedua kalinya. Seminar ini dimaksudkan sebagai wadah tukar menukar hasil kajian dan penelitian dan informasi dari para pemangku kepentingan PLTN di Indonesia.

Sebagaimana diketahui keterlibatan pemangku kepentingan sangat diperlukan dalam rangka untuk mengelola dan memecahkan masalah sosial, politik dan budaya yang mungkin terjadi akibat pembangunan PLTN pada seluruh tahapan kegiatan. Melalui pelibatan pemangku kepentingan diharapkan dapat mempengaruhi perubahan sosial ke arah peningkatan pemahaman dan penerimaan masyarakat terhadap rencana pembangunan dan pengoperasian PLTN

Panitia SIEN 2019 menerima 79 makalah. Setelah melalui evaluasi oleh Dewan Editor, diputuskan 76 makalah dapat diterima untuk dipresentasikan, sedang 3 makalah dinyatakan ditarik oleh penulis. Makalah yang diterima tersebut kesemuanya berasal dari 6 (enam) instansi yakni BATAN, BAPETEN, Universitas Tanjung Pura, Universitas Gadjah Mada, Universitas Pertahanan dan Komunitas Pegiat Energi Baru dan Terbarukan Pontianak.

Panitia mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah membantu terselenggaranya Seminar Nasional ini khususnya bagi Civitas Akademika Universitas Tanjungpura juga Pemerintah Daerah Propinsi Kalimantan Barat yang telah memberikan bantuan dan dukungan demi terselenggaranya acara ini.

Akhir kata, kami memohon maaf atas segala kekurangan dalam penyelenggaraan acara ini.

Pontianak, 10 Oktober 2019  
Ketua Panitia SIEN 2019

Dedy Priambodo, ST, MT

# SURAT KEPUTUSAN



KEPUTUSAN  
KEPALA PUSAT KAJIAN SISTEM ENERGI NUKLIR  
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL  
NOMOR: 80/SEN/V/2019

TENTANG  
PEMBENTUKAN PANITIA PELAKSANA  
SEMINAR NASIONAL INFRASTRUKTUR ENERGI NUKLIR (SIEN)  
PUSAT KAJIAN SISTEM ENERGI NUKLIR  
TAHUN 2019

KEPALA PUSAT KAJIAN SISTEM ENERGI NUKLIR

- Menimbang : a. bahwa dalam rangka tukar menukar informasi dan diskusi tentang infrastruktur dan energi nuklir, maka dipandang perlu untuk menyelenggarakan Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir (SIEN);
- b. bahwa untuk ketertiban dan kelancaran pelaksanaan Seminar tersebut dipandang perlu membentuk Panitia Pelaksana.
- Mengingat : 1. Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997;
2. Keputusan Presiden RI Nomor 46 Tahun 2013;
3. Peraturan Kepala BATAN Nomor 14 Tahun 2013 sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Kepala BATAN Nomor 16 Tahun 2014;
4. Keputusan Kepala BATAN Nomor 23/KA/I/2018.

MEMUTUSKAN :

- KESATU : Membentuk Panitia Pelaksana Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir (SIEN), yang selanjutnya disebut Panitia Pelaksana, dengan susunan seperti tersebut pada lampiran Keputusan ini.



-2-

- KEDUA : Menyelenggarakan Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir (SIEN) dengan tema “Keterlibatan Pemangku Kepentingan dalam Rangka Penyiapan Pembangunan PLTN di Kalimantan Barat” bertempat di Universitas Tanjungpura, Kalimantan Barat pada bulan Oktober 2019.
- KETIGA : Segala biaya yang diperlukan untuk penyelenggaraan Seminar tersebut dibebankan pada dana DIPA Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir tahun 2019 dan Universitas Tanjungpura, Kalimantan Barat.
- KEEMPAT : Panitia Pelaksana wajib membuat laporan tertulis mengenai pelaksanaan Seminar tersebut kepada Kepala Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir dan Universitas Tanjungpura, Kalimantan Barat.
- KELIMA : Keputusan ini berlaku terhitung pada tanggal ditetapkan, dengan ketentuan apabila dikemudian hari ternyata terdapat kesalahan/kekeliruan dalam keputusan ini akan diadakan perbaikan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Jakarta  
Pada tanggal 16 Mei 2019

KEPALA PUSAT KAJIAN SISTEM ENERGI NUKLIR,



SUPARMAN



Lampiran  
KEPUTUSAN KEPALA PUSAT KAJIAN SISTEM ENERGI NUKLIR  
NOMOR : 80/SEN/V/2019  
TANGGAL : 16 MEI 2019

SUSUNAN  
ANGGOTA PANITIA PELAKSANA  
SEMINAR NASIONAL INFRASTRUKTUR ENERGI NUKLIR (SIEN)  
PUSAT KAJIAN SISTEM ENERGI NUKLIR  
TAHUN 2019

---

Pengarah : 1. Ir. Suryantoro, M.T. (BATAN)  
2. Dr. rer.nat. Ir. R.M. Rustamadji, M.T. (UNTAN)  
3. Ir. Ansfridus J. Andjioe, ME (DINAS ESDM KALBAR)  
4. Ir. H. Adi Yani, MH (DINAS PERKIM LH KALBAR)

Penanggungjawab : Dr. Suparman  
Ketua : Dedy Priambodo, M.T. (BATAN)  
Wakil Ketua : 1. Dr. Eng. Rudi Kurnianto, ST, MT (UNTAN)  
2. Neilcy Tjahjamoorniasih, ST, MT (UNTAN)  
Sekretaris : 1. Yuni Indrawati, S.Si. (BATAN)  
2. Sufiana Solihat, S.T. (BATAN)  
3. Farida (BATAN)  
4. Dr. Erni Yuniarti, ST, M.Si (UNTAN)  
5. Dr. Yopa Eka Prawatya, ST, M.Eng (UNTAN)

Anggota :

Seksi-seksi

1. Seksi Acara/Persidangan

1. Abimanyu Bondan Wicaksono Setiaji, S.T. (BATAN)
2. Elok Satiti Amitayani, S.Si., M.T. (BATAN)
3. Citra Candranurani, S.T., M.T. (BATAN)

- |                                     |                  |
|-------------------------------------|------------------|
| 4. Nur Hasanah, S.T.                | (BATAN)          |
| 5. Dr. Eng. Ferry Hadary, ST, M.Eng | (UNTAN)          |
| 6. Dr. Jumadi                       | (UNTAN)          |
| 7. Dr. Ir. H. Radian, MS            | (UNTAN)          |
| 8. Noverly Nuzuluddin, ST, MT       | (BAPPEDA KALBAR) |
2. Seksi Humas & Transportasi
- |  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. Imam Hamzah                                 | (BATAN)                  |
| 2. Dr. Usman A. Gani, ST, MT                   | (UNTAN)                  |
| 3. Dr.techn. Zairin Zain, ST, MT               | (UNTAN)                  |
| 4. M. Khalid Syafrianto, ST, MT (Transportasi) | (UNTAN)                  |
| 5. Hendri Sutrisno, ST, MT (Transportasi)      | (UNTAN)                  |
| 6. Desy Ariani, ST, MT                         | (DINAS ESDM KALBAR)      |
| 7. Solatiana, SH                               | (DINAS PERKIM LH KALBAR) |
3. Seksi Konsumsi
- |                        |         |
|------------------------|---------|
| 1. Meity Purwantini    | (BATAN) |
| 2. Marcelina, ST, M.Sc | (UNTAN) |
| 3. Widarsih            | (UNTAN) |
4. Seksi Perlengkapan
- |                        |         |
|------------------------|---------|
| 1. Kusnaedi Puasora    | (BATAN) |
| 2. Saryudi, S.Pi, M.Si | (UNTAN) |
5. Seksi Dokumentasi
- |                             |         |
|-----------------------------|---------|
| 1. Eddy Syah Putra, S.T.    | (BATAN) |
| 2. Slamet Suryanto          | (BATAN) |
| 3. Dr.Netty Herawati, M.Si. | (UNTAN) |
| 4. Dr. Yus Sholva, ST, MT   | (UNTAN) |
6. Seksi Keuangan
- |                        |         |
|------------------------|---------|
| 1. Rohmani             | (BATAN) |
| 2. Agus Aryanto, A.Md. | (BATAN) |

#### 7. Seksi Prosiding

1. Arief Tris Yuliyanto, M.T. (BATAN)
2. Ewitha Nurulhuda, A.Md. (BATAN)
3. Denissa Beauty Syahna, A.Md. (BATAN)
4. Euis ETTY Al Hakim, S.Si. (BATAN)
5. Theo Alvin R, S.T. (BATAN)
6. Laili Farah, S.T. (BATAN)

#### 8. Editor

1. Dr. Ing. Ir. Eka Priadi, MT (UNTAN)
2. Ir. Rudy Gianto, MT, Ph.D (UNTAN)
3. Dr. Ing. Ir. Slamet Widodo, MT (UNTAN)
4. Dr. Eng. Ir. Hardiansyah, MT (UNTAN)
5. Ir. Elvira, MT, Ph.D (UNTAN)
6. Dr. Herry Sujaini, ST, MT (UNTAN)
7. Dr. Aji Ali Akbar, M.Si (UNTAN)
8. Dr. Nurhayati, ST, MT (UNTAN)
9. Dr. Hj. Henny Herawati, ST, MT (UNTAN)
10. Dr. Rizki Purnaini, ST, MT (UNTAN)
11. Dr. Bomo Wibowo Sanjaya, ST, MT (UNTAN)
12. Dr.Eng. Mohammad Sofitra, ST, MT (UNTAN)
13. Dr. Ing. Seno Darmawan Panjaitan, ST, MT (UNTAN)
14. Ayong Hiendro, ST, MT (UNTAN)
15. Budhi Purwoko, ST, MT (UNTAN)
16. Dian Rahayu Jati, ST, M.Si (UNTAN)
17. Dr. Retno Gumilang Dewi (ITB)
18. Dr. Eko Budi Lelono (PSG)
19. Dra. Heni Susiati, M.Si. (BATAN)
20. Sriyana, M.T. (BATAN)
21. Ir. Edwaren Liun (BATAN)
22. Ir. Moch. Djoko Birmano, M.Sc. (BATAN)
23. Wiku Lulus Widodo, M.Eng. (BATAN)
24. Dr. Sunarko (BATAN)

- |                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| 25. Imam Bastori, S.T.              | (BATAN) |
| 26. Ir. Tagor Malem Sembiring       | (BATAN) |
| 27. Drs. Susetyo Trijoko, M.App.Sc. | (BATAN) |
| 28. Nuryanti, M.T.                  | (BATAN) |
| 29. Dra. Dharu Dewi, M.Si.          | (BATAN) |
| 30. Yuliasuti, M.Si.                | (BATAN) |
| 31. Mudjiono, S.Si                  | (BATAN) |

KEPALA PUSAT KAJIAN SISTEM ENERGI NUKLIR,



*[Handwritten Signature]*  
DR. SUPARMAN

# DAFTAR ISI

---

DEWAN EDITOR	iii
SAMBUTAN	iv
KATA PENGANTAR	vi
SURAT KEPUTUSAN	vii
DAFTAR ISI	xiii
<b><u>KELOMPOK A : ENERGI DAN BAHAN BAKAR NUKLIR</u></b>	
1. ANALISIS LINGKUNGAN STRATEGIS PENYIAPAN PEMBANGUNAN PLTN DI KALIMANTAN BARAT UNTUK MEWUJUDKAN KETAHANAN ENERGI INDONESIA Khusnul Khotimah, Hanna Yasmine, Ika Wakyu Setya Andani, Sunarto	1
2. PERKEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN DI BEBERAPA NEGARA Nurlaila, Arief Tris Yuliyanto	11
3. STUDI ALIRAN DAYA SINKRONISASI GRID PADA SISTEM CATU DAYA DARURAT PLTN PWR 100 MWe Khairul Handono, Indarzah, Tukiman	23
4. KAJIAN ASPEK PERTAHANAN DALAM MENDUKUNG PEMBANGUNAN PLTN DI KALIMANTAN BARAT Abdul Rahman Alfarasyi, R Djoko Andreas	31
5. POTENSI KEKUATAN INDONESIA DENGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR Adityo Darmawan Sudagung, Rahmiana Aclandea	39
6. EFEK DATA NUKLIR WIMS PADA PARAMETER SEL BAHAN BAKAR REAKTOR GARAM CAIR Tagor Malem Sembiring, Siti Alimah, Trijoko Sulistiyo	49
7. PRODUKSI BIODIESEL PADA MINI PLANT DENGAN PEMANAS AIR SURYA MENGGUNAKAN KATALIS HOMOGEN Syarifurrahman, Usman A. Gani, Rinjani R. R., Muadinna	57
<b><u>KELOMPOK B1 : TAPAK, LINGKUNGAN, EKONOMI, INFRASTRUKTUR &amp; INDUSTRI</u></b>	
8. ANALISIS DEKOMPOSISI TEMPERATUR UDARA DI PULAU BANGKA Sunarko, Denissa Beauty Syahna, Slamet Suryanto	63
9. IDENTIFIKASI PATAHAN DI PULAU BANGKA BERDASARKAN PEMANTAUAN GEMPABUMI DARI JARINGAN SEISMIK BANGKA Yuni Indrawati, Dedy Priambodo, Sunarko, Denissa Beauty Syahna, Theo Alvin Ryanto, Ewitha Nurulhuda, Arief Tris Yuliyanto, Imam Hamzah, Slamet Suryanto, Hadi Suntoko	71
10. HARGA JUAL LISTRIK PLTN DI KALIMANTAN BARAT Elok S. Amitayani, Nuryanti	81
11. PENGEMBANGAN PLTU DAN PERHITUNGAN POTENSI DAMPAKNYA TERHADAP PRODUKSI PADI KALIMANTAN BARAT MENGGUNAKAN SIMPACTS Sufiana Solihat	89
12. PENILAIAN KINERJA FINANSIAL PROYEK PLTN TEKNOLOGI APR-1400 DI INDONESIA MELALUI ANALISIS RASIO KEUANGAN Nuryanti, Elok S. Amitayani	101
13. KAJIAN MITIGASI DAN ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM MELALUI ENERGI NUKLIR DI INDONESIA Ade Awalludin, Wiryono	109

14.	KAJIAN PRAKELAYAKAN INFRASTRUKTUR PLTN WILAYAH NTB Edwaren Liun, Dharu Dewi, Rr. Arum Puni Rijanti, Citra Candranurani	117
15.	IDENTIFIKASI TANGGUNG-JAWAB PENYIAPAN INFRASTRUKTUR PEMBANGUNAN PLTN DI INDONESIA Moch. Djoko Birmano	127
16.	MONITORING LEPASAN NUKLIDA DALAM AIR PENDINGIN SEKUNDER DENGAN PENCACAHAN LANGSUNG DI REAKTOR RSG GAS Elisabeth Ratnawati, Dicky Tri Jatmiko, M. Gading Permadi	137
17.	IDENTIFIKASI POTENSI BAHAYA KEJADIAN AKIBAT ULAH MANUSIA DI DAERAH INTERES PLTN DI PROVINSI NTB Siti Alimah, Heni Susiati, Hadi Suntoko, Eko Rudi Iswanto, Euis Etty A., Mudjiono	143
18.	KAJIAN KELAS STABILITAS UDARA PADA TAPAK PLTN DI PULAU BANGKA Denissa Beauty Syahna, Sunarko, Dedy Priambodo, Imam Hamzah	151
19.	RUPTURE RATIO EFFECT FOR PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS USING OPENQUAKE Yuliasuti, Abimanyu Bondan W. S.	157
<b><u>KELOMPOK B2 : TAPAK, LINGKUNGAN, EKONOMI, INFRASTRUKTUR &amp; INDUSTRI</u></b>		
20.	STUDI GEOLOGI KABUPATEN KULON PROGO SEBAGAI ALTERNATIF TAPAK INSTALASI NUKLIR Abimanyu Bondan W. S., Hadi Suntoko, Theo Alvin Ryanto	163
21.	ANALISIS SPASIAL AWAL LOKASI CALON TAPAK PLTN DI KALIMANTAN BARAT Euis Etty A., Heni Susiati, Sunarko	173
22.	KONSEP PERHITUNGAN LAJU RADIOLISIS DENGAN CODE MCNP Azizul Khakim	181
23.	PROFIL GELOMBANG GESER AREA REAKTOR DI TAPAK RDE, SERPONG Eko Rudi Iswanto, Hadi Suntoko, Theo Alvin Ryanto, Abimanyu Bondan W. S.	187
24.	PERTIMBANGAN PARAMETER SUHU PERMUKAAN TANAH DAN POTENSI KEBAKARAN HUTAN PADA TAHAP PRA-SURVEI PEMILIHAN TAPAK PLTN DI PROVINSI KALIMANTAN BARAT Heni Susiati, Hadi Suntoko, Slamet Suryanto	195
25.	TINGKAT RADIOAKTIVITAS GROSS ALPHA DAN GROSS BETA DALAM SAMPEL AIR LAYANAN SEMESTER I TAHUN 2019 Leli Nirwani, Kusdiana, R. Buchari, Evans Azka F.	205
26.	ANALISIS RISIKO PROYEK PLTN DENGAN PENDEKATAN KUANTIFIKASI MONTE CARLO Imam Bastori, Nurlaila	213
27.	IDENTIFIKASI POTENSI BAHAYA TSUNAMI DI CALON TAPAK PLTN DAERAH PULAU RAKIT, KEC. PLAMPANG, SUMBAWA BESAR, NTB Hadi Suntoko, Totok Yatimantoro, Sunarko, Heni Susiati	223
28.	ANALISIS PERENCANAAN INFRASTRUKTUR KELISTRIKAN KALIMANTAN BARAT UNTUK PERSIAPAN PEMBANGUNAN PLTN Laili Farah, Citra Candranurani	233
29.	KAJIAN PENATAAN PERMUKIMAN TRADISIONAL BANTARAN SUNGAI KAPUAS DI KABUPATEN SINTANG Firsta Rekayasa Hernovianty, Erni Yuniarti, Muji Listyo Widodo	241
30.	POTENSI DAN KEMAMPUAN INDUSTRI ELEKTRIKAL UNTUK MENDUKUNG PROGRAM PLTN DI INDONESIA Dharu Dewi, Arief Tris Yuliyanto, Taswanda Taryo, Susyadi, Moch. Djoko Birmano, Rr. Arum Puni Rijanti, Rustama, Mudjiono	249

31.	ANALISIS PENYEBARAN RADIONUKLIDA DARI SMR 100 MW UNTUK OPSI NUKLIR DI KALIMANTAN BARAT Wiku Lulus Widodo, Rizki Firmansyah S. B.	257
<u>KELOMPOK C1 : TEKNOLOGI &amp; KESELAMATAN</u>		
32.	DEVELOPMENT OF RPV INTERNAL COMPONENT COMPILATION BASED ON GIS Ari Nugroo, M. Awwaluddin, Sri Sudadiyo	265
33.	RANCANG BANGUN OSILATOR UNTUK PEMBANGKIT PULSA EDDY CURRENT TESTING MENGGUNAKAN DIRECT DIGITAL SYNTHESIS BERBASIS ARDUINO Yadi Yunus, Budi Suhendro, Diana Anidza Fikri	273
34.	PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR (PLTN) Sutanto, Intan Nafisah, Anhar R. Antariksawan	281
<u>KELOMPOK C2 : TEKNOLOGI &amp; KESELAMATAN</u>		
35.	ANALISIS TERMAL HIDRAULIKA PADA SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL (RDE) BERTIPE PEBBLE BED HTGR DENGAN MENGGUNAKAN RELAP5 ViSA Wijanarko, Topan Setiadipura, Anwar Budianto	291
36.	ANALISIS KEBUTUHAN KAPASITOR PADA MOTOR PENGGERAK BATANG KENDALI RDE Koes Indrakoesoema, Adin Sudirman, Jazid U. Namir, Ulfa D. Umar	299
37.	OPTIMALISASI DAYA REAKTOR TRIGA 2000 DENGAN KONFIGURASI TERAS 110 BAHAN BAKAR Reinaldy Nazar, Jupiter Sitorus Pane	305
38.	PERHITUNGAN REAKTIVITAS BATANG KENDALI HTR-10 DENGAN MENGGUNAKAN SCALE Agus Waluyo, Azizul Khakim	313
<u>KELOMPOK D1 : REGULASI MANAJEMEN &amp; KEBIJAKAN</u>		
39.	RENCANA INDUK KETENAGANUKLIRAN: KOMITMEN JANGKA PANJANG UNTUK MENINGKATKAN PENDAYAGUNAAN IPTEK NUKLIR Falikul Fikri, Dwi Irwanti, Yogi Sugiawan	321
40.	IDENTIFIKASI PARA PEMANGKU KEPENTINGAN YANG TERLIBAT DALAM RENCANA PEMBANGUNAN PLTN DI KALIMANTAN BARAT Dharu Dewi, Wiku Lulus Widodo, Imam Bastori	329
41.	ANALISIS KETERLIBATAN PEMANGKU KEPENTINGAN PADA PROGRAM PLTN DI INDONESIA Imam Bastori	339
42.	EVALUASI USULAN KEGIATAN BATAN 2015-2018 SEBAGAI BACKGROUND STUDY RENSTRA 2020-2024 Yuri Garini, Yogi Sugiawan	349
43.	KAJIAN TENTANG KETENTUAN DESIGN EXTENSION CONDITION UNTUK PENGEMBANGAN REGULASI KESELAMATAN REAKTOR DAYA DI INDONESIA Diah Hidayanti Sukarno	357
44.	PENTINGNYA PEMBENTUKAN PERATURAN TERKAIT KLASIFIKASI STRUKTUR, SISTEM DAN KOMPONEN INSTALASI NUKLIR Catur Febriyanto S.	367
45.	REGULASI PENGELOLAAN RANTAI PASOKAN BARANG DAN LAYANAN TERKAIT KESELAMATAN NUKLIR DI INDONESIA Reno Alamsyah	377

46.	TINJAUAN REGULASI PEMBANGUNAN PLTN DAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK DI KALIMANTAN BARAT Yanuar Z. ARief, Makbul Anwari, Tri Wicaksono, Adi Fitra Djaja	387
47.	EVALUASI PERENCANAAN STRATEGIS TINGKAT KEDEPUTIAN BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL TAHUN 2015-2019 Dwi Irwanti, Sri Agustini, Hanifa	397
<u>KELOMPOK D2 : REGULASI MANAJEMEN &amp; KEBIJAKAN</u>		
48.	STUDI KEBERTERIMAAN STAKEHOLDER BERBASIS MEDIA TERHADAP RENCANA PEMBANGUNAN PLTN DI KALIMANTAN BARAT Mudjiono, Stiti Alimah, Edwaren /liun, Dedy Priambodo, Adhi Nugraha	413
49.	STUDI MANAJEMEN PENGETAHUAN NUKLIR (MPN) PADA SUMBER DAYA MANUSIA DI BIDANG KETENAGANUKLIRAN Jepri Sutanto, A. Bayu Purnomo	419
50.	ANALISIS PERSEPSI DAN HARAPAN PELANGGAN TERHADAP HASIL MONITORING DAN EVALUASI KEGIATAN DI BATAN Harini Wahyuningrum, Rahkmat Hidayat, Wahyu Widyastuti	425
51.	ANALISIS KORELASI ANTARA BELANJA MODAL TERHADAP BELANJA PEMELIHARAAN BATAN TAHUN 2015-2019 Harini Wahyuningrum, Budi Kaliwanto	435
52.	KAJIAN PERATURAN KENDALA BANGUNAN INSTALASI NUKLIR Dedi Hermawan	445
53.	PERAN PEMANGKU KEPENTINGAN DALAM MENDUKUNG PEMBANGUNAN PLTN Rr. Arum Puni Rijanti, Nur Hasanah	453
54.	OPTIMASI KOMUNIKASI DALAM IMPLEMENTASI BUDAYA KESELAMATAN DI PDK I. Aeni Muharromah, Bambang Pujiono	461
55.	STRATEGI PENINGKATAN KESIAPAN MASYARAKAT KALIMANTAN BARAT TERHADAP PENDIRIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR Nafsiatun, Priyo Saptomo	469
56.	ANALISIS KELAYAKAN PLTN BERBASIS ZONASI RENCANA TATA RUANG WILAYAH KALIMANTAN BARAT TAHUN 2014-2034 Hilary Reinhart, Nur Hasanah	475
<u>KELOMPOK E : TEMATIK KHUSUS</u>		
57.	STUDI POTENSI KONVERSI SAMPAH ORGANIK RUMAH MAKAN MENJADI BIOGAS DI KOTA PONTIANAK Sri Rezeki, Wivina Diah Ivontianti, Kristina Anggi Pudan Sitorus	483
58.	ESTIMASI KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN DOSIS SUMBER BRAKITERAPI IRIDIUM-192 YANG DIHASILKAN REAKTOR PENELITIAN Susetyo Trijoko, Assef Firnando Firmansyah	491
59.	ANALISIS KURVA KALIBRASI EFISIENSI SPEKTROMETER GAMMA MENGGUNAKAN SUMBER STANDAR $^{152}\text{Eu}$ PADA RENTANG ENERGI 121 – 1408 keV Hermawan Candra, Gatot Wurdityanto, Holnisar	503
60.	ESTIMASI KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN LAJU DOSIS SISTEM PEMANTAU RADIASI ONLINE SEBAGAI INDIKASI AWAL STABILITAS DETEKTOR DI PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF Adi Wijayanto, Estelita Felicia G. M. T.	509
61.	ANALISIS EKONOMI PROSES PRA-RANCANGAN PABRIK BRIKET DARI ARANG CANGKANG SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKAR MESIN PEMBANGKIT Pradika Wibowo, Rinjani Ratih Rakasiwi, Eli Sri Rezeki Nur Adyah	517

62.	APPLICATION OF ELECTROSTATIC SEPARATION FOR PLASTIC WASTE MANAGEMENT IN INDONESIA: A REVIEW AND PROSPECTUS Yopa Eka Prawatya, Rudi Kurnianto, Nelly Wahyuni, Thami Zeghloul, Lucian Dascalescu	525
63.	PENERAPAN KURIKULUM IPTEK NUKLIR DI SMAN 2 KOTA TANGERANG SELATAN Ristiana Dwi Hastuti, Lilis Suryani, Siti Alimah	531
64.	EVALUASI WAKTU START UP PADA PROSES PENGURAIAN SAMPAH ORGANIK PASAR SECARA ANAEROBIK MENGGUNAKAN CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR) Rinjani Ratih Rakasiwi, Wivina Diah Ivontianti, Yeti Haryati	539
	INDEKS PENULIS MAKALAH	xiii

---

# KELOMPOK A

---



## **ANALISIS LINGKUNGAN STRATEGIS PENYIAPAN PEMBANGUNAN PLTN DI KALIMANTAN BARAT UNTUK UNTUK MEWUJUDKAN KETAHANAN ENERGI INDONESIA**

**Khusnul Khotimah, Hanna Yasmine, Ika Wahyu Setya Andani, Sunarto**

*Pusat Standardisasi dan Mutu Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Kawasan Puspitek Serpong,  
Tangerang Selatan, 15314*

*email: khusnul.khotimah@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

#### **ANALISIS LINGKUNGAN STRATEGIS PENYIAPAN PEMBANGUNAN PLTN DI KALIMANTAN BARAT UNTUK MEWUJUDKAN KETAHANAN ENERGI INDONESIA.**

Perencanaan manajemen ketahanan energi melalui analisis lingkungan strategis ketahanan energi Indonesia yang mencakup ketersediaan jenis energi (*availability*), kemudahan akses menjangkau energi (*accessibility*), penerimaan masyarakat terhadap energi (*acceptability*), keterjangkauan harga (*affordability*) serta keberlanjutan energi (*sustainability*) diperlukan dalam pengambilan keputusan strategis energi untuk mengatasi Kelangkaan Energi. Kegagalan dalam memilih energi akan berakibat pada krisis pangan, air bersih dan kesehatan. Indonesia dalam mengambil keputusan strategis energi membuat dilema pilihan *Go Nuclear* atau *Daur Mix Energi*. Metode penelitian kualitatif *Analytical Hierarchy Process (AHP)* untuk mencari keputusan yang baik dalam memanfaatkan energi nuklir melalui pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), pengumpulan data dari literatur terdahulu. Hasil keputusan berupa diperolehnya prioritas kebijakan melalui kajian analisis AHP dengan pembobotan dikali kriteria untuk peningkatan sistem manajemen koordinasi lintas sektoral birokrasi antara pemerintah pusat dan daerah dalam pembangunan PLTN dengan keterlibatan masyarakat setempat sejak awal perencanaan, proses dan implementasi, salah satunya di Kalimantan Barat dalam pembangunan PLTN skala kecil (*Small Modular Reactor*) untuk mengatasi kelangkaan energi demi tercapainya tujuan nasional

Kata kunci: Ketahanan Energi, Pengambilan Keputusan, PLTN

### **ABSTRACT**

#### **STRATEGIC ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF PREPARATION FOR THE DEVELOPMENT OF NUCLEAR POWER PLANT IN WEST KALIMANTAN TO ACHIEVE INDONESIA'S ENERGY SECURITY.**

Energy security management planning through an analysis of Indonesia's strategic energy security environment that includes the availability of types of energy (*availability*), easy access to reach energy (*accessibility*), community acceptance of energy (*acceptability*), affordability and the sustainability of energy (*sustainability*) needed in taking energy strategic decisions to overcome Energy Scarcity. Failure to choose energy will result in food, clean water, and health crisis. Indonesia in making energy strategic decisions makes a choice dilemma *Go Nuclear* or *Energy Mix*. Qualitative *Analytical Hierarchy Process (AHP)* research methods to find good decisions in utilizing nuclear energy through the construction of Nuclear Power Plants (PLTN), collecting data from previous literature. The results of the decision in the form of obtaining policy priorities through AHP analysis study by weighting multiplied by the criteria for improving the cross-sectoral bureaucratic coordination management system between the central and regional governments in the development of nuclear power plants with the involvement of local communities since the beginning of planning, processes and implementation, one of them in West Kalimantan in the development of nuclear power plants small scale (*Small Modular Reactor*) to overcome the scarcity of energy for the achievement of national goals

Keywords: Energy Security, Decision Making, NPP

### **PENDAHULUAN**

Setiap negara akan mengamankan ketersediaan pasokan logistik energi jangka panjang untuk mewujudkan ketahanan energinya, termasuk Indonesia melalui pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals (SDG)*) untuk penggunaan energi bersih dan terjangkau serta mendukung perubahan iklim yang ramah lingkungan

melalui penggunaan sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT) [1]. Meskipun kondisi keenergian Indonesia dalam mewujudkan ketahanan energi memiliki banyak tantangan. Seperti, masih rendahnya pemanfaatan EBT yang berkisar 8% hingga Maret 2019 [2] dari target pencapaian EBT sebesar 23% pada Tahun 2025 sebagaimana tercantum dalam Peraturan Pemerintah (PP) No 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) [3].

Tabel 1. Target Bauran Energi Nasional) [3].

Sasaran KEN	Satuan	2015	2020	2025	2050
Penyediaan energi primer	MTOE			>400	>1000
Target bauran energi :					
a) EBT	%	5		>23	>31
b) Minyak bumi	%	46		<25	<20
c) Batu bara	%	26		>30	>25
d) Gas Bumi	%	23		>22	>24
Penyediaan Pembangkit tenaga Listrik	GWh			>115	>430
Rasio Elektrifikasi	%	85	100		
Pemanfaatan energi primer perkapita	TOE			1,4	3,2
Pemanfaatan energi listrik perkapita	KWh			2.500	7.000
Elastisitas energi				<1	
Penurunan intensitas energi	%		1 %	pertahun	
Rasio penggunaan gas rumah tangga	%	85			

Salah satu penyebab masih rendahnya pemanfaatan EBT karena kondisi lingkungan strategis yang belum mendukung seperti dalam pengembangan EBT untuk pembangkit listrik yakni regulasi yang belum menarik investasi, permasalahan lahan dan tata ruang, proses perizinan yang rumit dengan waktu panjang yang lama, belum optimalnya kapasitas energi yang telah terpasang yang masih terbatas dengan ketersediaan sumber energi yang melimpah, belum adanya insentif pemanfaatan EBT [3]. Nuklir sebagai salah satu jenis energi baru yang pemanfaatannya memiliki potensi besar untuk ketercapaian target EBT dalam skala besar. Akan tetapi, dalam PP No 79/2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional tercantum bahwa energi nuklir sebagai pilihan terakhir, namun masih memberikan mandat untuk target EBT 23% Tahun 2025, serta Peraturan Presiden (Perpres) No 2/2015 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2015-2019 untuk menyusun *roadmap* dan pengembangan kelembagaan PLTN untuk *pilot project* PLTN 10 MW [4]. Padahal, perencanaan maupun proses persiapan pembangunan tapak PLTN di Indonesia sudah dimulai masa awal tahun 1970. Berbagai studi kelayakan dari aspek ekonomi, teknis dan lingkungan pembangunan PLTN sudah dilakukan. Selain itu, beberapa infrastruktur penting sudah disiapkan diantaranya penetapan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) sebagai Badan Pengawas yang independen untuk menyelenggarakan peraturan, perizinan dan inspeksi. Badan Pelaksana seperti Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang bertugas melaksanakan pemanfaatan nuklir meliputi penyiapan basis sains dan teknologi nuklir, Sumber Daya Manusia (SDM) bidang ketenaganukliran melalui pendidikan dan penelitian Namun hingga kini, Indonesia masih belum memiliki Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) untuk memenuhi kebutuhan energi dari sumber EBT Indonesia.

Dilain sisi, kebutuhan energi Indonesia terus meningkat termasuk di Wilayah Kalimantan Barat sebesar 8,2% pertumbuhan pelanggan listrik [5]. Kebutuhan energi untuk sektor rumah tangga, sektor transportasi, sektor industri, sektor komersial terus meningkat dari 541 MW pada Tahun 2018 menjadi 3.783 MW untuk Tahun 2027. Selama ini Kalimantan Barat masih memenuhi kebutuhannya secara impor sekitar 30% pasokan energi (200 MW) dari Serawak, Malaysia. Kondisi demikian yang dapat melemahkan ketahanan energi nasional karena belum mandiri dalam memenuhi kebutuhannya dari sumber dalam negeri. Sedangkan potensi sumber energi lokal Kalimantan Barat memperoleh deposit uranium sebesar 45.730 ton yang merupakan bahan bakar PLTN [6]

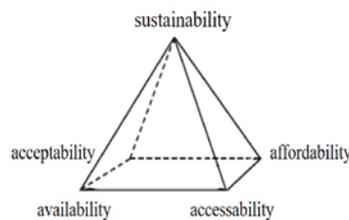
Indonesia melalui Undang-Undang No 17/2007 RPJM ke 3 (2015-2019) telah mengamanahkan pemanfaatan tenaga nuklir untuk pembangkit listrik dengan mempertimbangkan faktor keselamatan secara ketat dan Perpres No 2/2015 mengenai RPJMN 2015-2019 untuk penyiapan pembangunan PLTN termasuk meningkatkan penerimaan publik yang menjadi salah satu alasan pemerintah Indonesia belum memprioritaskan pembangunan PLTN [5]. Oleh karenanya, perlu kajian analisis pengambilan keputusan strategis dengan pilihan alternatif dan solusi terbaik untuk

memanfaatkan energi nuklir agar kebutuhan energi masyarakat di Kalimantan Barat dapat terpenuhi dalam mendukung ketahanan energi Indonesia.

## TEORI

### Ketahanan Energi

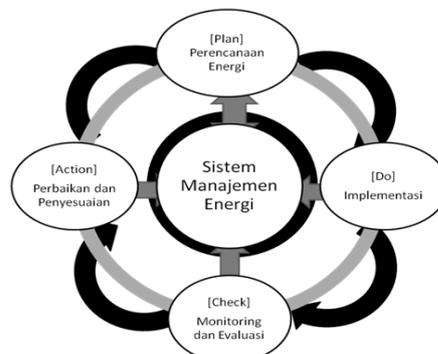
Pemerintah mengatur pengelolaan energi nasional melalui Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN). Regulasi tersebut memiliki visi misi untuk pengembangan ketahanan energi yang didasarkan atas dimensi 4A+1S yang bersifat dinamis, yaitu dimensi *availability* mencakup ketersediaan sumber energi, seperti bahan bakar fosil, energi alternatif maupun energi terbarukan yang berasal dari domestik maupun non domestik, *accessibility* yakni kemampuan untuk mengakses sumber energi, infrastruktur jaringan energi termasuk tantangan geografik dan geopolitik terhadap energi, *affordability* mencakup keterjangkauan harga dan biaya energi mulai dari tahap eksplorasi, produksi dan distribusi hingga ke konsumen, *acceptability* yaitu penerimaan terhadap energi dan *sustainability* mencakup penggunaan sumber energi yang berkelanjutan dan peduli lingkungan yang terdapat pada Gambar 1 [7]. KEN menjadi pedoman dan arah pengelolaan energi nasional untuk mendukung pembangunan nasional yang berkelanjutan



Gambar 1. Konsep Ketahanan Energi [7]

### Sistem Manajemen Pengembangan Energi Baru dan Terbarukan

Dalam mewujudkan swakelola pengembangan EBT secara optimal untuk mewujudkan ketahanan energi, perlu adanya sistem manajemen pengembangan EBT, yang sesuai dengan potensi sumber daya lokal daerah setempat tersebut sebagaimana terdapat pada Gambar 2 berikut ini.



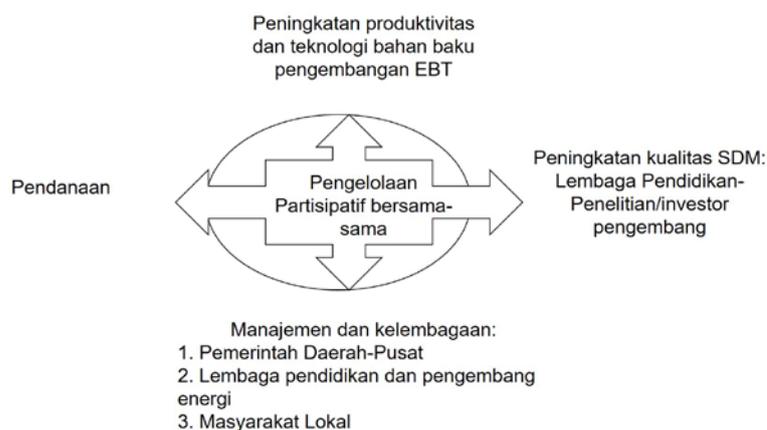
Gambar 2. Sistem Manajemen Energi [8]

Sistem manajemen energi mencakup: (a) Perencanaan Energi (*Plan*), meliputi pemilihan atau penetapan target tujuan manajemen energi yang akan digunakan, penentuan strategi untuk rencana tujuan Identifikasi situasi kebutuhan penggunaan energi, dana yang diperlukan teknologi yang diperlukan, organisasi yang diperlukan; (b) Implementasi (*Do*) meliputi penyusunan program yang terdiri atas target program yang akan dilaksanakan, strategi yang ingin digunakan, struktur organisasi dan personel yang diperlukan; (c) Monitoring dan Evaluasi (*Check*), meliputi kegiatan pengelolaan energi yang efektif dan efisien, menumbuhkan kesadaran setiap pihak pengembangan EBT dari potensi sumber daya ditempat; (d) Perbaikan dan Penyesuaian (*Action*), terdiri atas *grade* prioritas dari hasil monitoring dan perlakuan, serta fokus monitoring dan analisis implementasi pemenuhan kebutuhan energi yang tercukupi untuk daerah yang membutuhkan energi. Sistem manajemen ini akan melibatkan semua komponen termasuk pemerintah, masyarakat,

investor pengembangan, lembaga penelitian energi untuk daerah yang akan dikembangkan EBT sehingga menunjang keberlanjutan energi [8]

### Aspek yang Mempengaruhi Kondisi Lingkungan Strategis

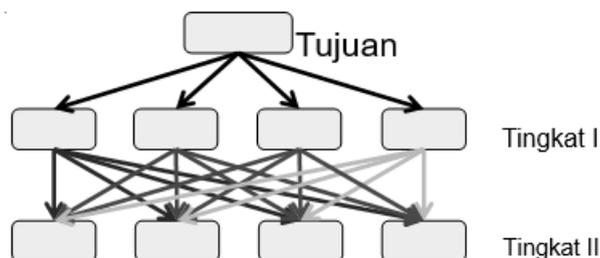
Dalam pengembangan EBT, aspek yang mempengaruhinya mencakup; (1) aspek teknis mencakup operasional dan infrastruktur yang mempengaruhi pengembangan EBT, seperti kondisi sistem yang sesuai dengan kondisi alam wilayah (topografi); (2) aspek pendanaan mencakup pembiayaan yang diperlukan selama pengembangan energi terbarukan seperti studi potensi sumber energi terbarukan, pembangunan infrastruktur penunjang, pelatihan sumber daya manusia yang terlibat dalam pengembangan, pemeliharaan dan persiapan investasi baru untuk pengembangan energi terbarukan di masa mendatang; (3) aspek sumberdaya manusia mencakup peningkatan kualitas SDM yang berkompeteren; (4) aspek manajemen dan kelembagaan mencakup kelembagaan pengelola EBT berupa organisasi maupun manajemen yang dibentuk berdasarkan rembug desa, paguyuban, koperasi unit desa maupun lembaga lain yang telah ada dan berbadan hukum. Tujuannya agar memperoleh dukungan kelembagaan dan pengawasan kelembagaan dari internal dan eksternal seperti pemangku kepentingan (*stakeholders*).



Gambar 3. Aspek yang Mempengaruhi Kondisi Lingkungan Strategis Energi

### METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam kajian ini meliputi pengumpulan data dan informasi dari berbagai pustaka, jurnal dan publikasi lainnya yang terkait dengan persiapan pembangunan PLTN di Indonesia dan dianalisis dengan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). AHP merupakan suatu metode pendukung keputusan yang dikembangkan untuk menyelesaikan permasalahan dengan memecah solusi permasalahan, mengelompokkan dan kemudian menyusunnya ke dalam suatu struktur hirarki seperti terdapat dalam Gambar 4.



Gambar 4. Penilaian Pengambilan Keputusan Lingkungan Strategis dengan AHP

Penggunaan metode AHP dalam proses pengambilan keputusan memiliki 3 prinsip kerja antara lain: (a) penyusunan hierarki dengan mendefinisikan atau menyederhanakan masalah yang kompleks menjadi masalah yang jelas dan rinci, selanjutnya disusun berdasarkan pandangan dari pihak yang memiliki kompetensi di bidang terkait; (b) penentuan prioritas yang dilakukan berdasarkan pendapat para ahli dan pihak-pihak yang

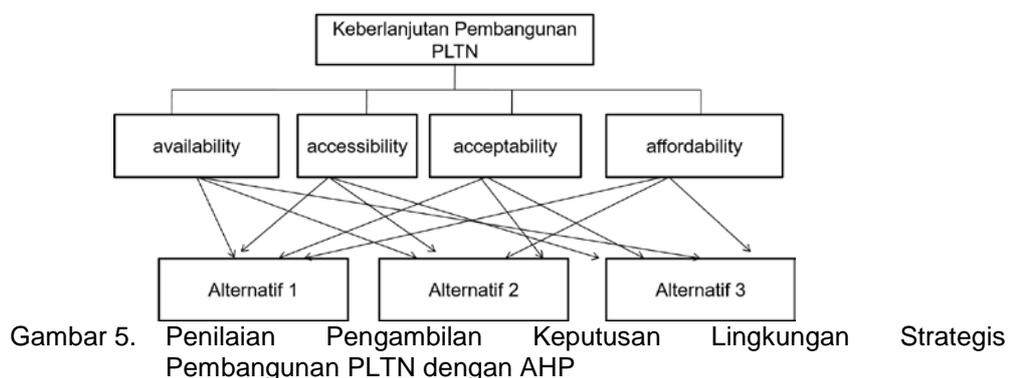
berkepentingan melalui diskusi maupun melalui kuisioner. Prioritas dari elemen-elemen pada hierarki dapat dipandang sebagai bobot/kontribusi elemen tersebut terhadap tujuan yang ingin dicapai dalam pengambilan keputusan; (c) konsistensi logika dengan menentukan kesesuaian antara konseptual dengan operasional data serta konsistensi jawaban para responden. Hal tersebut dapat dilihat penilaian elemen dan membandingkannya secara berpasang-pasang. Untuk memperoleh kriteria yang diprioritaskan, metode ini menggunakan perbandingan kriteria berpasangan dengan skala pengukuran yang telah ditentukan. Input utama dari metode AHP adalah persepsi para pakar atau ahli, sehingga terdapat faktor subjektivitas dalam pengambilan keputusan. Metode ini juga memperhitungkan validitas data dengan adanya batas inkonsistensi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Keberlanjutan pembangunan PLTN ditentukan dari pengambilan keputusan lingkungan strategis yang mendukung ketahanan energi Indonesia yang dipengaruhi aspek 4A, yakni *Availability*, *Accessibility*, *Affordability* serta *Acceptability*. Inilah yang menjadi kriteria yang digunakan untuk memberikan petunjuk dalam kebijakan pembangunan PLTN agar dijalankan. Kriteria *availability* mengacu pada peningkatan pemanfaatan cadangan dan sumberdaya energi nuklir. Kriteria *accessibility* mengacu pada peningkatan penyediaan bahan baku nuklir. Kriteria *acceptability* mengacu pada penerimaan masyarakat terhadap pengembangan infrastruktur energi, *affordability* mengacu pada efisiensi pemanfaatan sumber energi nuklir

Opsi alternatif pertama melalui peningkatan sistem manajemen koordinasi lintas sektoral birokrasi antara pemerintah pusat dan daerah dalam pembangunan PLTN dengan keterlibatan masyarakat setempat sejak awal perencanaan, proses dan implementasi pembangunan PLTN skala kecil (*Small Modular Reactor*). Opsi alternatif kedua dengan melanjutkan program pelaksanaan pilot project reaktor daya PLTN dengan gagasan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) sebagai cikal bakal PLTN Indonesia. Opsi alternatif ketiga dengan mengembangkan industri domestik nuklir Indonesia yang sesuai dengan mutu, kode dan standar PLTN yang dipersyaratkan untuk komponen non nuklir sehingga berkontribusi aktif dalam pembangunan PLTN. Indonesia memiliki potensi besar dalam penyediaan bahan baku uranium

Tujuan dari analisis pengambilan keputusan lingkungan strategis dengan kriteria *Availability*, *Accessibility*, *Affordability* dan *Acceptability* dari tiga alternatif pilihan yang ingin direkomendasikan pada pembangunan PLTN guna mengatasi masalah pemerataan pemenuhan kebutuhan energi listrik di Kalimantan Barat. Alternatif yang dihasilkan diproses dari metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) sehingga diperoleh alternatif terbaik yang dihasilkan dalam rekomendasi analisis lingkungan strategis pembangunan PLTN yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Penilaian Pengambilan Keputusan Lingkungan Strategis Pembangunan PLTN dengan AHP

Langkah penentuan bobot kriteria dan validitas alternatif analisis AHP melalui: (1) tahapan pembuatan matriks *pairwise comparison* (matriks perbandingan berpasangan); (2) Penentuan kriteria utama dalam bentuk vektor prioritas (priority vector); (3) pembobotan berdasarkan skala; (4) penentuan nilai eigen maksimum; (5) indeks konsistensi (CI), nilai pembangkit random (RI) serta rasio konsistensi (CR).

Adapun pembuatan matriks perbandingan berpasangan untuk kriteria ditunjukkan pada Tabel 2 dan penentuan kriteria utama dalam bentuk vektor prioritas pada Tabel 3.

Tabel 2. Pembuatan Matriks Perbandingan Berpasangan untuk Kriteria

Kriteria	<i>Availability</i>	<i>Accessibility</i>	<i>Acceptability</i>	<i>Affordability</i>
<i>Availability</i>	1.00	2.00	3.00	4.00
<i>Accessibility</i>	0.50	1.00	2.00	3.00
<i>Acceptability</i>	0.33	0.50	1.00	3.00
<i>Affordability</i>	0.25	0.33	0.33	1.00
Jumlah	2.08	3.83	6.33	11.00

Tabel 3. Penentuan Kriteria Utama dalam Bentuk Vektor Prioritas (*Priority Vector*)

Kriteria	<i>Availability</i>	<i>Accessibility</i>	<i>Acceptability</i>	<i>Affordability</i>	Jumlah	<i>Priority Vector</i>	Hasil kali	Hasil kali/priority
<i>Availability</i>	0.48	0.52	0.47	0.36	1.84	0.46	1.90	4.12
<i>Accessibility</i>	0.24	0.26	0.32	0.27	1.09	0.27	1.13	4.13
<i>Acceptability</i>	0.16	0.13	0.16	0.27	0.72	0.18	0.73	4.06
<i>Affordability</i>	0.12	0.09	0.05	0.09	0.35	0.09	0.35	4.03
Jumlah	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	1.00		Rata-rata= 4.09

Kriteria yang menjadi prioritas utama adalah *availability* karena memiliki nilai *priority vector* terbesar yaitu 0,46. Nilai eigen maksimum ( $\lambda$  maksimal) sebesar 4,09 dan indeks konsistensi (CI) sekitar 0,03 dan nilai pembangkit random (RI) untuk  $n= 4$  sebesar 0,89 (ketentuan tabel Random Index (Saaty & Kearns) [9] serta rasio konsistensi (CR) yang diperoleh 0,03 (3%) sehingga respon cukup konsisten karena  $CR < 10\%$ .

**Pembuatan matriks *pairwise comparison* (matriks perbandingan berpasangan) untuk menghasilkan bobot relatif antar kriteria dan alternatif**

a) Sub-kriteria *Availability*

Sub-kriteria *availability* disusun dalam matriks perbandingan pada Tabel 4 dan penentuan vektor prioritas pada Tabel 5.

Tabel 4. Matriks Perbandingan Berpasangan

<i>Availability</i>	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Alternatif 1	1.00	3.00	4.00
Alternatif 2	0.33	1.00	3.00
Alternatif 3	0.25	0.33	1.00
Total	1.58	4.33	8.00

Tabel 5. Penentuan vektor prioritas (*priority vector*)

<i>Availability</i>	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Jumlah	<i>priority vector</i>	Hasil kali	Hasil kali/priority
Alternatif 1	0.63	0.69	0.50	1.82	0.61	1.90	3.13
Alternatif 2	0.21	0.23	0.38	0.82	0.27	0.83	3.07
Alternatif 3	0.16	0.08	0.13	0.36	0.12	0.36	3.02
Total	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00		Rata-rata= 3,07

Hasilnya menunjukkan bahwa nilai eigen maksimum ( $\lambda$  maksimal) sebesar 3,07 dan indeks konsistensi (CI) sekitar 0,04 dan nilai pembangkit random (RI) untuk  $n=3$  sebesar 0,52 (ketentuan tabel Random Index [9] serta rasio konsistensi (CR) yang diperoleh 0,07 (7%) sehingga respon cukup konsisten karena  $CR < 10\%$ .

b) Sub-kriteria *Accessibility*

Sub-kriteria *accessibility* disusun dalam matriks perbandingan pada Tabel 6 dan penentuan vektor prioritas pada Tabel 7.

Tabel 6. Matriks Perbandingan Berpasangan

<i>Accesibility</i>	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Alternatif 1	1.00	2.00	4.00
Alternatif 2	0.50	1.00	3.00
Alternatif 3	0.25	0.33	1.00
Total	1.58	4.33	8.00

Tabel 7. Penentuan vektor prioritas (*priority vector*)

<i>Accesibility</i>	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Jumlah	priority vector	Hasil kali	Hasil kali/priority
Alternatif 1	0.57	0.60	0.50	1.67	0.56	1.69	3.03
Alternatif 2	0.29	0.30	0.38	0.96	0.32	0.97	3.02
Alternatif 3	0.14	0.10	0.13	0.37	0.12	0.37	3.01
Total	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00		Rata-rata= 3,02

Nilai eigen maksimum ( $\lambda$  maksimal) sebesar 3,02 dan indeks konsistensi (CI) sekitar 0,01 dan nilai pembangkit random (RI) untuk  $n=3$  sebesar 0,52 (ketentuan tabel Random Index [9] serta rasio konsistensi (CR) yang diperoleh 0,02 (2%) sehingga respon cukup konsisten karena  $CR < 10\%$ .

c) Sub-kriteria *Acceptability*

Sub-kriteria *acceptability* disusun dalam matriks perbandingan pada Tabel 8 dan penentuan vektor prioritas pada Tabel 9.

Tabel 8. Matriks Perbandingan Berpasangan

<i>Acceptability</i>	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Alternatif 1	1.00	3.00	5.00
Alternatif 2	0.33	1.00	3.00
Alternatif 3	0.20	0.33	1.00
Total	1.53	4.33	9.00

Tabel 9. Penentuan vektor prioritas (*priority vector*)

<i>Acceptability</i>	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Jumlah	priority vector	Hasil kali	Hasil kali/priority
Alternatif 1	0.65	0.69	0.56	1.90	0.63	1.95	3.07
Alternatif 2	0.22	0.23	0.33	0.78	0.26	0.97	3.03
Alternatif 3	0.13	0.08	0.11	0.32	0.11	0.32	3.01
Total	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00		Rata-rata= 3,04

Nilai eigen maksimum ( $\lambda$  maksimal) sebesar 3,04 dan indeks konsistensi (CI) sekitar 0,02 dan nilai pembangkit random (RI) untuk  $n= 3$  sebesar 0,52 (ketentuan tabel Random Index [9] serta rasio konsistensi (CR) yang diperoleh 0,04 (4%) sehingga respon cukup konsisten karena  $CR < 10\%$ .

d) Sub-kriteria *Affordability*

Sub-kriteria *affordability* disusun dalam matriks perbandingan pada Tabel 10 dan penentuan vektor prioritas pada Tabel 11.

Tabel 10. Matriks Perbandingan Berpasangan

<i>Affordability</i>	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Alternatif 1	1.00	2.00	4.00
Alternatif 2	0.50	1.00	3.00
Alternatif 3	0.25	0.33	1.00
Total	1.75	3.33	8.00

Tabel 11. Penentuan vektor prioritas (*priority vector*)

<i>Affordability</i>	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Jumlah	priority vector	Hasil kali	Hasil kali/priority
Alternatif 1	0.57	0.60	0.50	1.67	0.56	1.69	3.03
Alternatif 2	0.29	0.30	0.38	0.96	0.32	0.97	3.02
Alternatif 3	0.14	0.10	0.13	0.37	0.12	0.37	3.01
Total	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00		Rata-rata= 3,02

Nilai eigen maksimum ( $\lambda$  maksimal) sebesar 3,02 dan indeks konsistensi (CI) sekitar 0,01 dan nilai pembangkit random (RI) untuk  $n= 3$  sebesar 0,52 (ketentuan tabel Random Index [9] serta rasio konsistensi (CR) yang diperoleh 0,02 (2%) sehingga respon cukup konsisten karena  $CR < 10\%$ . Keseluruhan kriteria dan opsi kebijakan di

Tabel 12. Solusi Alternatif

Kriteria	<i>Availability</i>	<i>Accessibility</i>	<i>Acceptability</i>	<i>Affordability</i>
Opsi Kebijakan	0.46	0.27	0.18	0.09
Alternatif 1	0.61	0.56	0.63	0.56
Alternatif 2	0.27	0.32	0.26	0.32
Alternatif 3	0.12	0.12	0.11	0.12

Tabel 13. Prioritas kebijakan melalui pembobotan x kriteria

Opsi Kebijakan	<i>Availability</i>	<i>Accessibility</i>	<i>Acceptability</i>	<i>Affordability</i>	Total
Alternatif 1	0.28	0.15	0.11	0.05	0.59
Alternatif 2	0.13	0.09	0.05	0.03	0.29
Alternatif 3	0.06	0.03	0.02	0.01	0.12

Dengan demikian, diperoleh prioritas kebijakan utama melalui pembobotan yang dikali kriteria sebesar 0,59 sehingga pemilihan kebijakan prioritas terpilih yaitu peningkatan sistem manajemen koordinasi lintas sektoral birokrasi antara pemerintah pusat dan daerah dalam pembangunan PLTN dengan keterlibatan masyarakat setempat sejak awal perencanaan, proses dan implementasi, salah satunya di Kalimantan Barat dalam pembangunan PLTN skala kecil (*Small Modular Reactor*).



Gambar 6. Parameter Lingkungan Strategis Pembangunan PLTN Kalimantan Barat

Pada Gambar 6, menunjukkan dari sisi *availability*, Kalimantan Barat memiliki ketersediaan potensi bahan baku nuklir yang berlokasi di Kabupaten Ketapang, Desa Air Besar, Kecamatan Kendawangan, Desa Kendawangan Kanan, Kecamatan Kendawangan, Desa Sungai Kanan, Kecamatan Muara, dan Desa Sungai Nanjung, Kecamatan Matan Kabupaten Ketapang, satu lokasi di Kabupaten Kayong Utara di Desa Sie, Kecamatan Simpang Hili, dan satu lokasi di Kabupaten Sambas di Desa Matang, Kecamatan Paloh [10]. Lokasi Kalan, Kalimantan Barat merupakan satu-satunya lokasi terbukti dengan kandungan uranium sebesar 24 kilo ton sehingga memenuhi secara studi kelayakan [11,12].

Dari sisi *affordability*, penggunaan PLTN modular daya kecil (*Small Modular Reactor*) memiliki harga konstruksi yang lebih terjangkau, fitur keselamatan pasif SMR lebih baik, desain komponen lebih sederhana, kompak, dan fleksibel untuk dipindahkan, bahkan lebih mudah diproduksi oleh industri dalam negeri. SMR tipe HTGR (*High Temperature Gas-Cooled Reactor*) yang penguasaan teknologi nasional sudah tinggi dengan peluncuran desain PLTN PELUIT dimana desain teknis dibuat oleh BATAN, yang memerlukan investasi lebih terjangkau sekitar IDR 10 Trilyun untuk daya 100 MWe dan IDR 13 Trilyun untuk 210 MWe [11].

Dari sisi *accessibility dan acceptability*, karena kondisi seringnya pemadaman listrik dan belum meratanya pemenuhan kebutuhan listrik di Kalimantan Barat, membuat sebagian masyarakat menganggap nuklir pilihan yang membawa kesejahteraan bagi kebutuhan listrik mereka [12]. Dengan sistem manajemen koordinasi lintas sektoral birokrasi dimulai dengan sistem manajemen *top-down* dimana pemerintah provinsi dan daerah memiliki ketertarikan besar terhadap PLTN seperti Badan Perencana dan Penelitian Daerah (Bappeda) yang merupakan *stakeholder* potensial yang sudah menyatakan keterbukaannya terhadap studi calon tapak dan rencana PLTN. Bappeda diharapkan menjembatani rekayasa sosial maupun keamanan yang dibutuhkan jika rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat berindikasi positif. Untuk sistem manajemen *bottom-up*, masyarakat dan perguruan tinggi yang intens melakukan sosialisasi nuklir seperti Universitas Tanjungpura (UNTAN) dan Komunitas Muda Nuklir Nasional (Kommun). UNTAN melakukan sosialisasi karena ketertarikan yang besar terhadap teknologi dan semangat kemajuan daerah. Selain UNTAN ada kelompok masyarakat lain yang optimis terhadap rencana pengembangan energi nuklir, yaitu Komunitas Muda Nuklir Nasional (Kommun). Kommun merupakan komunitas penggiat nuklir yang *independent* dan memiliki semangat untuk mengedukasi dan mensosialisasikan nuklir secara berimbang ke masyarakat lokal. Elemen penggerak Kommun merupakan generasi muda lokal (sebagian besar dari kalangan Mahasiswa) yang memiliki *image* netral dimasyarakat, sehingga diharapkan aktifitas yang dilakukan lebih dipercaya masyarakat. Sejak tahun 2016 telah dilakukan kegiatan sosialisasi nuklir yang diprakarsai oleh UNTAN, dan pada bulan Januari 2017 UNTAN bersama dengan embrio Kommun Wilayah Kalbar menyelenggarakan seminar GO Bright yang berisikan sosialisasi nuklir dan PLTN dengan mengundang pembicara dari instansi lain. Selain itu pendekatan ke tokoh masyarakat yang masih dianggap ketutunan sultan/raja melayu, kepala suku juga menjadi pendekatan yang efektif untuk penerimaan pembangunan PLTN oleh masyarakat lokal. Karenanya, hanya menunggu keputusan dari pemerintah pusat untuk memiliki dukungan yang sama [10].

## KESIMPULAN

Hasil keputusan berupa diperolehnya prioritas kebijakan alternatif 1 untuk peningkatan sistem manajemen koordinasi lintas sektoral birokrasi antara pemerintah pusat dan daerah dalam pembangunan PLTN dengan keterlibatan masyarakat setempat sejak awal perencanaan, proses dan implementasi, salah satunya di Kalimantan Barat dalam pembangunan PLTN skala kecil (*Small Modular Reactor*) untuk mengatasi kelangkaan energi demi tercapainya tujuan nasional.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Subdirektorat Indikator Statistik, "Potret Awal Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals)", Badan Pusat Statistik (BPS), Jakarta (2016).
- [2] Lensa Parlemen., "Pemanfaatan EBT Butuh Regulasi", Buletin Parlemenaria, Edisi Maret 2019 Nomor 1043/I/III/2019 Hal. 2, Jakarta (2019).
- [3] Presiden Republik Indonesia, "Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional", Sekretariat Kabinet RI (2017).
- [4] Dewan Energi Nasional Republik Indonesia., "Siaran Pers Sidang Anggota ke-18 Dewan Energi Nasional Nomor 03/Humas/2016", Dewan Energi Nasional, [www.den.go.id/index](http://www.den.go.id/index), Jakarta, 2016. Diakses tanggal 27 Agustus 2019.
- [5] PT PLN, "RUPTL PT PLN (PERSERO) 2018-2027", PLN, Jakarta (2018).
- [6] Ni Putu., "Kalbar dinilai sudah" saatnya kembangkan listrik dari tenaga nuklir", [www.m.bisnis.com](http://www.m.bisnis.com), Pontianak, 2019. Diakses tanggal 27 Agustus 2019.
- [7] Hikam, AS Muhammad., "Ketahanan Energi Indonesia 2015-2025 Tantangan dan Harapan". BIN, Jakarta (2015)
- [8] PT Energy Management Indonesia (Persero)., "Pengantar Manajemen Energi". Kementerian Perindustrian, Jakarta (2011)
- [9] Saaty, T.L., "Pengambilan Keputusan Bagi Para Pemimpin Terjemah dari: Decision Making for leaders The Analytical Hierarchy Process for Decision in Complex World. Penerjemah" Institut Pendidikan dan Pembinaan Manajemen (IPPM), Jakarta (1991)
- [10] Majelis Pertimbangan Tenaga Nuklir, "Dukungan Pemerintah dan Penjaminannya", Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Jakarta (2017)
- [11] Ristekdikti, "Dokumen Pembangunan Prototipe PLTN dan Komersialisasinya Aspek Teknis", Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Jakarta (2017)
- [12] Majelis Pertimbangan Tenaga Nuklir, "Lingkungan Sosial dan Keamanan", Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi, Jakarta (2017)

## DISKUSI/TANYA JAWAB

### 1. PERTANYAAN (M. Arief Fathony-UNTAN):

Bagaimana bentuk peran masyarakat sejak awal dalam pembangunan PLTN?

#### JAWABAN:

Peran masyarakat diwujudkan dari kesadaran bahwa SDA lokal yang dimiliki harus bermanfaat bagi mereka.

### 2. PERTANYAAN (Khairul Handono-PRFN BATAN):

Bagaimana penentuan parameter?

#### JAWABAN:

Penentuan parameter berdasarkan *expert judgment* berupa pendapat dari para expert dengan bobot penilaian yang meliputi:

- a. Penyederhanaan opsi alternative dengan penyusunan hierarki berdasarkan pandangan dari pihak yang memiliki kompetensi di bidang terkait
- b. Penentuan prioritas yang dilakukan oleh para ahli (*expert judgment*) melalui diskusi maupun melalui kuesioner
- c. Konsistensi logika dengan menentukan kesesuaian antara konseptual dengan operasional data serta konsistensi jawaban para responden.

## PERKEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN DI BEBERAPA NEGARA

**Nurlaila, Arief Tris Yuliyanto**

*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir*

*Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan 12710*

*Telp/Fax: (021)5204243*

*e-mail: alialrun@batan.go.id*

### ABSTRAK

**PERKEMBANGAN ENERGI TERBARUKAN DI BEBERAPA NEGARA.** Energi mempunyai peranan yang sangat penting dalam kehidupan di muka bumi. Sementara itu jumlah sumber daya energi di dunia ini semakin berkurang, sedangkan populasi penduduk dunia terus bertambah. Sifat energi terbarukan terus menerus bisa diperbaharui sumber dayanya dan ramah lingkungan. Oleh karena itu pengembangan energi terbarukan semakin penting, mengingat seluruh dunia sudah berkomitmen pada tahun 2015 untuk mengurangi emisi karbon, menerapkan ekonomi hijau, dan mengurangi kemiskinan yang berujung pada pembangunan berkelanjutan. Makalah ini menyajikan perkembangan energi terbarukan dari beberapa negara di dunia, termasuk Indonesia sampai tahun 2018. Tujuan penulisan makalah adalah untuk memaparkan jumlah kapasitas terpasang penggunaan/pemanfaatan sumber energi terbarukan terkini dari beberapa negara yang ada di dunia, termasuk Indonesia.. Metodologi yang digunakan pada makalah ini adalah penelusuran literatur melalui internet, baik berupa artikel, makalah maupun laporan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tahun 2018 sumber energi terbarukan di dunia yang terbanyak adalah jenis energi/tenaga air (47,9%), energi angin di daratan (Onshore) sebanyak 23,0% dan energi surya photovoltaic sebanyak 20,4%, dan sisanya adalah energi lainnya, seperti energi biomassa padat, energi pasang surut, energi panas bumi, energi biogas, dan lain-lain. Negara pengguna energi terbarukan terbesar di dunia adalah Cina dengan kapasitas terpasang sebesar 695,9 GW. Amerika Serikat menduduki urutan kedua dengan kapasitas terpasang 245,3 GW. Sumber energi terbarukan yang dimiliki Indonesia adalah jenis energi panas bumi (terbesar nomer 2 di dunia) dengan kapasitas terpasang 1,9 GW pada tahun 2018. Pemanfaatan sumber energi lainnya yang dikembangkan Indonesia adalah sumber energi air, matahari, bioenergi dan angin.

Kata Kunci: Amerika Serikat, Cina, Energi Terbarukan, Indonesia

### ABSTRACT

**RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENTS IN SOME COUNTRIES.** Energy has a very important role in life on the earth. Meanwhile the amount of energy resources in the world is decreasing, while the world's population continues to grow. The nature of renewable energy can be continuously renewed and environmentally friendly. Therefore the development of renewable energy is increasingly important, considering that the whole world has committed in 2015 to reduce carbon emissions, implement a green economy, and reduce poverty that will lead to sustainable development. This paper presents the development of renewable energy from several countries in the world, including Indonesia until 2018. The purpose of the paper is explained the installed capacity of the use/utilization of the latest renewable energy sources from several countries in the world, including Indonesia. The methodology used in this paper is literature search through the internet, whether in the form of articles, papers or reports. The results showed that in 2018 the most renewable energy sources in the world were hydropower 47.9%, wind (Onshore) 23.0% and photovoltaic solar energy 20.4%, and the other energy, such as solid biomass, ocean, geothermal, biogas, and others. The country ranking in the world is China with an installed capacity of 695.9 GW. The United States is runner up with an installed capacity of 245.3 GW. Indonesia's renewable energy source is a type of geothermal energy (the second largest in the world) with an installed capacity of 1.9 GW in 2018. Utilization of other energy sources developed by Indonesia is a source of water, solar, bioenergy and wind energy.

Key words: United State, China, Renewable Energy, Indonesia

## PENDAHULUAN

Energi mempunyai peranan yang sangat penting dalam kehidupan di muka bumi. Sementara itu jumlah energi di dunia ini semakin berkurang, sedangkan populasi penduduk dunia terus bertambah. Energi juga berperan sebagai faktor esensial dalam pembangunan berkelanjutan dan mengatasi kemiskinan [1].

Negara-negara di dunia masih bergantung pada sumber energi fosil, yang merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui (non renewable energy), sementara persediaannya semakin menyusut. Oleh karena itu perlu adanya pengembangan energi terbarukan (renewable energy). Pengembangan energi terbarukan semakin penting, mengingat seluruh dunia sudah berkomitmen pada tahun 2015 untuk mengurangi emisi karbon, menerapkan ekonomi hijau, dan mengurangi kemiskinan yang berujung pada pembangunan berkelanjutan [1], [2].

Ekonomi merupakan hal yang penting bagi bangsa dan negara. Menyadari hal ini maka bangsa-bangsa maju yang ada di dunia, khususnya Eropa, Amerika Serikat maupun negara-negara Asia, seperti Jepang dan Korea, sudah mulai mencari solusi untuk mengatasi krisis energi di negeri mereka. Negara maju dan berkembang telah bekerja keras melakukan penelitian untuk memiliki teknologi yang mampu menciptakan energi baru dan terbarukan atau energi yang tidak lagi mengeksplorasi kekayaan alam yang terkandung dalam perut bumi yang ada di negerinya secara terus menerus [3].

Makalah ini memberikan data dan informasi mengenai perkembangan energi terbarukan yang ada di dunia. Tujuan penulisan makalah adalah untuk memaparkan jumlah kapasitas terpasang penggunaan/pemanfaatan sumber energi terbarukan terkini dari beberapa negara yang ada di dunia, termasuk Indonesia. Makalah juga menampilkan 10 negara pengguna energi terbarukan terbanyak di dunia dengan kapasitas terpasang terbesar di tahun 2018. Sumber data yang digunakan dalam penulisan makalah sebagian besar diperoleh dari badan sumber energi terbarukan internasional (International Renewable Energy Agency, IRENA) [4].

## DASAR TEORI

Secara umum terdapat dua jenis sumber energi di dunia ini, yaitu energi yang tidak terbarukan (energi fosil) dan energi terbarukan [4], [5], [6].

### Energi Tidak Terbarukan [5]

Energi tidak terbarukan disebut juga sebagai energi yang tidak dapat diperbaharui. Sumber energi jenis ini jumlahnya sangat terbatas dan tidak bisa diperbarui meskipun ada yang bisa diperbaharui tetapi memerlukan waktu yang sangat lama.

Saat ini sumber energi ini masih menjadi sumber energi utama yang banyak digunakan walaupun banyak pihak yang sudah beralih menggunakan sumber energi alternatif. Contoh sumber energi tidak terbarukan yaitu :

a. Sumber energi yang berasal dari fosil

Sumber energi ini sebenarnya bisa diperbaharui tetapi memerlukan banyak waktu hingga jutaan tahun, yaitu berasal dari makhluk hidup yang mati dan terpendam dalam tanah hingga jutaan tahun. Contohnya adalah minyak bumi dan batu bara.

b. Sumber energi yang berasal dari mineral alam

Mineral alam bisa dimanfaatkan menjadi suatu sumber energi setelah melalui beberapa proses, misalnya uranium yang bisa menghasilkan energi nuklir.

### Energi Terbarukan [4], [5], [6]

Pengertian sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang ramah lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global yang disebabkan oleh kandungan karbon dioksida yang tinggi. Jenis-jenis energi terbarukan yang saat ini banyak dikembangkan adalah sebagai berikut:

a. Energi Surya atau Matahari [4], [5], [6]

Energi dapat dimanfaatkan langsung dari matahari, bahkan di cuaca berawan. Energi matahari digunakan di seluruh dunia dan semakin populer untuk menghasilkan listrik atau memanaskan dan desalinasi. Energi matahari tidak akan habis sampai dunia ini berakhir, pemanfaatan sinar matahari yaitu dengan menggunakan sel surya yang fungsinya mengubah energi surya menjadi energi listrik. Ada juga pemanfaatan lain dari sinar matahari untuk memasak dengan menggunakan kompor bertenaga sinar matahari, contohnya di negara India.

Energi atau tenaga surya dihasilkan dalam dua cara utama [4]:

1. Photovoltaics (PV) atau disebut juga sel surya, adalah perangkat elektronik yang mengubah sinar matahari langsung menjadi listrik. Sel surya modern yang banyak dikenal dalam masyarakat adalah berupa panel surya yang dipasang di atap rumah dan pada kalkulator. Sel surya ditemukan pada tahun 1954 di Bell Telephone Laboratories di Amerika Serikat. Saat ini, PV adalah salah satu teknologi energi terbarukan yang tumbuh paling cepat, dan siap untuk memainkan peran utama dalam bauran pembangkit listrik global di masa depan.

Instalasi PV dapat dikombinasikan untuk menyediakan listrik pada skala komersial, atau diatur dalam konfigurasi yang lebih kecil untuk jaringan mini atau penggunaan pribadi. Menggunakan PV untuk menyalakan mini-grid adalah cara yang sangat baik untuk membawa akses listrik ke orang-orang yang tidak tinggal di dekat saluran transmisi listrik, terutama di negara-negara berkembang dengan sumber daya energi matahari yang sangat baik.

Biaya pembuatan panel surya telah menurun drastis dalam dekade terakhir, menjadikannya tidak hanya terjangkau tetapi seringkali merupakan bentuk listrik termurah. Panel surya memiliki umur sekitar 30 tahun, dan tersedia dalam berbagai warna tergantung pada jenis bahan yang digunakan dalam pembuatan.

2. Tenaga surya terkonsentrasi (Concentrated Solar Power, CSP), menggunakan cermin untuk memusatkan sinar matahari. Sinar ini adalah fluida panas, yang menciptakan uap untuk menggerakkan turbin dan menghasilkan listrik. CSP digunakan untuk menghasilkan listrik pada pembangkit listrik skala besar.

Pembangkit listrik CSP biasanya memiliki bidang cermin yang mengarahkan sinar ke menara tipis yang tinggi. Salah satu keuntungan utama dari pembangkit CSP dibandingkan pembangkit tenaga surya PV adalah bahwa ia dapat dilengkapi dengan garam cair di mana panas dapat disimpan, memungkinkan listrik dihasilkan setelah matahari terbenam.

- b. Energi Panas Bumi [4], [5], [6]

Energi panas bumi (geothermal) adalah panas yang berasal dari dalam sub-permukaan bumi. Air dan/ atau uap membawa energi panas bumi ke permukaan bumi. Bergantung pada karakteristiknya, energi panas bumi dapat digunakan untuk tujuan pemanasan dan pendinginan atau dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik yang bersih. Namun, untuk listrik, diperlukan sumber daya bersuhu tinggi atau sedang, yang biasanya terletak dekat dengan daerah aktif tektonik.

Sumber terbarukan utama ini mencakup bagian besar dari permintaan listrik di negara-negara seperti Islandia, El Salvador, Selandia Baru, Kenya, dan Filipina dan lebih dari 90% permintaan pemanas di Islandia [4]. Selain jumlahnya yang melimpah sumber energi panas bumi ramah terhadap suatu lingkungan. Selain itu juga keuntungan utama dari energi panas bumi adalah tidak tergantung pada kondisi cuaca dan memiliki faktor kapasitas yang sangat tinggi; untuk alasan ini, pembangkit listrik tenaga panas bumi mampu memasok listrik beban-dasar, serta menyediakan layanan tambahan untuk fleksibilitas jangka pendek dan jangka panjang dalam beberapa kasus. Indonesia juga merupakan salah satu negara di dunia yang kaya akan energi panas bumi, karena Indonesia memiliki banyak gunung berapi aktif yang menjadi keuntungan tersendiri bagi negara kita.

- c. Energi/Tenaga Angin [4], [5], [6]

Tenaga angin adalah salah satu teknologi energi terbarukan yang tumbuh paling cepat, Pemanfaatan sumber energi angin sedang gencar dilakukan oleh banyak negara di seluruh dunia karena sumber energi ini tidak terbatas jumlahnya. Pemanfaatan energi ini menggunakan sebuah kincir angin yang dihubungkan dengan sebuah generator atau turbin untuk menghasilkan tenaga listrik.

Turbin angin pertama kali muncul lebih dari seabad yang lalu. Mengikuti penemuan generator listrik pada tahun 1830-an, para insinyur mulai mencoba untuk memanfaatkan energi angin untuk menghasilkan listrik. Pembangkit listrik tenaga angin terjadi di Inggris dan Amerika Serikat pada tahun 1887 dan 1888, tetapi tenaga angin modern dianggap pertama kali dikembangkan di Denmark, di mana turbin angin sumbu horisontal dibangun pada tahun 1891 dan turbin angin 22,8 meter mulai beroperasi pada tahun 1897 [4].

Kapasitas pembangkit listrik tenaga angin terpasang di darat dan lepas pantai telah meningkat hampir 75 kalinya dalam dua dekade terakhir, melonjak dari 7,5 GW pada tahun 1997 menjadi sekitar 564 GW pada tahun 2016, menurut data IRENA. Produksi listrik tenaga

angin meningkat dua kali lipat antara tahun 2009 dan 2013. Banyak bagian dunia memiliki kecepatan angin yang kuat, tetapi lokasi terbaik untuk menghasilkan tenaga angin kadang-kadang jauh. Tenaga angin lepas pantai menawarkan potensi luar biasa.

Angin digunakan untuk menghasilkan listrik menggunakan energi kinetik yang diciptakan oleh udara saat bergerak. Energi ini diubah menjadi energi listrik menggunakan turbin angin atau sistem konversi energi angin. Angin pertama-tama mengenai bilah turbin, menyebabkannya berputar dan memutar turbin yang terhubung dengannya. Hal itu mengubah energi kinetik menjadi energi rotasi, dengan menggerakkan poros yang terhubung ke generator, dengan demikian menghasilkan energi listrik melalui elektromagnetisme.

Jumlah daya yang dapat dipanen dari angin tergantung pada ukuran turbin dan panjang bilahnya. Outputnya sebanding dengan dimensi rotor dan kubus kecepatan angin. Secara teoritis, ketika kecepatan angin meningkat dua kali lipat, potensi tenaga angin meningkat menjadi delapan kalinya.

Kapasitas turbin angin meningkat dari waktu ke waktu. Pada tahun 1985, turbin tipikal memiliki nilai kapasitas 0,05 MW dan diameter rotor 15 meter. Proyek tenaga angin baru saat ini memiliki kapasitas turbin sekitar 2 MW di darat dan 3-5 MW di lepas pantai. Turbin angin yang tersedia secara komersial telah mencapai kapasitas 8 MW, dengan diameter rotor hingga 164 meter. Kapasitas rata-rata turbin angin meningkat dari 1,6 MW pada 2009 menjadi 2 MW pada 2014 [4].

#### d. Energi Biomassa/Bioenergi [4]

Energi Biomassa terdiri dari suatu tanaman hidup, pohon mati, dan serpihan kayu. Biomassa memiliki potensi yang signifikan untuk meningkatkan pasokan energi di negara-negara berpenduduk padat dengan meningkatnya permintaan, seperti Brasil, India dan Cina. Jenis energi ini dapat langsung dibakar untuk pemanasan atau pembangkit listrik, atau dapat dikonversi menjadi pengganti minyak atau gas. Biofuel cair, pengganti bensin yang mudah diperbarui, sebagian besar digunakan di sektor transportasi.

Brasil adalah pemimpin dalam biofuel cair dan memiliki armada kendaraan bahan bakar fleksibel terbesar, yang dapat beroperasi dengan bioetanol - alkohol yang sebagian besar dihasilkan dari fermentasi karbohidrat dalam gula atau tanaman pati, seperti jagung, tebu atau sorgum manis [4].

#### e. Energi (Tenaga) Air [4], [5], [6]

Tenaga air adalah energi yang berasal dari air yang mengalir. Energi yang bersumber dari tenaga air sudah lama dimanfaatkan oleh manusia karena ramah lingkungan dan pasokannya sangat berlimpah. Lebih dari 2.000 tahun yang lalu, orang-orang Yunani kuno menggunakan kekuatan air untuk menjalankan roda untuk menggiling biji-bijian; saat ini hal itu merupakan salah satu cara yang paling hemat biaya untuk menghasilkan listrik dan seringkali merupakan metode yang lebih disukai jika tersedia. Di Norwegia, misalnya, 99% listrik berasal dari tenaga air.

Pembangkit listrik tenaga air atau PLTA merupakan salah satu contoh pemanfaatan sumber tenaga air untuk kehidupan yang lebih baik. Pembangkit listrik tenaga air terbesar di dunia adalah Dam Tiga Ngarai 22,5 GW di Cina, yang menghasilkan 80 hingga 100 terawatt-jam per tahun, cukup untuk memasok antara 70 - 80 juta rumah tangga [4].

Proyek pembangkit listrik tenaga air (PLTA) skala kecil dapat membuat perbedaan besar bagi masyarakat di lokasi terpencil. Prinsip dasar pembangkit listrik tenaga air adalah menggunakan air untuk menggerakkan turbin. Pembangkit listrik tenaga air terdiri dari dua konfigurasi dasar: dengan bendungan dan waduk (reservoir) atau disebut juga mix plants, atau tanpa bendungan dan waduk. Bendungan PLTA dengan waduk dapat menyimpan air dalam periode pendek atau panjang untuk memenuhi permintaan puncak. Fasilitas ini juga dapat dibagi menjadi bendungan yang lebih kecil untuk tujuan yang berbeda, seperti penggunaan malam atau siang hari, penyimpanan musiman, atau instalasi penyimpanan reversibel yang dipompa, baik untuk pemompaan maupun pembangkit listrik. Tenaga air tanpa bendungan dan waduk berarti berproduksi dalam skala yang lebih kecil, biasanya dari fasilitas yang dirancang untuk beroperasi di sungai tanpa mengganggu alirannya. Karena alasan ini, banyak yang menganggap PLTA skala kecil sebagai pilihan yang lebih ramah lingkungan.

#### f. Energi Pasang Surut [4]

Energi pasang surut air laut dianggap lebih menjanjikan karena hasilnya yang maksimal bila dibandingkan dengan sumber energi tenaga surya dan tenaga angin. Namun

demikian, pemanfaatan energi pasang surut ini masih sedikit karena biayanya yang sangat mahal.

Pasang surut, gelombang, dan arus dapat digunakan untuk menghasilkan listrik. Energi pasang surut, dihasilkan baik oleh teknologi rentang-pasang surut menggunakan bendungan (atau penghalang lainnya) untuk memanen daya antara pasang dan surut; teknologi arus pasang surut; atau aplikasi *hybrid*.

## METODOLOGI

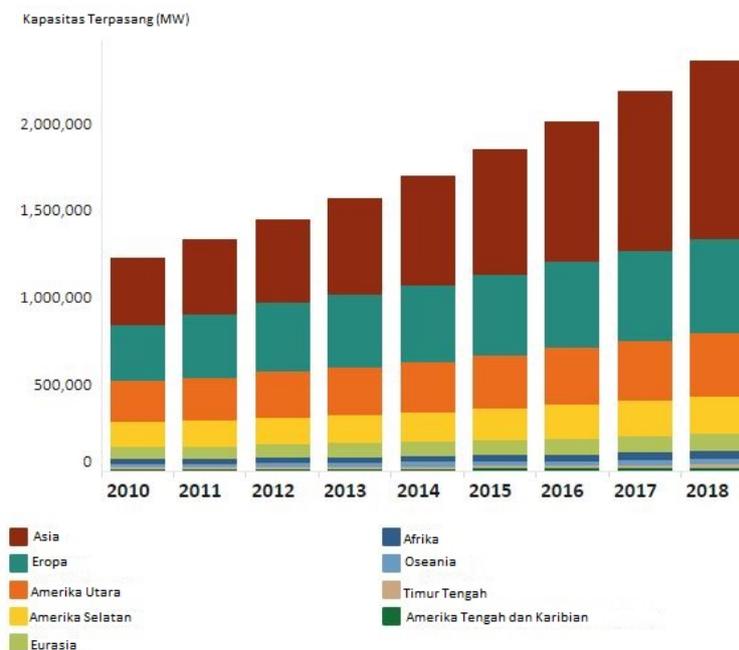
Metodologi yang digunakan pada makalah ini adalah penelusuran literatur melalui internet, baik berupa artikel, makalah maupun laporan. Sebagian besar data diperoleh dari data base IRENA yang diolah ulang menggunakan spreadsheet excel..

## HASIL DAN PEMBAHASAN

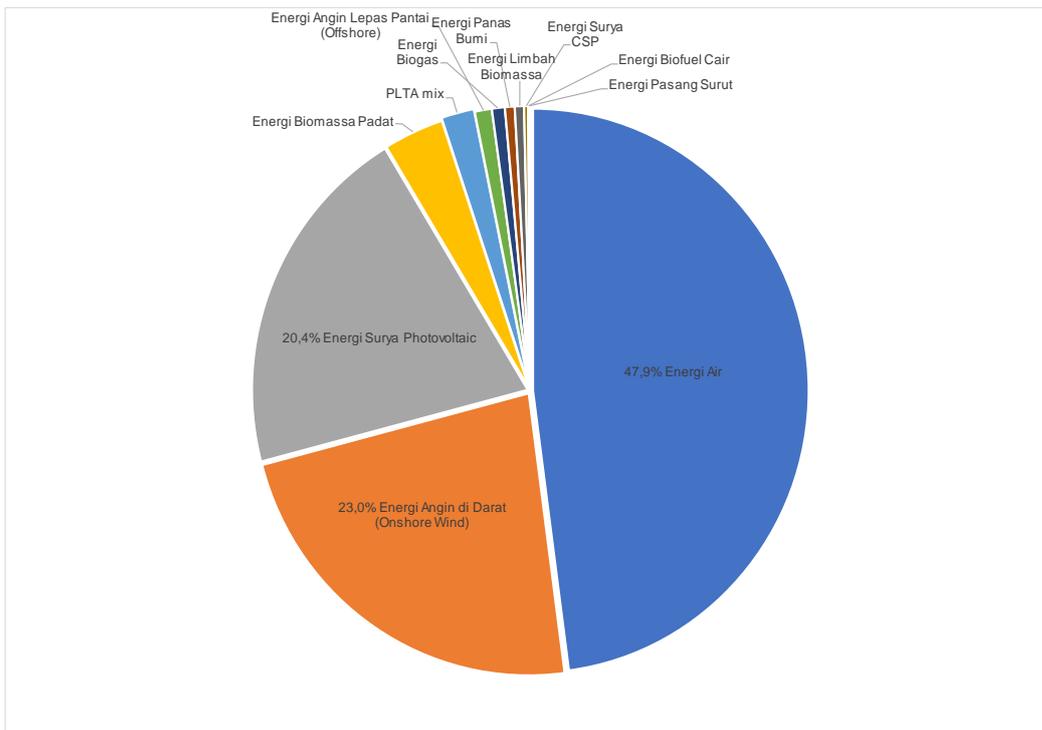
Berdasarkan data statistik dari International Renewable Energy Agency (IRENA) dari tahun 2010 sampai 2018, wilayah yang paling banyak mengembangkan energi terbarukan adalah Asia, diikuti Eropa, Amerika Utara, Amerika Selatan, benua Eurasia (wilayah Eropa dan Asia) dan lainnya (Gambar 1) [4].

Penggunaan energi terbarukan terus mengalami peningkatan sejak tahun 2010 sampai 2018. Kapasitas terpasang energi terbarukan di Benua Asia tahun 2010 sebanyak 386.908 MW atau sekitar 387 GW (31,61% dari total kapasitas terpasang di dunia) dan meningkat menjadi 1.023.533 MW atau sekitar 1.023,5 GW (43,54%) pada tahun 2018 (Gambar 1) [4].

Gambar 2. menampilkan persentase penggunaan teknologi energi terbarukan yang ada di dunia. Berdasarkan Gambar 2., energi terbarukan di dunia didominasi oleh sumber energi/tenaga air sebanyak 47,9%, kemudian energi angin di daratan (Onshore) sebanyak 23,0% dan energi surya photovoltaic sebanyak 20,4%. Sisanya dikembangkan energi lainnya, seperti energi biomassa padat, energi pasang surut, energi panas bumi, energi biogas, dan lain-lain [4].Garis pada grafik harus secara jelas terlihat perbedaan satu dengan yang lain apabila terdapat lebih dari satu kurva. Gambar contoh pada Gambar 1 harus menggunakan resolusi tinggi dan dipertimbangkan kondisi pencetakan menggunakan tanda warna abu-abu atau *gray color*, Arial 10. Penggunaan tanda panah bila diperlukan untuk memperjelas bagian tertentu [5].

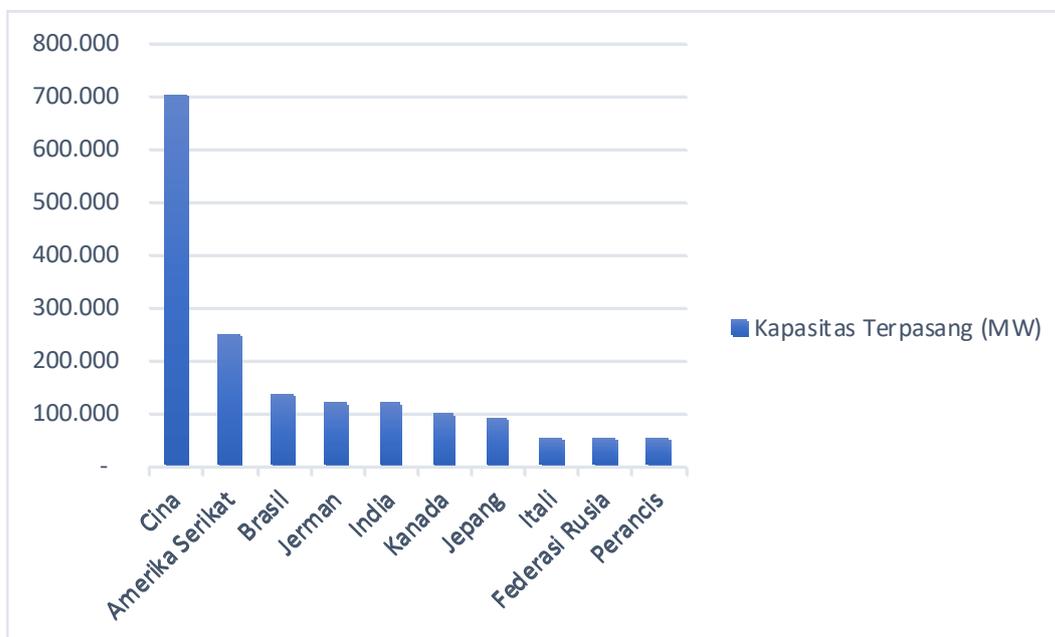


Gambar 1. Kapasitas Terpasang Energi Terbarukan di Beberapa Wilayah di Dunia Tahun 2010-2018 [4]



Gambar 2. Persentase Teknologi Energi Terbarukan di Dunia [4]

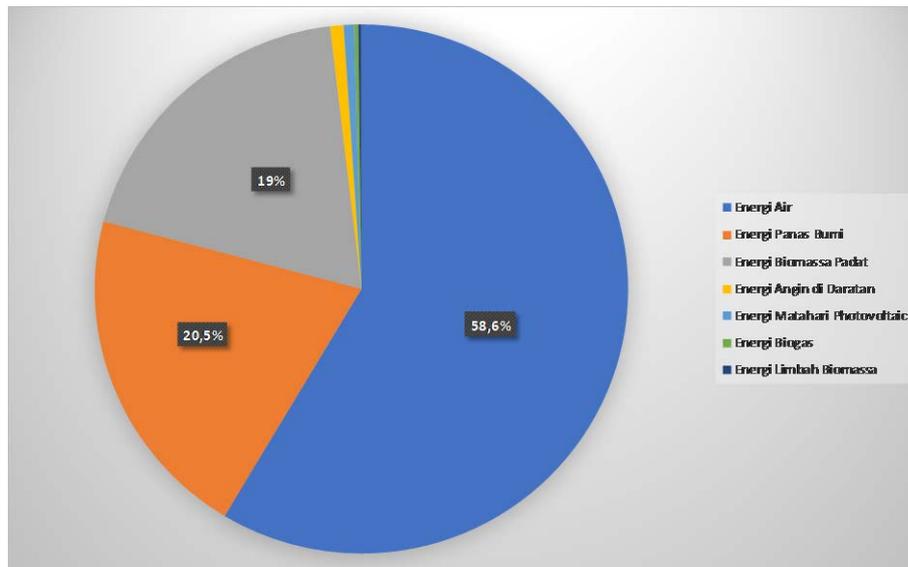
Sepuluh negara yang mengembangkan pemanfaatan sumber energi terbarukan terbanyak di dunia pada tahun 2018 ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sepuluh Negara Terbanyak yang Memiliki Sumber Energi Terbarukan di Dunia [4]

Pada Gambar 4., ditampilkan pemanfaatan sumber energi terbarukan yang dikembangkan oleh Indonesia. Pemanfaatan sumber energi terbanyak adalah energi air dengan total kapasitas mencapai 58,6% dari total energi terbarukan, panas bumi (20,5%), energi bioenergi jenis teknologi biomassa (padat) mencapai 20,5% dan sisanya adalah jenis

energi lainnya seperti energi angin, matahari dan teknologi bioenergi lainnya (biogas dan energi limbah biomassa).

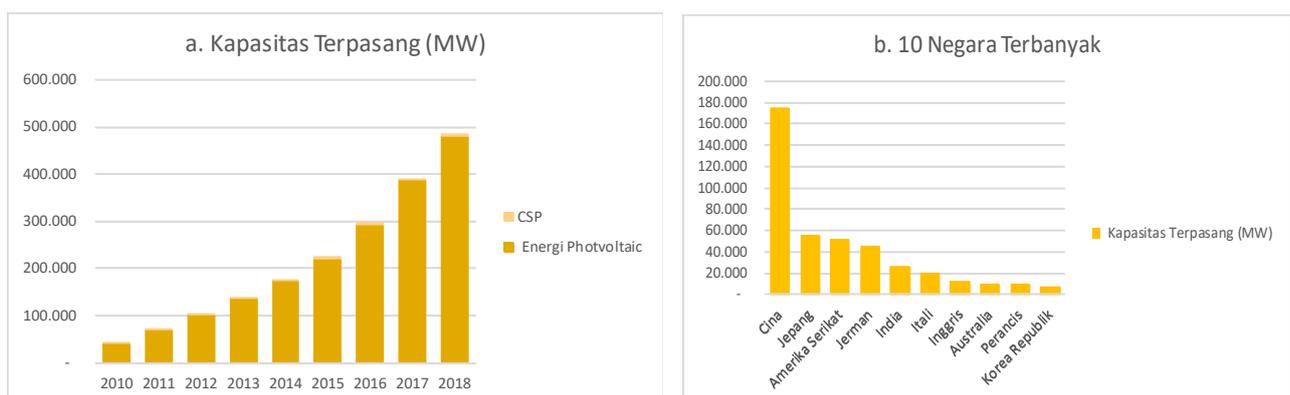


Gambar 4. Energi Terbarukan di Indonesia [4]

#### a. Energi Matahari

Penggunaan energi matahari (kapasitas terpasang) di dunia dapat dilihat pada Gambar 4. Kapasitas terpasang energi matahari di dunia dari tahun 2010 sampai 2018 terus mengalami peningkatan untuk jenis teknologi photovoltaic, yaitu dari 39.603 MW (39,6 GW) pada tahun 2010 meningkat menjadi 480.357 MW (480,4 GW) di tahun 2018. Sedangkan untuk jenis teknologi CSP cenderung tidak mengalami kenaikan yang signifikan, di tahun 2010 kapasitas terpasang sebesar 1.269 MW (1,3 GW) menjadi 5.469 MW (5,5 GW) di tahun 2018 (Gambar 5. a.) [4].

Gambar 5. b. menampilkan 10 negara terbanyak yang memiliki sumber energi matahari pada tahun 2018. Negara Cina memiliki sumber energi matahari terbanyak, dengan kapasitas terpasang sekitar 175.000 MW (175 GW). Negara kedua dan ketiga terbanyak adalah Jepang (di atas 50 GW) dan Amerika Serikat (kurang dari 50 GW).

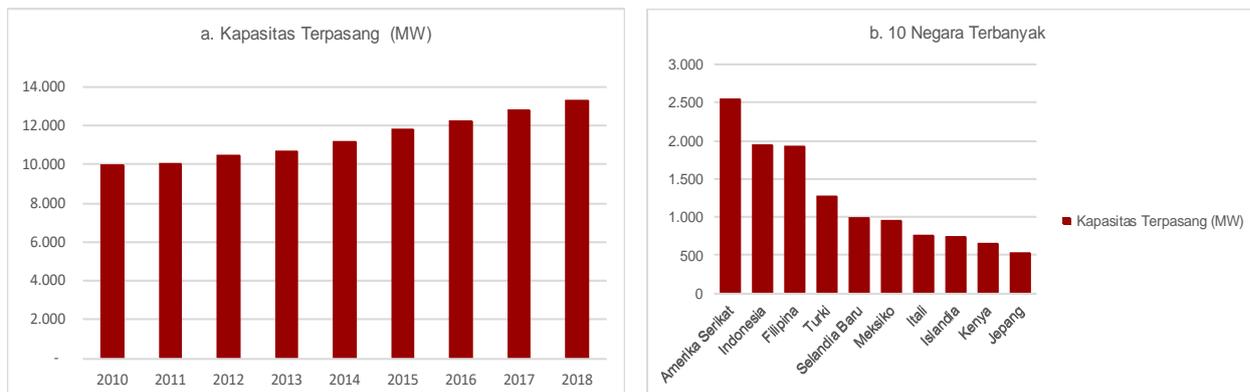


Gambar 5. Sumber Energi Matahari di Dunia [4]

Indonesia tidak termasuk dalam urutan 10 negara terbanyak yang mengembangkan energi matahari, namun pengembangan dan pemanfaatan energi matahari di Indonesia mengalami peningkatan dari tahun 2010 sampai 2018. Kapasitas terpasang energi matahari Indonesia pada tahun 2010 sebesar 14,58 MW dan menjadi 60,27 MW pada tahun 2018 [4].

### b. Energi Panas Bumi

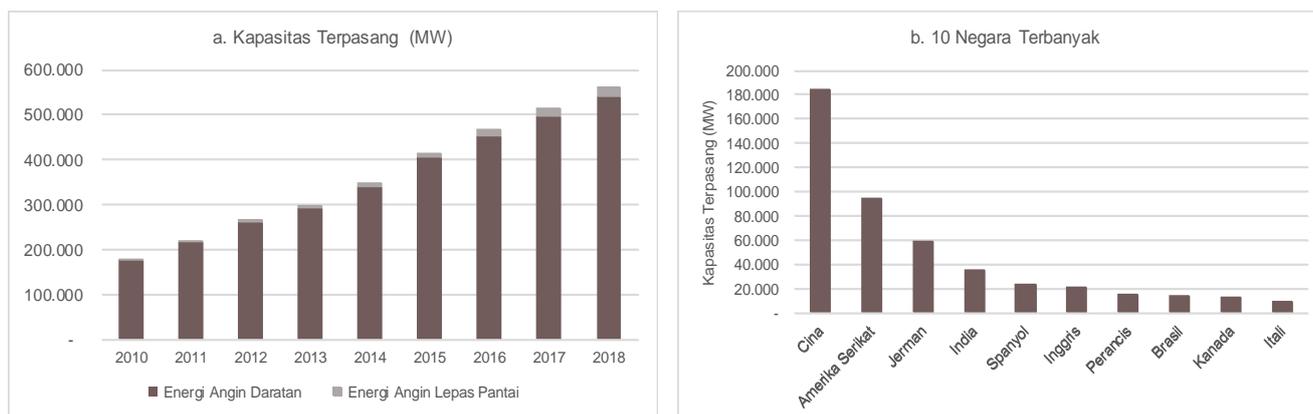
Pemanfaatan sumber energi panas bumi di dunia tidak mengalami peningkatan yang cukup berarti, pada tahun 2010 kapasitas terpasang sebesar 9.998 MW atau sekitar 10 GW dan pada tahun 2018 sebesar 13.329 MW atau 13,3 GW (Gambar 6.a.). Sepuluh negara terbanyak yang mengembangkan sumber energi panas bumi tahun 2018 dapat dilihat pada Gambar 6.b. Sumber energi panas bumi terbanyak dimiliki oleh Amerika Serikat dengan kapasitas terpasang 2.545,500 MW (2,5 GW), Indonesia di urutan kedua dengan kapasitas terpasang 1.945,500 MW (1,9 GW), dan di urutan sepuluh adalah Jepang dengan kapasitas terpasang 535,990 MW (0,5 GW).



Gambar 6. Sumber Energi Panas Bumi di Dunia [4]

### c. Energi Angin

Kapasitas terpasang energi angin di dunia terus mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, baik yang terpasang di darat maupun yang berada di lepas pantai. Jenis sumber energi angin yang terpasang di darat lebih banyak jumlahnya daripada yang terpasang di lepas pantai (Gambar 7.a.). Dari 10 negara terbanyak yang mengembangkan sumber energi angin di dunia, Cina merupakan negara terbanyak yang mengembangkan pemanfaatan energi angin, dengan kapasitas terpasang sebesar 184.698,337 MW (sekitar 184,7 GW). Italia menduduki urutan ke-10 dengan kapasitas terpasang sebesar 10.310,000 MW (sekitar 10,3 GW).



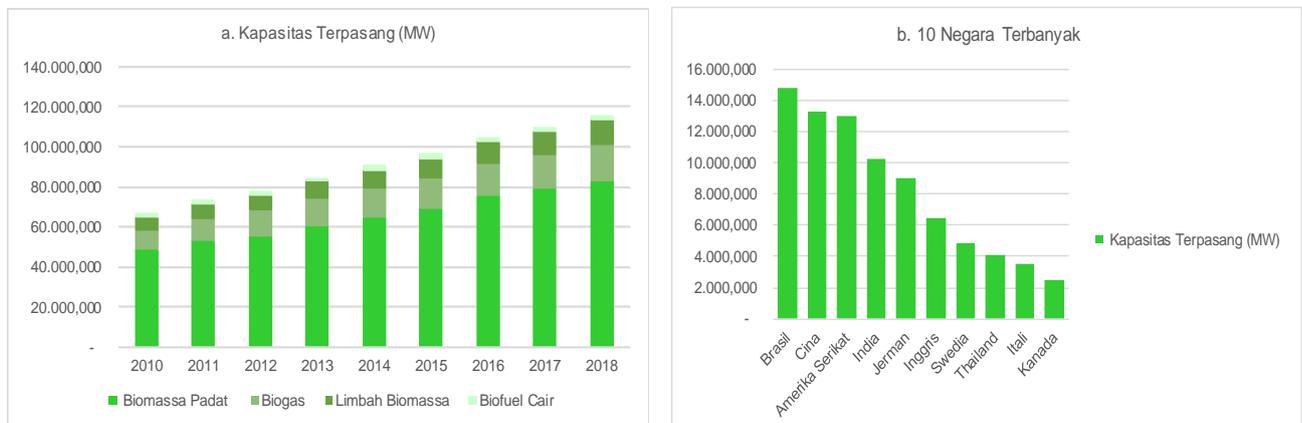
Gambar 7. Sumber Energi Angin di Dunia [4]

Indonesia belum termasuk dalam 10 urutan negara terbesar yang memanfaatkan sumber energi angin. Namun demikian bukan berarti Indonesia tidak mengembangkan pemanfaatan sumber energi angin. Perkembangan pemanfaatan energi angin di Indonesia mengalami kenaikan kapasitas terpasang yang sangat melonjak pada tahun 2018 dibandingkan tahun-tahun sebelumnya. Kapasitas terpasang energi angin Indonesia pada tahun 2018 sebesar 76,12 MW sementara dari tahun 2011 sampai 2017 rata-rata kapasitas terpasang sekitar 0,34 sampai 1,12 MW (Gambar 8).



Gambar 8. Kapasitas Sumber Energi Angin di Indonesia Jenis Lepas Pantai [4]

#### d. Energi Biomassa



Gambar 9. Sumber Energi Biomassa di Dunia [4]

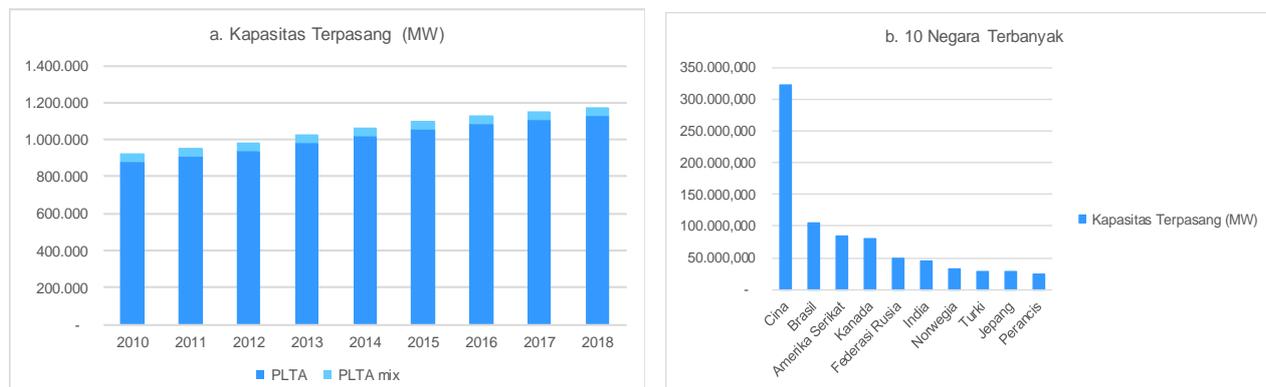
Pemanfaatan energi biomassa di dunia juga mengalami kenaikan dari tahun ke tahun (dari tahun 2010 sampai 2018). Jenis teknologi biomassa yang dikembangkan di dunia terbanyak dari teknologi biomassa padat (Gambar 9.a.). Sepuluh negara terbanyak di dunia yang mengembangkan pemanfaatan energi biomassa pada tahun 2018 dapat dilihat pada Gambar 9.b. Negara yang memiliki kapasitas terpasang energi biomassa terbanyak adalah Brasil dengan jumlah kapasitas terpasang sebesar 14.781,872 MW (14,7 GW), diikuti oleh Cina, Amerika Serikat, India dan yang terakhir adalah Kanada dengan kapasitas terpasang 2.510,500 MW (2,5 GW).

Indonesia juga mengembangkan sumber energi biomassa dari jenis biomassa padat, biogas dan limbah terbarukan. Pada tahun 2018 jumlah kapasitas terpasang energi biomassa Indonesia adalah 1.800 MW (jenis biomassa padat), 23 MW (jenis biogas) dan 18 MW (jenis limbah biomassa).

#### e. Energi Air

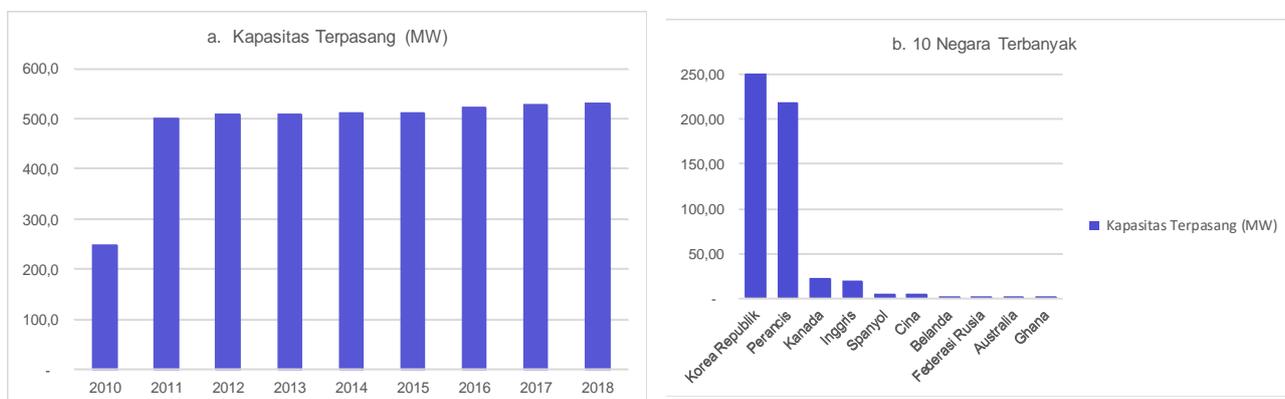
Sumber energi air di dunia yang terbanyak dari jenis teknologi PLTA. Pemanfaatan energi air ini juga terus mengalami peningkatan walaupun tidak terlalu tajam kenaikannya. Gambar 10.a. menunjukkan bahwa kapasitas terpasang energi air di dunia dari tahun 2010 sampai 2018. Kapasitas energi air jenis PLTA pada tahun 2018 sebesar 1.126,466 MW (1,1 GW) dan jenis pembangkit dengan bendungan (waduk) sebesar 45,146 MW. Gambar 10.b. menunjukkan 10 negara terbanyak yang mengembangkan pemanfaatan energi air di tahun 2018. Cina menduduki urutan pertama dengan jumlah kapasitas terpasang 322.871,434 MW (322,9 GW). Negara Perancis menduduki urutan ke-10 dengan kapasitas terpasang 23.967,355 MW (23,9 GW).

Indonesia juga mengembangkan sumber energi air walaupun belum termasuk dalam urutan 10 negara terbanyak di dunia. Sumber energi air (PLTA) yang dimiliki Indonesia pada tahun 2018 sebanyak 5.548 MW atau sekitar 5,6 GW.



Gambar 10. Sumber Energi Air di Dunia [4]

### f. Energi Pasang Surut



Gambar 11. Sumber Energi Pasang Surut di Dunia [4]

### KESIMPULAN

Pemanfaatan energi terbarukan di dunia selalu mengalami peningkatan dari tahun 2010 sampai 2018. Sumber energi terbarukan paling banyak adalah sumber energi air (tenaga air) yaitu sebanyak 47,9% dari total sumber energi di tahun 2018. Wilayah yang paling banyak menggunakan sumber energi terbarukan adalah Asia, dengan kapasitas terpasang mencapai 1.023.535 MW (1.023,5 GW) atau sekitar 43,54% dari total sumber energi terbarukan. Wilayah yang menempati urutan kedua adalah Eropa (kapasitas terpasang 536.392 MW (536,9 GW) atau sekitar 22,82 %, sedangkan Amerika Utara menempati urutan ketiga dengan kapasitas terpasang 366.500 MW (366,5 GW) sekitar 15,59%.

Secara keseluruhan, Cina merupakan negara dengan sumber energi terbarukan terbanyak dengan total kapasitas terpasang hampir mencapai 700.000 MW (700 GW) dengan jenis sumber energi matahari, angin dan air pada tahun 2018. Negara yang menempati urutan kedua adalah Amerika Serikat dengan kapasitas terpasang energi terbarukan mencapai sekitar 250.000 MW (250 GW) diikuti oleh Brasil dengan kapasitas terpasang sekitar 136.000 MW (136 GW), Jerman (120 GW), dan negara lainnya.

Indonesia masuk ke dalam urutan 10 negara terbanyak yang mengembangkan pemanfaatan energi terbarukan, khusus untuk energi panas bumi (urutan kedua dengan kapasitas terpasang 1.945,5 MW sekitar 1,9 GW) pada tahun 2018. Pemanfaatan energi terbarukan lainnya yang dikembangkan di Indonesia adalah sumber energi air, matahari, biomassa dan angin. Khusus untuk energi angin mengalami peningkatan yang sangat tajam, sejak tahun 2010 belum mencapai 1 MW sampai tahun 2017 (1,12 MW) meningkat tajam menjadi 76,12 MW di tahun 2018.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] BASTORI I., "Manajemen Strategik General Electric", Media Kita, Edisi 3 Hal. 24-27, Jakarta (2006).
- [2] PLN LITBANG dan PPEN-BATAN, "Laporan Akhir: Studi Ekonomi, Pendanaan dan Struktur Owner dalam Rangka Rencana Persiapan Pembangunan PLTN Pertama di Indonesia", PLN, Jakarta (2006).
- [3] BIROL F., "Nuclear Power: How Competitive Down The Line?", IAEA Bulletin Volume 48 No.2, www.iaea.org, Vienna, 2007. Diakses tanggal 25 Oktober 2008.
- [4] Perka LIPI, "Pedoman Karya Tulis Ilmiah", Perka LIPI no.04/E/2012, LIPI (2012).
- [5] Dehbi A. and Martin S., "CFD Simulation of Particle Deposition on An Array of Spheres Using an Euler/Lagrange Approach", Jurnal Nuclear Engineering and Design, Vol.241, pp.3121–3129 (2011).
- [6] IAEA-TECDOC-1382, "Evaluation of High Temperature Gas Cooled Reactor Performace: Benchmark Analysis Related to Initial Testing of The HTTR and HTR-10", IAEA, November, Vienna (2003).

HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN

## STUDI ALIRAN DAYA SINKRONISASI GRID PADA SISTEM CATU DAYA DARURAT PLTN PWR 100 MWe

**Khairul Handono, Indarzah, dan Tukiman**

*Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir-Badan Tenaga Nuklir Nasional  
Kawasan Puspiptek gd.71 Serpong Tangerang Selatan*

### ABSTRAK

**STUDI ALIRAN DAYA SINKRONISASI GRID PADA SISTEM CATU DAYA DARURAT PLTN PWR 100 MWe.** Telah dilakukan simulasi aliran daya sinkronisasi grid pada sistem catu daya darurat PLTN tipe PWR 100 MWe. Sistem catu daya darurat yang didesain pada PLTN 100 MWe merupakan dua buah genset identik dengan kapasitas masing masing sebesar 800 kVA. Generator darurat ini harus dapat mensuplay kebutuhan Reaktor Protection System (RPS) dan pompa primer (pompa sirkulasi pendingin) ketika terjadi kecelakaan kehilangan catu daya (stasiun *blackout*). Dari hasil simulasi menggunakan software ETAP menunjukkan bahwa sistem catu daya darurat dapat memasok kebutuhan RPS dan pompa primer 400 kVA. Penelitian ini sangat penting dilakukan untuk mengetahui desain yang tepat pada spesifikasi generator dan komponen proteksi pada sistem catu daya darurat PLTN tipe PWR 100 MWe.

Kata kunci: aliran daya, catu daya darurat, PWR 100 MWe

### ABSTRACT

**STUDY OF GRID SYNCHRONIZATION POWER FLOW IN EMERGENCY POWER SUPPLY SYSTEM OF NPP 100 MWe.** A grid synchronization load flow simulation has been carried out on supply emergency system of 100 MWe PWR type nuclear power plant. The emergency power supply system designed at the 100 MWe nuclear power plant is two identical generators with a capacity of 800 kVA. The emergency generator must be able to supply the needs of the Reactor Protection System (RPS) and primary pump (cooling circulation pump) in the event of an accident of loss of power supply (blackout station). From the simulation results using ETAP software shows that the emergency power supply system can supply the needs of RPS and primary pump 400 kVA. This research is very important to be carried out to determine the exact design of the generator specifications and the protection components and system of the 100 MWe PWR type Nuclear power supply system.

Keywords: power flow, emergency power supply, PWR 100 MWe

### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sangat luas mulai dari pulau besar, sedang dan kecil, pulau-pulau besar adalah: Jawa, Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua. Berdasarkan hal tersebut, di masa depan Indonesia membutuhkan pasokan energi yang besar. Selanjutnya energi nuklir akan menjadi bagian dari sumber energi bauran nasional berdampingan dengan sumber energi fosil, gas, air dan energi terbarukan lainnya. Kebutuhan energi nuklir di Indonesia melalui Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) akan memegang peran penting dalam mencukupi kebutuhan energi listrik.

Pemilihan teknologi, jenis dan kapasitas PLTN menjadi penting dan menarik untuk dikaji dan dibahas secara komprehensif dikarenakan kompleksitas permasalahan negara kepulauan tersebut. Dari segi besarnya kapasitas daya PLTN, ada pilihan yang menarik untuk dipertimbangkan menggunakan opsi PLTN kecil, dan medium yang dikenal dengan SMR modular. Badan Energi Atom Internasional (IAEA) mendefinisikan kecil di bawah 300 MWe, sampai dengan sekitar 700 MWe sebagai medium. [1,2]

Oleh karena tingginya biaya modal reaktor daya besar yang menghasilkan listrik melalui siklus uap dan sebagian karena kebutuhan untuk melayani jaringan listrik kecil ada langkah untuk mengembangkan unit yang lebih kecil. Ini dapat dibangun secara mandiri atau sebagai modul di wilayah yang lebih besar, dengan kapasitas yang ditambahkan secara bertahap sebagaimana diperlukan secara keekonomian dipertimbangkan karena jumlah yang dihasilkan. PLTN kecil dan independen lebih sesuai untuk wilayah terpencil. Oleh karena itu, dalam kajian lebih lanjut pemilihan PLTN jenis Small Medium Reactor (SMR) modular LWR

(*Light Water Reactor*) menjadi menarik. PLTN Unit kecil dipandang relatif sebagai investasi yang jauh lebih mudah dikelola daripada yang besar yang biayanya sering menyaingi kapitalisasi utilitas yang bersangkutan. [3] Jenis SMR yang dikembangkan didunia antara lain SMART jenis PWR kapasitas 100 MWe yang dikembangkan oleh Korea. Westinghouse juga mengembangkan 100 s/d 335 MWe jenis PWR dengan nama IRIS. Demikian juga di China telah mengembangkan PWR 100 MWe dengan nama ACP 100. [4]

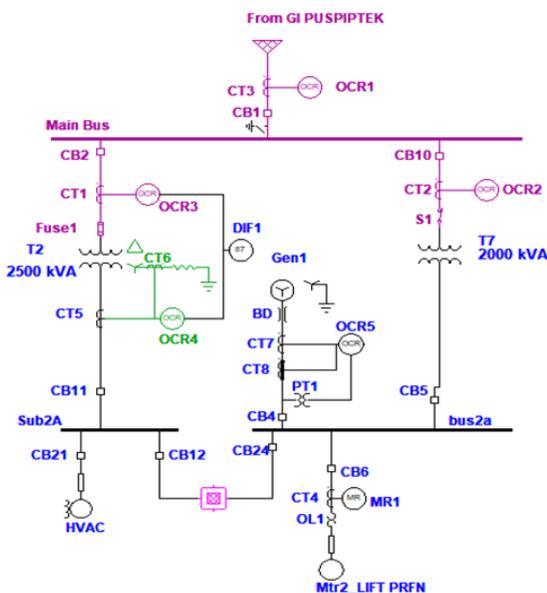
Pada makalah ini penelitian hanya difokuskan untuk studi aliran daya untuk sinkronisasi daya pada PLTN 100 MWe dengan grid yang ada. Tujuan penelitian ini adalah studi aliran daya sinkronisasi menggunakan simulasi software ETAP 12.6 sehingga dapat diketahui aliran daya sinkronisasi antara catu daya yang digunakan oleh PLTN 100 MWe dengan grid. Input data awal yang digunakan menggunakan catu daya darurat yang ada di Kawasan Gedung 71, dan reaktor GA Siwa Bessy Kawasan PUSPIPTEK Serpong yang dipadukan dengan data tipikal data desain yang akan digunakan untuk kebutuhan catu daya darurat PLTN 100 MWe. [4]

**DESKRIPSI SISTEM**

Sistem catu daya untuk data yang diacu di diesel generator Gedung 71, Kawasan Puspipstek, Serpong, sebaiknya ditambahkan yang menyediakan pasokan cadangan dalam bentuk generator yang ditetapkan sebagai pasokan cadangan jika ada pemadaman listrik dari jaringan PLN. Sehingga pemodelan catu daya darurat PLTN diletakkan pada grid yang ada Bersama aliran daya beban sebagai kebutuhan RPS dan pompa sirkulasi yang mencatu kebutuhan beban penerangan. Sistem cadangan dengan menggunakan generator set saat ini masih hanya dirancang untuk memenuhi kebutuhan sistem pencahayaan dan persyaratan laboratorium penting yang memiliki daya sangat terbatas.

Studi ini dilakukan dengan mengumpulkan data seperti: mencari diagram garis tunggal, data transformator, beban transformator, panjang konduktor dan jenis konduktor, dan gangguan data yang terjadi dalam sistem catu daya, dan relay data dipasang. Penelitian ini cukup membantu dalam pengalaman analisis aliran daya beban dalam hal pasokan daya listrik untuk pembangkit listrik tenaga nuklir kecil. [3].

Analisis aliran beban adalah pendekatan yang paling penting dan esensial untuk investigasi masalah dalam operasi dan perencanaan sistem tenaga. Berdasarkan pembangkit yang ditentukan negara dan struktur jaringan transmisi, analisis aliran beban memecahkan stabilitas status operasi dengan tegangan simpul dan aliran daya cabang di sistem daya. Analisis aliran beban dapat menghasilkan kondisi operasi daya yang stabil dan seimbang pada sistem jaringan (*grid*), tanpa mempertimbangkan proses transien sistem. Karena itu, model matematika masalah aliran beban adalah sistem persamaan aljabar non linier sederhana.

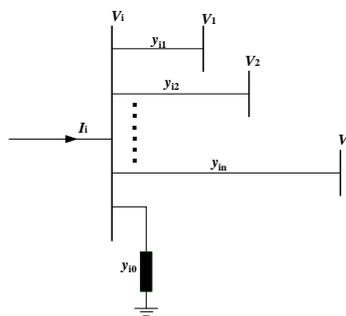


Gambar 1. Diagram Segaris Sistem Catu daya Darurat Gedung 71

Aliran daya beban adalah alat penting yang digunakan oleh para designer listrik untuk perencanaan, untuk menentukan operasi terbaik untuk analisis sistem tenaga dan pertukaran daya antar pemasok beban antar catu darurat beberapa diesel generator. Untuk memiliki sistem daya operasi yang andal dan efisien, perlu untuk menentukan metode mana yang cocok dan efisien untuk analisis aliran beban sistem. Makalah ini menyajikan analisis masalah aliran daya beban dalam studi perencanaan sistem tenaga untuk disain system catu daya darurat PLTN 100 MWe. Metode numerik yang digunakan adalah Newton-Raphson untuk solusi analisis aliran daya menggunakan *software* ETAP. Hasil simulasi untuk jumlah iterasi, waktu komputasi, nilai toleransi dan konvergensi untuk menganalisis aliran daya beban.

### Studi Aliran Daya Optimum

Studi optimasi aliran daya dianggap penting dalam erencanaan untuk membangun sistem daya dan dapat mencapai operasi sistem daya pada stabil dari seluruh tegangan, daya aktif dan reaktif. Pada kestabilan dalam sistem tenaga, pembangkit tenaga disamakan dengan nilai beban dengan pertimbangan rugi-rugi saluran. Selain itu, daya permintaan adalah nilai konstan untuk beban, yang mengalir melalui saluran transmisi. Optimalisasi aliran daya dapat memperoleh sudut tegangan terhadap arus dan magnitudo di semua bus dalam sistem pada operasi kondisi tunak. Juga, aliran daya aktif dan reaktif melalui masing-masing saluran dapat dihitung. Studi ini dapat menghitung kondisi tunak (steady state), beban berlebih dan beban bawah. Para peneliti mempelajari banyak solusi yang berbeda untuk memecahkan masalah optimalisasi daya selain perhitungan analisis aliran daya. Penggunaan teknologi konverter daya otomatis (menggunakan peralatan elektronik) dan juga penggunaan software kecerdasan buatan yaitu metode algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO), penggunaa sistem *Static Var Compensation* (SVC).[5,6]. Makalah ini membahas perhitungan aliran daya aktif dan reaktif mengenai aliran beban yang dapat disimulasikan oleh bus IEEE bus yang digunakan untuk studi aliran beban menggunakan metoda Metode Newton Rapson pada ETAP 12.6.



Gambar 2. Konsep model sistem bus

Dari Gambar 2 dapat ditulis persamaan:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (1)$$

Dari persamaan (1) diatas ditulis dalam bentuk polar sebagai berikut:

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2)$$

Persamaan daya pada bus *i* dapat ditulis:

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (3)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2) ke persamaan (3), akan diperoleh persamaan:

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (4)$$

Bagian riil dan imajiner persamaan (4) kemudian dipisahkan sehingga diperoleh daya aktif P (riil) dan daya Reaktif (imajiner) sebagai berikut:

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5)$$

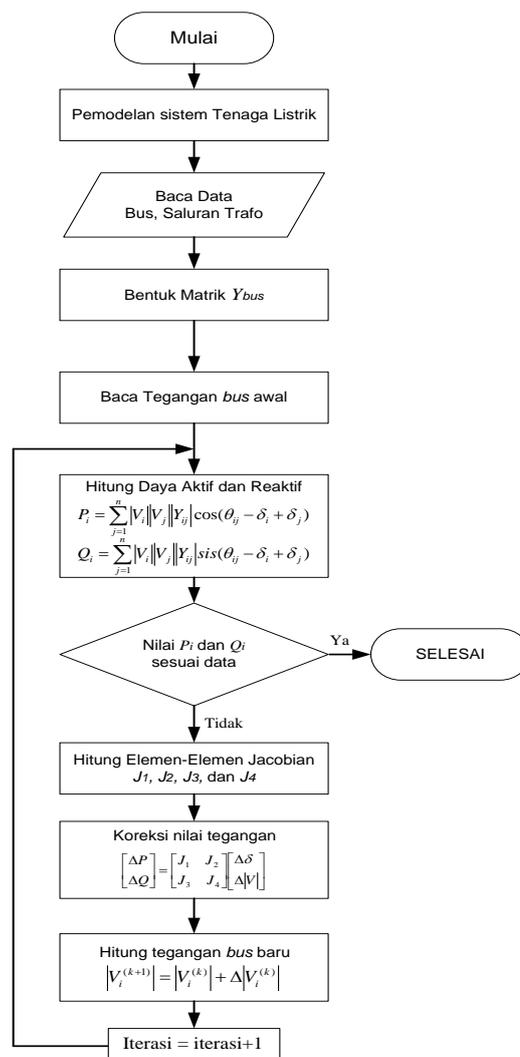
$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (6)$$

## METODOLOGI

Langkah perhitungan dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pemodelan Sistem menggunakan *Software* ETAP 12.6.0
2. Input data, yaitu: data Sumber PLN, Trafo, Saluran, dan beban yang diperoleh dari sistem yang terkait dengan catu daya Kawasan GI PUSPIPTEK dalam hal ini menggunakan catu daya darurat diesel Generator pada Gedung 71 dan dalam pengembangan perencanaan selanjutnya dan data bias di update untuk kebutuhan sistem catu daya darurat PLTN.
3. Menghitung aliran daya dengan metode *Newton-Raphson*
4. Mengevaluasi aliran daya dan tegangan bus di setiap bus yang ada dalam sistem.

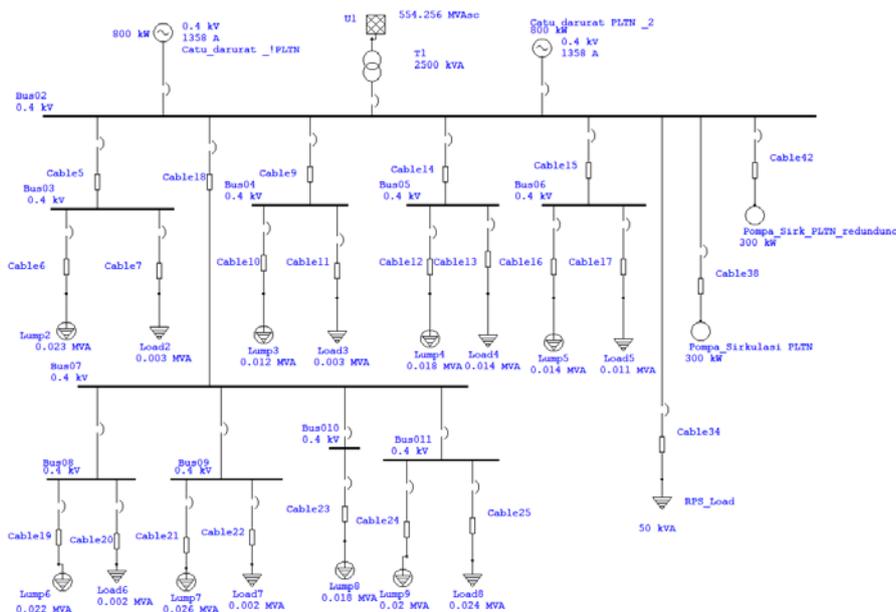
Diagram alir (*flowchart*) perhitungan aliran daya menggunakan metode *Newton-Raphson* diperlihatkan pada gambar 3



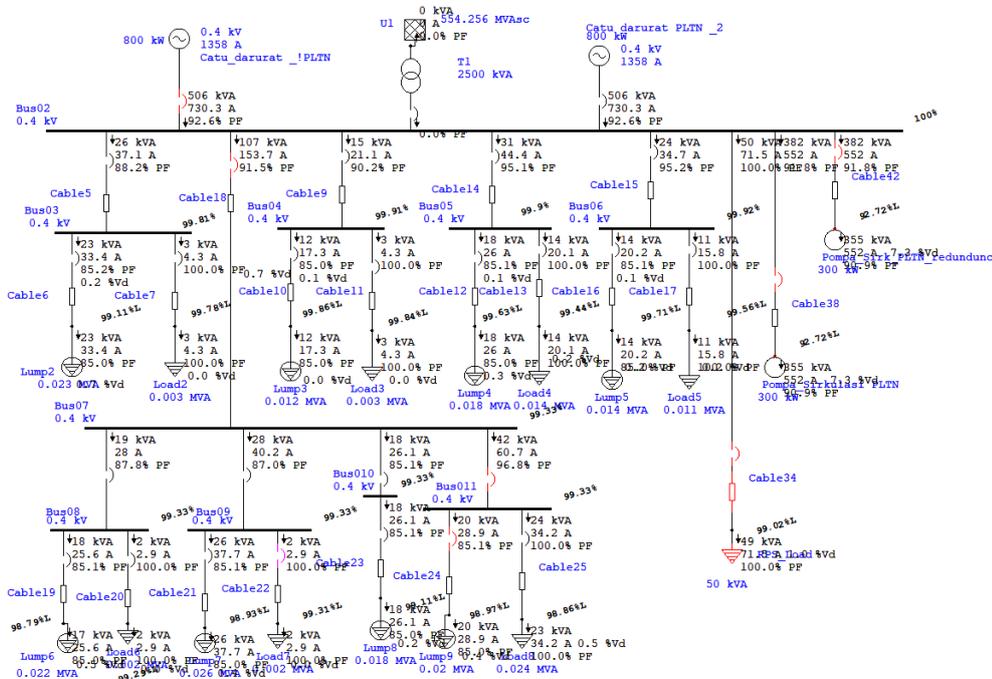
Gambar 3. Diagram alir perhitungan aliran daya

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari hasil running program ETAP dapat ditampilkan untuk model diagram segaris sistem yang Digambar dalam ETAP yaitu tambahan untuk pemodelan beban untuk catu RPS PLTN sebesar 50 kVA dua pompa sirkulasi primer PLTN sebesar sebesar 300 kW yang redundancy dan dua buah Generator 1 dan 2 yang berupa diesel generator identik yang berfungsi sebagai catu daya darurat masing masing sebesar 800 kW.



Gambar 4. Diagram segaris sistem sinkronisasi grid



Gambar 5. Hasil running aliran daya sinkronisasi grid

Dari hasil simulasi aliran daya menggunakan *software* ETAP 12.6.0 di atas dapat dilihat daya yang mengalir pada tiap-tiap bus. Besarnya daya yang mengalir tergantung pada beban yang terpasang pada bus tersebut.

Pada gambar 5 Aliran daya aktif yang mengalir dari bus panel 2 sebesar 937 kW dan daya reaktif sebesar 382 kVAR untuk aliran daya aktif pada sistem RPS sebesar 49 kVA. Sementara daya reaktif yang mengalir masing-masing sebesar 382 kVAR, sehingga perlu dipasang kapasitor bank yang dipasang parallel dengan beban atau dengan sistem *Static Var Compensation* (SVC) dan *Static Synchronous Compensator* (STATCOM).

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Laporan dari Load Flow

LOAD FLOW REPORT													
Bus		Voltage			Generation		Load		Load Flow				
ID	kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%PF	
*Bus02	0.400	100.000	0.0	0.937	0.382	0	0	Bus03	0.023	0.012	37.1	88.2	
								Bus04	0.013	0.006	21.1	90.2	
								Bus05	0.029	0.009	44.4	95.1	
								Bus06	0.023	0.007	34.7	95.2	
								Bus07	0.097	0.043	153.7	91.5	
								Bus27	0.050	0.000	71.5	100.0	
								Bus29	0.351	0.152	552.0	91.8	
								Bus33	0.351	0.152	552.0	91.8	
								Bus25	0.000	0.000	0.0	0.0	
Bus03	0.400	99.809	0.0	0	0	0	0	Bus02	-0.023	-0.012	37.1	88.2	
								Bus10	0.020	0.012	33.4	85.2	
								Bus11	0.003	0.000	4.3	100.0	
Bus04	0.400	99.908	0.0	0	0	0	0	Bus02	-0.013	-0.006	21.1	90.2	
								Bus12	0.010	0.006	17.3	85.0	
								Bus13	0.003	0.000	4.3	100.0	
Bus05	0.400	99.900	0.0	0	0	0	0	Bus14	0.015	0.009	26.0	85.1	
								Bus15	0.014	0.000	20.1	100.0	
								Bus02	-0.029	-0.009	44.4	95.1	
Bus06	0.400	99.922	0.0	0	0	0	0	Bus02	-0.023	-0.007	34.7	95.2	
								Bus16	0.012	0.007	20.2	85.1	
								Bus17	0.011	0.000	15.8	100.0	

## KESIMPULAN

Dari hasil simulasi menggunakan *software* ETAP menunjukkan bahwa sistem catu daya darurat dapat memasok kebutuhan RPS dan pompa primer 400 kVA. Penelitian ini sangat penting dilakukan untuk mengetahui desain yang tepat pada spesifikasi generator dan komponen proteksi pada sistem catu daya darurat PLTN tipe PWR 100 MWe. Aliran daya aktif yang mengalir dari bus panel 2 sebesar 937 kW dan daya reaktif sebesar 382 kVAR untuk aliran daya aktif pada sistem RPS sebesar 49 kVA. Sementara daya reaktif yang mengalir masing-masing sebesar 382 kVAR, sehingga perlu dipasang kapasitor bank yang dipasang parallel dengan beban atau dengan sistem *Static Var Compensation* (SVC) dan *Static Synchronous Compensator* (STATCOM).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapan terima kasih disampaikan kepada kepala TU dan Ka PRFN yang telah memfasilitasi pengambilan data di Gedung 71 dan Flagship RISTEK Dikti yang telah mendanai penelitian ini. Tak lupa juga kami ucapkan terima kasih kepada tim Sarpras Gedung 71 yang mengoperasikan dan merawat sistem catu daya untuk 5 Pusat di Batan atas kerjasamanya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdulla, A., Azevedo, I.L., Morgan, M.G. Expert assessments of the cost of light water small modular reactors. Proc. Natl. Acad. Sci. 110 (24), 9686., (2013)
- [2] Antysheva, T., "SVBR-100," New Generation Power Plants for Small and Medium-sized Power Applications, (2011)
- [3] Shikha Prasad et al, Journal Elsevier, "Nonproliferation improvements and challenges presented by small modular reactors Progress in Nuclear Energy 80, 102e109, (2015)

- 
- [4] Khairul Handono, Edy Sumarno, Dedy Haryanto, Kiswanta, Topan Setiadipura, Koes Indrakoesoema, Rokhmadi, "Mechatronic Design And Analysis Of Reaktor Daya Experimental Components", International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 9(8), pp. 405–414, (2018)
  - [5] Dharamjid, et al, "Load Flow Analysis on IEEE 30 Bus System", International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 2, Issue 11, 1 ISSN 2250-3153, (2012)
  - [6] Ali M. Eltamaly et al "Load Flow Analysis by Gauss-Seidel Method: A Survey", International Journal of Mechatronics, Electrical and Computer Technology, PISSN: 2411-6173, EISSN: 2305-0543, Egypt, (2016)
  - [7] Rohit Kapahi, et al, "Load Flow Analysis of 132 kV Substation using ETAP", International Journal of Scientific Engineering and Research", Volume 4, Issue 2, India, (2013).
  - [8] Rana A Jabbar Khan, et al "Analyses and monitoring of 132 kV grid using ETAP software", Journal of Electrical and Electronics Engineering, Turkey, (2009).
  - [9] Kiran Natkar ,et al, "Design Analysis of 220/132 kV Substation using ETAP", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), vol 2, India, (2015).

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## KAJIAN ASPEK PERTAHANAN DALAM Mendukung Pembangunan PLTN DI Kalimantan Barat

**Abdul Rahman Alfarasyi, Djoko Andreas N**  
*Universitas Pertahanan, Kawasan IPSC Sentul Bogor 16810*  
*email: abrahamalfa32@gmail.com*

### ABSTRAK

**KAJIAN ASPEK PERTAHANAN DALAM Mendukung Pembangunan PLTN DI Kalimantan Barat.** Pembangunan PLTN di wilayah Kalimantan Barat akan mengubah aspek pertahanan dalam menjaga objek vital nasional. Sebagai wilayah perbatasan Kalbar menghadapi ancaman nyata yang dapat membahayakan obvitnas. Dalam mendukung keamanan dan keselamatan nuklir terhadap pembangunan PLTN, pendekatan ketahanan nuklir penting untuk dikaji. Metodologi yang digunakan ialah metode hermeneutika filosofis, dengan unsur-unsur: interpretasi dan deskripsi dari literatur dan data sekunder yang diperoleh. Ketahanan dibentuk berdasarkan faktor pembentuk infrastruktur, institusi, dan *Social readiness*. Sistem yang terbentuk dapat mendukung pelaksanaan pembangunan PLTN dengan memperkuat Keamanan dan Keselamatan Nuklir dalam konteks pertahanan wilayah Kalimantan Barat.

Kata kunci: ketahanan, PLTN, obvitnas, Kalbar.

### ABSTRACT

**ASSESSMENT ON DEFENSE ASPECTS TO SUPPORTING NUCLEAR POWER PLANT IN WEST KALIMANTAN.** Indonesia planning on Nuclear Power Plant (NPP) will change defense aspect to protect National Vital Object (obvitnas). As a border area, Kalbar face the real threat which endanger Obvitnas. The methodology uses philosophical hermeneutics through interpretation and descriptive aspect from literature and secondary data. Resilience approached has been performed to supporting nuclear security and safety of Nuclear Power Plant. Resilience formed by infrastructure, institution, and social readiness. The system will aid the execution of NPP in with strengthening the nuclear safety and security through defense strategic in West Kalimantan.

Keyword: resilience, NPP, obvitnas, West Kalimantan.

### PENDAHULUAN

Rencana pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir atau PLTN di wilayah Kalimantan Barat menjadi isu strategis yang perlu dikaji. PLTN yang akan menjadi objek vital nasional baru menjadi potensi dan tantangan tersendiri terhadap dinamika strategi pertahanan. Hal tersebut menjadikan pergelaran kekuatan pertahanan di Kalimantan Barat harus dikaji ulang dan ditingkatkan. PLTN akan menjadi objek vital nasional (obvitnas) dengan nilai strategis yang berbahaya. Dikarenakan potensi ancaman dan bahaya keselamatan terhadap ruang dan publik.

Dalam Undang-Undang nomor 34 tahun 2004 tentang Tentara Nasional Indonesia pasal 7 menjelaskan bahwa Tugas Pokok TNI adalah untuk mengamankan objek vital nasional yang bersifat strategis. Melindungi dari adanya sabotase dari pihak tertentu yang merusak instalasi penting dan objek vital nasional. Objek vital nasional yang dimaksud adalah yang bersifat strategis yang menyangkut hajat hidup orang banyak, harkat dan martabat bangsa, serta kepentingan nasional yang ditentukan oleh keputusan pemerintah. Pengamanan Objek Vital Nasional dilakukan untuk mencegah semakin meningkatnya ancaman dan gangguan terhadap Obyek Vital Nasional termasuk aksi terorisme[1].

Wilayah Kalimantan Barat yang memiliki luas sekitar 146.807 Km<sup>2</sup> atau 7,53 % dari luas Indonesia. Wilayah ini membentang lurus dari Utara ke Selatan sepanjang lebih dari 600 km dan sekitar 850 km dari Barat ke Timur[2]. Sebagai wilayah perbatasan, Kalimantan Barat merupakan wilayah paling rawan terhadap ancaman jika ada gejolak yang muncul antar negara yang berada di daerah perbatasan negara Malaysia dan lautan China Selatan. Ancaman-ancaman itu meliputi sengketa beberapa negara terkait wilayah Laut Cina Selatan, perang dagang antara Amerika-Cina, pelintas batas, penyelundupan barang karena belum adanya batas yang jelas, penebangan kayu ilegal, penangkapan ikan oleh pihak asing,

penyebaran narkoba, sampai ancaman teror ISIS. Inilah ancaman nyata yang dapat meruntuhkan Negara Republik Indonesia[3][4][5].

Dalam perkembangannya, dimensi ancaman dan gangguan keamanan semakin beragam. Ancaman dan gangguan keamanan terhadap obyek vital nasional secara langsung maupun tidak langsung berdampak pada sistem perekonomian nasional, stabilitas politik, serta keamanan nasional. Dari kondisi wilayah Kalimantan Barat, dengan adanya rencana pembangunan PLTN menjadikan obyek vital nasional tersebut menjadi rawan akan ancaman dan gangguan dari eksternal. Obvitas memiliki peranan penting ditinjau dari aspek ekonomi, politik, sosial, budaya, pertahanan, dan keamanan.

Dalam mendukung keamanan dan keselamatan nuklir dalam pembangunan PLTN dibutuhkan adanya dimensi ketahanan nuklir atau *nuclear resilience*. Makalah ini mengkaji dimensi ketahanan nuklir dalam mendukung pembangunan PLTN di wilayah Kalimantan Barat. *Resilience* yang dimaksud adalah istilah yang digunakan dalam keilmuan *disaster management* untuk menjembatani sebuah aspek ketahanan. Ketahanan adalah proses beradaptasi atau penyesuaian menghadapi ancaman. Ketahanan bersifat dinamis dan relatif berkembang berdasarkan apa yang dihadapi. Faktor utama dalam ketahanan adalah struktur dan hubungan yang menyusunnya.

Dimensi ketahanan nuklir dapat dilihat dari aspek pertahanan yang dimiliki dari wilayah di Kalimantan Barat, yaitu TNI AD, AL dan AU. Ketiga matra tersebut mendukung perlindungan dan keamanan objek vital nasional yang ada di Kalimantan Barat dan mewujudkan ketahanan nuklir. Adapun tujuan penyusunan makalah ini adalah untuk memproyeksikan aspek pertahanan Kalimantan Barat dalam mendukung keamanan nuklir dari rencana pembangunan PLTN.

TNI AD sebagai poros kekuatan pertahanan di wilayah daratan dikembangkan melalui upaya pembinaan kemampuan dan pembangunan kekuatan yang ditujukan untuk meningkatkan kemampuan dan kesiapan operasional. Dapat disintesis bahwa terdapat hubungan antara ketahanan nuklir dengan keamanan nuklir. Dalam pengembangannya jika ketahanan nuklir dicapai, diharapkan dapat mengantisipasi ancaman internal maupun eksternal terhadap PLTN. Dengan demikian, rencana pembangunan PLTN yang akan menjadi obyek vital nasional akan mengubah proyeksi pergelaran kekuatan pertahanan TNI AD terutama Komando Daerah Militer atau Kodam XII/Tanjungpura dalam mendukung keamanan nuklir di wilayah Kalimantan Barat.

## TEORI

### a. *Resilience* (Ketahanan)

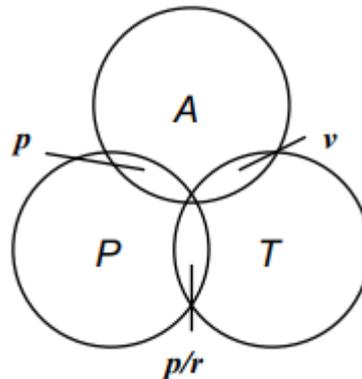
Ketahanan dari aspek ilmu sosial dan humaniora adalah karakteristik dari manusia yang memiliki kapabilitas dalam merespon dinamika perubahan yang berlangsung di lingkungan. Ketahanan dalam perspektif ini berkaitan erat dengan sosial dan kapasitasnya dalam proses pemulihan atau recovery dan rekonstruksi dalam tatanan struktur dan hubungan sosial.

Sedangkan ketahanan dalam aspek teknik dan ilmu sains adalah ketahanan dalam dimensi fisik atau material. Ketahanan muncul dalam permasalahan teknik yang membutuhkan solusi dari aspek teknik pula. Dalam perspektif ini, ketahanan memiliki fokus pada penyempurnaan sistem, saling keterkaitan antara infrastruktur. Hal ini bertujuan mengembangkan susunan dan model untuk memprediksi dan meningkatkan sistem ketahanan.

Berdasarkan buku "The Sociotechnical Constitution of Resilience" oleh Sulfikar Amir[6], dapat disintesis bahwa ketahanan dalam aspek *sociotechnical* disusun dari infrastruktur, institusi, politik, budaya dan epistemologi atau pengetahuan tentang nuklir itu sendiri. Sehingga elemen kebaruan yang muncul atau *emergent properties* dari interaksi seluruh komponen sistem diatas adalah berupa ketahanan. Dalam kasus pengembangan ilmu dan teknologi nuklir, bagian yang menjadi penting dalam pembangunan PLTN di masyarakat dengan stereotip negatif yang tinggi terhadap kata nuklir ialah ketahanan nuklir. Dalam penelitian ini, komponen sistem dalam mewujudkan ketahanan nuklir hanya disusun dari infrastruktur, institusi dan *human behaviour*. Komponen tersebut diambil karena dianggap dapat memiliki hubungan adaptif dalam membangun ketahanan terhadap keamanan dan keselamatan nuklir serta ancaman nuklir.

### b. Komponen Dasar Keamanan

Teori Giovanni Manunta menjelaskan mengenai komponen dasar keamanan. Komponen keamanan tersebut terdiri dari aset (asset), pelindung (protector), dan ancaman (threat)[7]. Pada Gambar 1 ditunjukkan komponen dasar keamanan.



Gambar 1. Komponen Dasar Keamanan[7]

Keterangan:

A = Asset

P = Protector

T = Threat

v = vulnerability

p = protection of Asset by Protector

p/r = protection/respons (action taken against perceived threat)

Aset didefinisikan sebagai komponen benda fisik (material) seperti gedung, reaktor dan sebagainya atau benda non fisik berupa nilai-nilai dan budaya keamanan, integritas dan lainnya. Dengan kata lain aset dalam penelitian ini adalah PLTN berupa obvitnas. *Protector* atau pelindung adalah sesuatu atau yang melindungi. Misalnya TNI, baju anti radiasi, *shielding* dan lainnya. Sedangkan ancaman adalah sesuatu yang menjadi sumber bahaya yang dapat berasal dari internal dan eksternal. Contohnya dari dalam internal dapat disebabkan karena kelalaian, sabotase dari pegawai internal dan lainnya. Ancaman eksternal dapat berasal dari terorisme, serangan dari perang atau negara lain dan sebagainya.

### c. Strategi Pertahanan

Teori menurut John M. Collins (2002) menjelaskan bahwa dalam mengembangkan pertahanan harus mampu mengevaluasi ancaman dengan tiga pertimbangan yang berpengaruh yaitu: pertama, dengan cara menilai kemampuannya (capabilities); kedua, intensitasnya (intensions); dan ketiga, kemudahan untuk dapat diserang (vulnerabilities) [8]. Pertahanan dibagi menjadi dua jenis, yaitu pertahanan militer dan non militer.

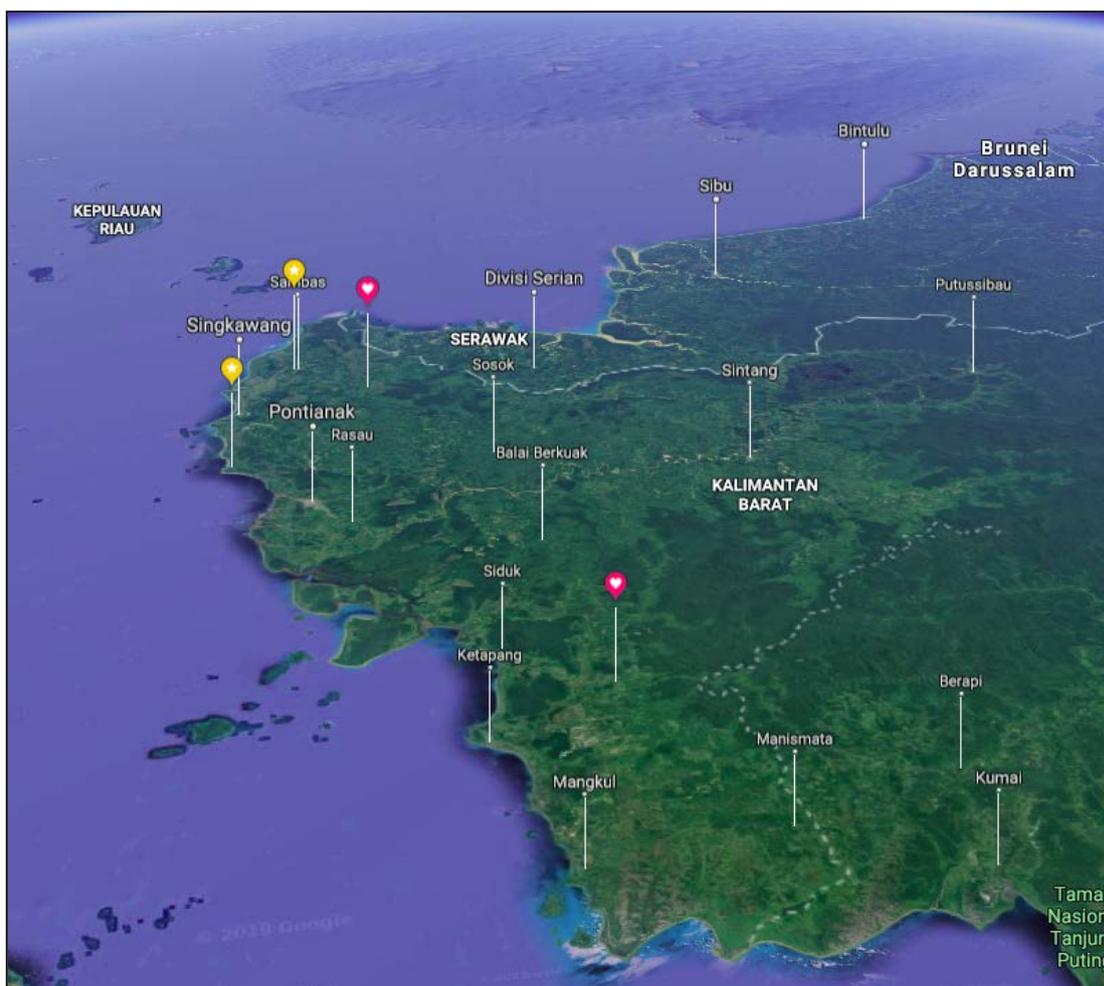
1. Pertahanan militer merupakan kekuatan utama pertahanan negara yang dibangun dan dipersiapkan untuk menghadapi ancaman militer, tersusun dalam komponen utama serta komponen cadangan dan komponen pendukung. Pendayagunaan lapis pertahanan militer diwujudkan dalam penyelenggaraan operasi militer.
2. Pertahanan non militer merupakan kekuatan pendukung pertahanan negara yang dibangun untuk mencapai kesejahteraan nasional dan dipersiapkan untuk menghadapi ancaman non militer. Lapis pertahanan non militer tersusun dalam fungsi keamanan untuk keselamatan umum yang mencakup penanganan bencana alam dan operasi kemanusiaan lainnya, ekonomi, psikologi pertahanan, dan sosial budaya, yang pada intinya berkaitan dengan pengembangan teknologi, dan pemikiran kesadaran bela negara.

### METODOLOGI

Makalah ini merupakan penelitian kepustakaan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode hermeneutika filosofis, dengan unsur-unsur: interpretasi dan deskripsi dari literatur dan data sekunder yang diperoleh.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Rencana pembangunan PLTN di wilayah Kalimantan Barat menjadikan aspek pertahanan dan keamanan di wilayah tersebut harus didesain ulang. Hal ini dikarenakan PLTN akan menjadi obvitnas yang memiliki nilai strategis dan potensial sebagai sumber bahaya pula. Opsi lokasi potensial rencana pembangunan PLTN yang akan dibangun berada di daerah Sambas, Bengkayang, Mempawah dan Ketapang, lihat Gambar 2[9].



Gambar 2. Citra Satelit Provinsi Kalimantan Barat [10]

Pada gambar peta Kalimantan Barat di atas, letak posisi kabupaten yang diopsikan terletak di daerah yang dekat laut atau langsung menghadap laut yang terhubung dengan jalur ALKI I Indonesia. Jalur pada ALKI I ini difungsikan untuk pelayaran dari Laut Cina Selatan melintasi Laut Natuna, Selat Karimata, Laut Jawa, dan Selat Sunda ke Samudera Hindia, dan sebaliknya; dan untuk pelayaran dari Selat Singapura melalui Laut Natuna dan sebaliknya[11]. Kawasan ALKI 1 ini rawan dari adanya konflik kawasan serta berbagai bentuk kejahatan transnasional seperti intervensi asing, pencurian dan pembajakan kapal, illegal fishing, serta terorisme. Munculnya ketegangan dan konflik antar negara besar dan perilaku *claiments* yang agresif, terutama Tiongkok dan Filipina, di Laut Tiongkok Selatan, dan aksi-aksi terorisme global yang dilancarkan para aktor non-state sangat rawan memicu instabilitas wilayah di Indonesia, terutama di wilayah terdekat ALKI [12].

Batas-batas wilayah bagi daerah provinsi Kalimantan Barat ditunjukkan pada Tabel 1. Sebelah utara Kalimantan Barat terdapat empat kabupaten yang langsung berhadapan dengan negara Jiran yaitu; Sambas, Sanggau, Sintang dan Kapuas Hulu, yang membujur sepanjang Pegunungan Kalingkang - Kapuas Hulu.

Tabel 1. Batas Wilayah Kalbar

No	Batas	Daerah
1.	Utara	Sarawak (Malaysia)
2.	Selatan	Laut Jawa dan Kalimantan Tengah
3.	Timur	Kalimantan Timur
4.	Barat	Laut Natuna dan Selat Karimata

Dari wilayah yang berbatasan dengan Laut, dari sisi pertahanan TNI AL terdapat Lantamal XII atau Pangkalan Utama TNI Angkatan Laut. Lantamal XII melaksanakan operasi keamanan laut di wilayahnya dan meningkatkan daya guna serta hasil guna unsur-unsur secara optimal dalam pelaksanaan Operasi Keamanan Laut. Lantamal XII Pontianak saat ini sedang melaksanakan pembangunan pengembangan pangkalan yang membawahi dua Pangkalan Angkatan Laut (Lanal Type C) Kerangka (Sambas dan Ketapang) dan empat Pos Pangkalan Angkatan Laut (Posal) yaitu Posal Temajuk, Posal Paloh, Posal Pulau Serutu, Posal Mempawah, Posal Mempawah, Posal Ketapang, Posal Kendawangan dan enam Pos Pengamat (Posmat) yaitu Posmat Kuala Karang, Posmat Sei Kakap, Posmat Padang Tikar, Posmat Melano, Posmat Pemangkat, Posmat Natai Kuini[13]. Berdasarkan hal tersebut, rencana pembangunan PLTN terutama pada opsi daerah Mempawah, Sambas dan Ketapang yang memang berbatasan dengan laut dapat didukung dari sisi pertahanan terhadap ancaman eksternal oleh Lantamal XII.

Tabel 2. Satuan Kodam XII/TPR

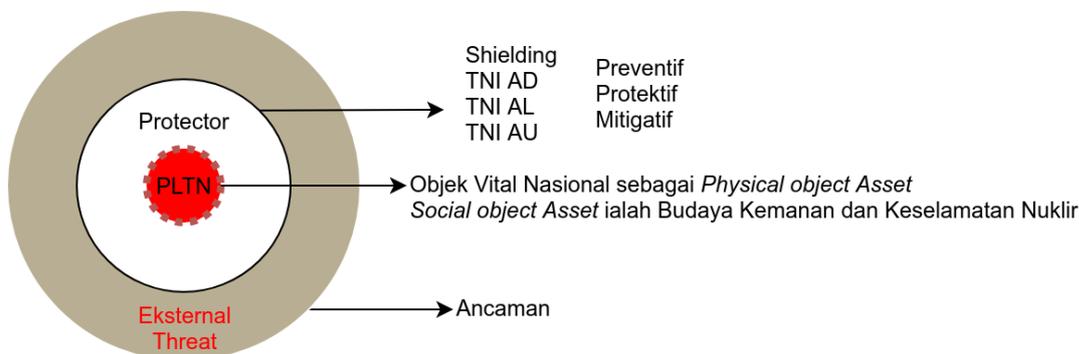
Nama Satuan	Jenis Satuan
Satuan Kewilayahan	Korem 102/Panju Panjung: <input type="checkbox"/> Kodim 1011/Kuala Kapuas <input type="checkbox"/> Kodim 1012/Buntok <input type="checkbox"/> Kodim 1013/Muara Teweh <input type="checkbox"/> Kodim 1014/Pangkalan Bun <input type="checkbox"/> Kodim 1015/Sampit <input type="checkbox"/> Kodim 1016/Palangkaraya <input type="checkbox"/> Yonif Raider 631/Antang
	Korem 121/Alambhana Wanawai <input type="checkbox"/> Kodim 1201/Mempawah <input type="checkbox"/> Kodim 1202/Singkawang <input type="checkbox"/> Kodim 1203/Ketapang <input type="checkbox"/> Kodim 1204/Sanggau <input type="checkbox"/> Kodim 1205/Sintang <input type="checkbox"/> Kodim 1206/Putussibau <input type="checkbox"/> Yonif Mekanis 643/Wanara Sakti
	Kodim 1207/Kota Pontianak (BS)
Satuan Tempur dan Bantuan Tempur	Brigif 19/Khatulistiwa <input type="checkbox"/> Yonif 642/Kapuas <input type="checkbox"/> Yonif Raider Khusus 644/Walet Sakti <input type="checkbox"/> Yonif 645/Gardatama Yudha
	Yonif Raider 641/Beruang
	Yon Armed 16/Tumbak Kaputing
	Yon Kav 12/Beruang Cakti
	Yon Zipur 6/Satya Digdaya
	Kikav 12/Macan Dahan Cakti

Selanjutnya dari wilayah darat Kalbar, dimensi pertahanan dijalankan oleh Komando Daerah Militer XII/Tanjung Pura (Kodam XII/Tpr). Tabel 2 menjelaskan kekuatan satuan yang dimiliki oleh Kodam XII/Tpr. Satuan kewilayahan dan Satuan tempur dan bantuan tempur dari Kodam XII/Tpr ini diupayakan dalam mendukung wilayah pertahanan Kalimantan Barat yang tersebar dalam satuan daerah di tiap-tiap unit. Namun dalam mendukung dan mewujudkan pertahanan di Kalimantan Barat, Kodam XII/Tpr belum memiliki satuan Artileri Pertahanan Udara (Arhanud). Artileri Pertahanan Udara (Arhanud) merupakan kecabangan TNI AD dan sebagai kekuatan menjalankan fungsi tembakan dan perlindungan dalam pertempuran darat. Batalyon Artileri Pertahanan Udara (Yonarhanud) sebagai salah satu fungsi teknis militer umum TNI AD, menyelenggarakan pertahanan udara aktif guna melindungi titik rawan obvitnas dan satuan manuver dibantu dengan menggunakan sistem senjata Meriam dan Rudal darat ke udara dari segala bentuk ancaman udara musuh dalam rangka mendukung pelaksanaan tugas pokok TNI AD[14]. Keberadaan Yonarhanud sebagai bagian integral dari TNI AD akan meningkatkan kemampuan pertahanan wilayah Kalbar untuk memberikan perlindungan udara terhadap obvitnas, dalam hal ini PLTN yang akan direncanakan.

Selain itu, dari matra TNI AD belum terbentuknya satuan cabang Zeni Nubika. Kompi Zeni Nubika merupakan satuan pelaksana yang dibina dan dipersiapkan Direktorat Zeni Angkatan Darat untuk menyelenggarakan dan melaksanakan penyelidikan Nubika (Nuklir, Biologi, Kimia) dan dekontaminasi dalam rangka perlindungan dan pengamanan pasukan dan masyarakat terhadap bahaya Nubika karena musuh atau pencemaran lingkungan oleh limbah/kecelakaan suatu industri dan/atau peristiwa alam[15]. Terutama dalam mendukung rencana pembangunan PLTN, maka dalam aspek strategis TNI AD perlunya membentuk Yonarhanud dan Zeni Nubika di Wilayah Kalimantan Barat.

Dari wilayah udara, Kalimantan Barat memiliki satuan pertahanan udara berupa Wings 1, Denhanud 473 Paskhas yang berada di Lanud Supadio. Lanud Supadio, Pontianak bertugas membawahi wilayah Kalimantan Barat dan sekitarnya, yang sedemikian strategis, karena berbatasan langsung dengan Malaysia dan merupakan alur kepulauan terluar, terutama di laut Cina Selatan. Dalam mendukung tugasnya sebagai penjaga wilayah udara Kalimantan Barat, Denhanud 473 Paskhas didukung dengan alutsista yang terancang seperti *Oerlikon Skyshield* dengan radar/ sensor unit, serta dilengkapi dengan rudal Chiron. Dalam meningkatkan dan memperoleh data tentang pengamanan wilayah Kalimantan Barat, lanud supadio juga diisi dengan Skadron 51, dimana skadron ini memiliki Pesawat Terbang Tanpa Awak (PTTA) atau UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) yang dirancang untuk melakukan berbagai ragam misi: *Intelligence, Surveillance, Reconnaissance* (ISR) dan mendukung misi medan perang di level taktis dan strategis[14].

Mempertimbangkan bahwa keamanan PLTN baik dari internal maupun eksternal bersifat strategis dan *High-risk*. Maka aspek pertahanan yang dijelaskan diatas dalam mendukung keamanan terhadap pembangunan PLTN dapat ditinjau dengan sistem pertahanan yang dibentuk berdasarkan:



Gambar 3. Sistem Pertahanan terhadap Obvitnas PLTN[16]

Dari aspek pertahanan dan keamanan, ketiga matra TNI dapat melakukan tindakan preventif dan protektif PLTN sebagai obvitnas (asset) dari ancaman eksternal. Ancaman eksternal ini yang diprediksikan berasal dari jalur ALKI 1 Indonesia, wilayah perbatasan, terorisme dan sabotase. Ancaman tersebut adalah nyata dan keamanan adalah hal yang penting. Kemudian berkaitan dengan *nuclear resilience*, sistem ketahanan dikaji dan diperoleh dengan berbasis skenario terburuk (*scenario building*) dari ancaman yang menyerang Indonesia. Ketahanan dibentuk berdasarkan faktor pembentuk infrastruktur, institusi, dan *social readiness* yaitu SDM dan budaya *safety, security* serta *zero tolerance* dalam pengembangan PLTN. Aspek infrastruktur dalam pembangunan PLTN tentunya akan mengacu pada standar IAEA, namun dalam makalah ini yang akan dibahas ialah infrastruktur pendukung dalam perspektif pertahanan.

Hal tersebut adalah sebuah pelindung atau *bankers* seperti yang dikembangkan oleh negara Swiss dalam upaya mitigasi dari ancaman nuklir dari PLTN. Selain itu dari infrastruktur digital seperti sistem data dan *internet cyber*, instalasi nuklir harus diamankan dari *cyber threat* yang dengan mengendalikan instalasi nuklir tersebut untuk keperluan kejahatan. Komponen Institusi mencakup lembaga atau badan yang berhubungan dengan nuklir. Menurut pemakalah institusi penting yang menjadi pendukung pengembangan ketahanan nuklir ialah TNI AD (Zeni Nubika), Bapeten dan Batan.

Kompi Zeni Nubika dari fungsi pertahanan akan menjalankan fungsi penangkalan dan pengawasan dari ancaman dan bahaya Nubika. Dukungan moral lain dari kompi Zeni Nubika dalam mendukung ketahanan nuklir adalah dengan kemanunggalan TNI bersama rakyat, dapat membantu meningkatkan kepercayaan terhadap penggunaan nuklir di Indonesia. Berdasarkan sejarah, bahwa TNI memiliki sifat dekat dengan rakyat. Hubungan antara institusi tersebut ditunjukkan dengan melakukan *shared situational awareness system (sharing technical data) and Decision support system*. Sehingga dari fungsi penangkalan dan pengawasan tersebut dapat dioptimalkan dengan tujuan untuk lebih meningkatkan keamanan dan keselamatan nuklir dalam mendukung pembangunan PLTN di Indonesia. Aspek lain yang berkaitan dengan *Social readiness* yaitu SDM dalam perspektif pertahanan maka SDM yang memiliki kapasitas dan kapabilitas terkait ilmu dan teknologi nuklir serta memaknai nilai-nilai Bela Negara. Menurut Kementerian Pertahanan, Bela negara dalam pendekatan *soft* mencakup aspek psikologis (psychological) dan aspek fisik (physical).

Aspek psikologis mencerminkan kondisi jiwa, karakter dan jati diri setiap warganegara yang dilandasi oleh pemahaman nilai – nilai luhur bangsa, Ideologi Pancasila dan UUD NRI tahun 1945. *Goals* dari kondisi psikologis ini akan direpresentasikan oleh pola pikir dan pola sikap yang mencerminkan solidaritas wawasan kebangsaan, persatuan dan kesatuan bangsa serta kesadaran bela negara. Aspek fisik pada dasarnya merupakan implementasi dan perwujudan bela negara aspek psikologis yang tercermin dari pola tindak secara nyata. Contohnya pengabdian sesuai profesi, partisipasi aktif dalam penanganan permasalahan sosial maupun bencana hingga kewaspadaan individual dalam menghadapi ancaman non fisik dalam bidang ekonomi, sosial dan budaya. Dengan demikian, SDM yang dibekali dengan pendekatan *soft* mengenai bela negara dapat mengoptimalkan nilai dan budaya keamanan serta keselamatan nuklir dalam mendukung pembangunan PLTN.

## KESIMPULAN

Ancaman yang dihadapi Indonesia melalui daerah perbatasan dan ALKI I adalah ancaman yang nyata sehingga keamanan adalah hal yang penting diwujudkan. Ketahanan nuklir dapat didukung dan dicapai dengan membangun sistem ketahanan dengan berdasarkan pada aspek Infrastruktur, institusi dan *social readiness*. Sistem yang terbentuk akan mendukung pelaksanaan pembangunan PLTN di wilayah Kalimantan Barat dengan memperkuat Keamanan dan Keselamatan Nuklir yang diwujudkan dalam ketahanan nuklir berdasarkan konteks Pertahanan di wilayah Kalimantan Barat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Pertahanan yang telah mendukung dalam penulisan makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Keputusan Presiden Republik Indonesia Nomor 63 Tahun 2004 tentang Pengamanan Objek Vital Nasional.
- [2] Bappeda Provinsi Kalimantan Barat, Provinsi Kalimantan Barat dalam Angka (2018).

- [3] Laporan Penelitian Kuliah Kerja Dalam Negeri, Program Studi Teknologi Persenjataan, Universitas Pertahanan, Bogor (2019).
- [4] <https://internasional.kompas.com/read/2016/07/13/17401251/laut.china.selatan.perairan.menggiurkan.sumber.sengketa.6.negara>. diakses September 2019.
- [5] <http://www.aksi.co/nasional/10/08/2017/ancaman-keamanan-di-perbatasan-sangat-memungkinkan> diakses September 2019.
- [6] Amir, Sulfikar. (2018). *The Sociotechnical Constitution of Resilience*. Nanyang Technological University, Singapore, Singapore.
- [7] Manunta, Giovanni. (1997). *Towards A Security Science Through A Specific Theory And Methodology*. University Of Leicester. England. Halaman 169.
- [8] Collins, John M. (2002). "Nuclear Warfare Strategies", dalam *Military Strategy : Principles, Practices and Historical Perspectives*. Washington, D. C. : Potomac Books.
- [9] <https://www.beritasatu.com/nasional/561456/pltn-cocok-dibangun-di-kalbar?fbclid=IwAR1QjG1b1zinOOoHntOnlwBSce8ZeK9WA30gKhZyGSepNyzkg8uQLIW01tE> diakses September 2019.
- [10] <https://www.google.com/maps>
- [11] <http://www.politik.lipi.go.id/kolom/kolom-1/politik-internasional/413-menilik-alur-laut-kepulauan-indonesia-ii> diakses September 2019.
- [12] Nainggolan, P. Poltak. (2015). *Indonesia dan Ancaman Keamanan di Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI)*. Kajian Vol. 20 No 3, hal 183-200.
- [13] <https://lantamal12-koarmada1.tnial.mil.id/> diakses September 2019
- [14] Laporan Penelitian Kuliah Kerja Dalam Negeri. (2019). Universitas Pertahanan. Fakultas Teknologi Pertahanan. Program Studi Teknologi Persenjataan.
- [15] Hidayat, Fiqih. (2015). *Kapabilitas Kompi Zeni Nubika TNI AD dalam Menghadapi Ancaman Bencana Nubika*. Bogor: Universitas Pertahanan Indonesia
- [16] *Olahan Pemakalah*

#### **DISKUSI/TANYA JAWAB:**

##### **1. PERTANYAAN (Adityo-UNTAN):**

Bagaimana ketahanan nuklir dari sel-sel tidur teroris yang ada di Kalbar?

##### **JAWABAN:**

Ancaman terorisme nuklir adalah nyata dengan banyaknya kejadian penggunaan nuklir sebagai *dirty bomb*. Berkaitan dengan sel tidur di wilayah Klabr atau paham radikalisme yang menyebar saat ini (situasi terkini) memang belum dipastikan. Tetapi sel tidur ini harus diantisipasi dengan pengajaran nilai-nilai bela negara.

##### **2. PERTANYAAN (Adityo-UNTAN):**

Bagaimana pengamanan dan pertahanan dihadapkan isu konektivitas ASEAN yang mendorong peningkatan perpindahan/ arus manusia ke daerah lain di Asia Tenggara?

##### **JAWABAN:**

Isu konektivitas ASEAN adalah sebuah usaha untuk mengamankan wilayah ASEAN. Hal tersebut diwujudkan pada ZOPFAN, *nuclear non proliferasi*, dll. Namun dalam mewujudkan keamanan, kekuatan/pertahanan sendiri harus diwujudkan oleh negara sendiri. selain itu, wilayah ASEAN sudah tergabung dalam usaha ASEAN *our eyes* terkait *sharing* informasi yang berkaitan isu potensi ancaman dalam mendukung pertahanan dan keamanan.

## POTENSI KEKUATAN INDONESIA DENGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR

**Adityo Darmawan Sudagung, Rahmiana Aclandea**

*Program Studi Hubungan Internasional FISIP UNTAN, Kampus FISIP UNTAN Jl. Prof. Dr. H. Hadari  
Nawawi, Pontianak Tenggara, 78124  
email: adityo.ds@fisip.untan.ac.id*

### ABSTRAK

**POTENSI KEKUATAN INDONESIA DENGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR.** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi kekuatan Indonesia jika memiliki Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Nuklir merupakan salah satu alternatif energi terbarukan yang dianggap lebih hemat dari batu bara. Indonesia sebagai salah satu negara di Asia Tenggara yang memiliki potensi uranium yang besar dan berkualitas baik di Kalimantan Barat, program pengembangan teknologi nuklir yang telah dilakukan sejak tahun 1964, dan ditunjang dengan sumber daya manusia yang kompeten mengoperasikan reaktor nuklir seharusnya membuat Indonesia dapat mengeksekusi rencana pembangunan PLTN. Penelitian dilakukan dengan metode kualitatif dengan menjelaskan potensi kekuatan Indonesia setelah memiliki PLTN. Peneliti menggunakan konsep *power* dan keamanan energi untuk melakukan analisis. Jika PLTN berhasil dibangun oleh Indonesia, maka akan berdampak pada pemenuhan energi listrik domestik. Indonesia akan menjadi negara pertama di Asia Tenggara yang memiliki PLTN. Kondisi strategis tersebut akan berdampak positif pada nilai tawar Indonesia dalam hubungan internasional sekaligus mempertegas posisi Indonesia sebagai salah satu negara hegemoni di kawasan Asia Tenggara.

Kata kunci: energi nuklir, keamanan energi, *power*, nilai tawar

### ABSTRACT

**POTENCY INDONESIA'S POWER WITH NUCLEAR POWER PLANTS.** *This research aims to analyze the potential of Indonesia's power if it has a Nuclear Power Plant (NPP). Nuclear is one of the renewable energy alternatives that are considered more efficient than coal. Indonesia as one of the countries in Southeast Asia that has the great potential uranium and good quality in West Kalimantan, a program of developing nuclear technology that has been done since 1964, and supported by qualified human resources operates nuclear reactor should make Indonesia able to execute the construction plan of NPP. The study was conducted with qualitative methods to explain the potential power of Indonesia after having nuclear power plants. Researchers used the concept of power and energy security as an analysis tool. If the NPP successfully built by Indonesia, it will have an impact on the fulfillment of the domestic electrical energy. Indonesia will be the first country to have PLTN in South East Asia. The strategic conditions will have a positive impact on the value of Indonesia's bargaining position in their international relations and also strengthening Indonesia's role as one of hegemonic state in Southeast Asia.*

*Keywords: nuclear energy, energy security, power, bargaining position*

### PENDAHULUAN

Perkembangan studi keamanan global mengalami perluasan dari yang tadinya hanya membahas ancaman bersifat militeristik. Isu non-tradisional, selain dari aspek militer, mampu memberikan ancaman bagi aktor hubungan internasional. Isu seperti kesehatan, lingkungan, identitas nasional, perkembangan teknologi, terorisme, dan lain sebagainya dapat menjadi ancaman bagi negara. Perluasan studi keamanan global juga tidak lepas dari perkembangan aktor Hubungan Internasional. Perluasan aktor Hubungan Internasional yang berpusat pada negara, kini sudah lebih longgar dan bahkan tidak sedikit aktor non-negara justru mampu memberikan pengaruh signifikan terhadap kebijakan aktor negara. Meskipun beberapa penstudi Hubungan Internasional masih meyakini bahwa negara masih merupakan aktor yang penting di dunia internasional.

Perebutan kekuasaan antar aktor negara mengikuti perluasan isu-isu yang sudah peneliti sebutkan tersebut. Negara bersaing untuk mampu memberikan pengaruh dalam

setiap aspek kehidupan dunia internasional. Prinsip-prinsip realisme yang menjelaskan mengenai kemampuan bertahan hidup dan berusaha sendiri menjadi instrumen yang mendorong sikap negara. Hal itu juga terjadi pada salah satu isu yang merupakan bagian dari tantangan isu keamanan era abad 21, yaitu isu energi.

Referensi yang peneliti temukan ditulis oleh Bernstein, Caves, Jr., dan Reichart menjelaskan bahwa ketertarikan pada energi nuklir semakin meningkat di abad ke-21 [8]. Nuklir dianggap sebagai salah satu energi masa depan karena efisiensi yang baik serta potensinya yang sangat besar bagi pemenuhan energi dalam jangka panjang. Banyak negara berlomba melakukan pengembangan nuklir. Namun, pengembangan energi nuklir juga memiliki mata pedang yang lain, yaitu perkembangan senjata nuklir. Sebagai salah satu ancaman bersama, senjata nuklir di dunia disepakati untuk dibatasi jumlahnya. Berdasarkan pada Perjanjian Non-Proliferasi Nuklir tahun 1968 harusnya hanya beberapa negara saja, seperti Amerika Serikat, Rusia, Inggris, Tiongkok, dan Perancis. Namun, pada perkembangannya perjanjian tersebut tidak sukses mencegah negara lain, seperti India, Pakistan, Israel, dan Korea Utara untuk mempunyai senjata nuklir.

Permasalahan kepemilikan senjata nuklir memang merupakan salah satu isu keamanan yang belum selesai dibahas oleh komunitas internasional. Pada penelitian ini, peneliti tidak melakukan telaah terhadap senjata nuklir. Tapi, lebih memfokuskan pada pengembangan nuklir sebagai sumber energi, khususnya di Indonesia.

Perkembangan energi nuklir juga tidak lepas dari kontroversi. Peristiwa Chernobyl 1986 dan Fukushima 2011 menjadi momen dimana para pengembang energi nuklir melakukan riset lebih jauh mengenai keamanan energi nuklir. Hal ini juga menjadi peringatan bagi negara yang akan membangun Pembangkit Listrik Energi Nuklir (PLTN). Indonesia juga tentunya mesti mempertimbangkan aspek keamanan dari pembangunan PLTN. Karena Indonesia telah mencantumkan rencana pembangunan PLTN yang terdapat dalam UU 17/2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2005-2025 [24]. Meskipun dari data yang peneliti temukan, keputusan eksekusi pembangunan PLTN tergantung pada kebijakan presiden.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) pada tahun 2025 Indonesia sangat membutuhkan tambahan energi berupa energi nuklir [28]. Hal ini disebabkan tingkat pertumbuhan penduduk Indonesia yang tinggi diikuti dengan pertumbuhan ekonomi akan membutuhkan energi yang sangat besar. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa sejak tahun 2000 hingga 2025 akan terjadi peningkatan 3 kali lipat kebutuhan energi listrik yang tidak akan mampu dikejar jika hanya mengandalkan sumber batu bara, gas, dan minyak bumi [28]. Belum lagi tambahan kajian mengenai kelangkaan sumber daya batu bara di masa depan karena merupakan sumber daya yang butuh waktu sangat lama untuk diperbarui.

Krisis sumber energi ini menunjukkan bahwa kebutuhan Indonesia untuk membangun PLTN cukup tinggi. Alasan lain dalam perspektif studi kawasan menunjukkan bahwa kawasan Asia Tenggara belum ada negara yang memiliki PLTN. Bahkan Vietnam, Filipina, dan Thailand mengurungkan niat pasca ledakan di Fukushima. Sementara kebutuhan energi listrik di kawasan Asia Tenggara cukup tinggi, di mana terdapat negara-negara seperti Singapura, Malaysia, Brunei, Thailand, dan Vietnam yang memiliki konsumsi listrik per kapita yang tinggi [25]. Alasan tersebut dapat menjadi salah satu pendorong perlunya kebijakan pengeksekusian pembangunan PLTN di Indonesia.

Peneliti tertarik melakukan kajian terhadap potensi *power* Indonesia jika telah berhasil memiliki PLTN. Berdasarkan penjelasan latar belakang tersebut, penelitian ini memiliki pertanyaan penelitian: Bagaimana manfaat kepemilikan PLTN terhadap *power* yang dimiliki oleh Indonesia? Tulisan ini akan dibagi dalam beberapa bagian penjelasan, yaitu manfaat energi nuklir bagi negara-negara maju, perkembangan energi nuklir di Asia Tenggara dan Indonesia, PLTN dan keamanan energi Indonesia, dan potensi kekuatan Indonesia dengan pembangunan PLTN.

## TEORI KEAMANAN ENERGI

Istilah keamanan energi baru mulai dimunculkan pada awal tahun 2000an. Ditandai dengan pernyataan Presiden Amerika Serikat, George W. Bush, yang menyebutkan bahwa "*Energy security should be a priority of our foreign policy*" [27]. Pernyataan tersebut juga didukung oleh pejabat tinggi dari negara-negara industri lainnya yang mengedepankan isu energi sebagai inti kehidupan manusia [27]. Klare lebih lanjut menjelaskan bahwa manusia

primitif membutuhkan energi mulai dari kegiatan berburu, membangun rumah, dan kota. Semakin kompleks perkembangan kehidupan masyarakat, semakin tinggi juga tingkat kebutuhan mereka atas energi [27]. Di dunia modern dengan banyaknya industri semakin membuat kebutuhan akan energi meningkat.

Diantara beberapa definisi yang dirangkum oleh Klare ternyata belum terdapat suatu standar pengertian yang baku mengenai konsep keamanan energi tersebut [27]. Berdasarkan temuan Klare sebagian besar analisis menjelaskan bahwa keamanan energi adalah memastikan pemenuhan kebutuhan energi yang penting bagi kehidupan manusia, bahkan saat terjadi krisis atau konflik internasional [27]. Definisi lain yang Klare sajikan berdasarkan pendapat dari *the Council on Foreign Relations*, yaitu penyediaan energi yang aman dan mencukupi secara terus menerus [27]. Pengertian lain disampaikan oleh Klare mengacu pada upaya negara dalam mencari sumber-sumber energi yang tidak memberikan dampak buruk bagi lingkungan hidup [27]. Yaitu, upaya transisi penggunaan energi yang menyebabkan perubahan lingkungan menjadi energi yang memiliki dampak lebih kecil terhadap kerusakan lingkungan.

Pengertian terakhir yang disampaikan oleh Klare didukung dengan fenomena di banyak negara barat di mana tugas-tugas produksi dan pengiriman energi kepada konsumen dilakukan oleh perusahaan swasta, yang mencari keuntungan, bahkan termasuk yang paling menguntungkan di dunia [27]. Tetapi, diakibatkan oleh suplai energi dianggap sangat vital bagi perekonomian negara membuat negara juga ikut memegang peranan penting dalam proses penyediaan energi [27]. Kondisi seperti ini yang kemudian oleh Klare termasuk dalam kategori keamanan energi, ketika negara menjamin insentif dan kebijakan yang memastikan penyediaan energi sesuai dengan kebutuhan negara [27]. Negara menurut Klare melalui pembuat kebijakan juga mempertimbangkan peningkatan ketersediaan energi sesuai dengan kebutuhan masa depan [27]. Di samping itu, pembuat kebijakan juga memastikan negara tidak bergantung pada satu atau dua sumber energi agar di kemudian hari tidak membuat negara mengalami krisis jika sumber energi tersebut hilang atau berkurang [27]. Alternatif yang ditawarkan oleh Klare kepada pembuat kebijakan dalam menyikapi masalah tersebut adalah menyediakan kebijakan diversifikasi sumber energi.

Terdapat beberapa elemen yang menjadi unit analisis dalam konsep keamanan energi, yaitu keterlibatan aktor negara, ketersediaan sumber-sumber energi, dan kebijakan merespon kelangkaan energi. Ketiga elemen ini akan digunakan untuk menjelaskan pilihan Indonesia untuk mengembangkan energi nuklir sebagai sumber energi listrik alternatif untuk mengatasi ketersediaan bahan baku batu bara yang selama ini menjadi andalan utama. Peneliti juga akan menggunakan konsep keamanan energi untuk menjelaskan keterlibatan pemerintah Indonesia dalam upaya pemenuhan energi listrik dengan kebijakan pembangunan PLTN.

## **POWER**

*Power* atau kekuatan merupakan suatu alat kepemilikan yang masuk ke dalam bagian komponen nasional [16]. Selain itu, *power* juga merupakan suatu payung konsep yang menunjukkan segala sesuatu yang bisa menentukan dan memelihara kekuasaan aktor A terhadap aktor B. Terdapat tiga unsur yang dimiliki *power*. *Pertama*, kekuatan atau *force*. Kekuatan merupakan unsur pertama dari *power* yang didefinisikan sebagai ancaman eksplisit atau aktor A dengan menggunakan alat-alat paksa seperti dengan menggunakan militer, ekonomi, dan lain-lain terhadap aktor B untuk mencapai tujuan-tujuan politik yang dimiliki oleh aktor A [3].

*Kedua*, pengaruh atau *influence*. Unsur *power* yang kedua yaitu pengaruh yang didefinisikan sebagai penggunaan instrumen-instrumen persuasi oleh aktor A dengan tujuan untuk menjaga perilaku aktor B menggunakan langkah-langkah berdasarkan kehendak dari aktor A [3]. *Ketiga*, kekuasaan atau *authority*. Unsur *power* yang ketiga atau yang terakhir yaitu kekuasaan didefinisikan sebagai kemauan dari aktor B untuk memenuhi perintah-perintah yang dikeluarkan atau dibuat oleh aktor A, yang mana, hal tersebut dijaga dalam persepsi aktor B terkait aktor A, sebagai contoh sikap hormat, solidaritas, rasa kasih sayang, kepemimpinan, dan lain-lain [3].

Namun, *power* tidak hanya sesuatu yang bersifat destruktif, primitif, dan statis. *Power* dapat didefinisikan sebagai perpaduan atau penggabungan antara pengaruh persuasif dan kekuatan koersif [19]. Richard Ned Lebow dalam karyanya yang berjudul, "*The Long Peace, The End of the Cold War, and the Failure of Realism*", berpendapat bahwa *power* sebagai fungsi dari banyaknya penduduk, teritorial, kapabilitas ekonomi, kekuatan

militer, stabilitas politik, dan ahli dalam berdiplomasi internasional. *Power* dari suatu negara juga mencakup tingkat teknologi yang dikuasai, sumber daya alam, bentuk pemerintahan dari suatu negara, dan kepemimpinan politik serta ideologi [19].

Terdapat dua jenis *power* dalam *power politics*, yakni *hard power* dan *soft power*. Berdasarkan definisi *power* di atas, secara tersirat telah dijelaskan terkait penggunaan *power* dari suatu aktor terhadap aktor lainnya. *Hard power* merupakan salah satu jenis *power* berupa paksaan dan sanksi [19]. Gagasan mengenai *hard power* pertama kali diperkenalkan oleh Joseph Nye lebih dari dua dekade lalu. Menurut Nye, secara umum *hard power* merupakan suatu kekuasaan untuk menguasai atau mempengaruhi seseorang untuk mendapatkan tujuan yang ingin dicapai. *Hard power* berupa paksaan yang dipegang melalui bujukan ataupun ancaman, dan hal ini didasarkan pada intervensi militer, diplomasi koersif, dan sanksi ekonomi [44]. Dalam artikel yang berjudul, "*Hard Power vs Soft Power*", Daryl Copeland menjelaskan mengenai definisi, tujuan, teknik, nilai, dan etos dari *hard power*. Berikut penjelasan dari Copeland mengenai *hard power*:

*"Definitions: Hard power is about compelling your adversary to comply with your will through the threat or use of force. Objectives: Hard power seeks to kill, capture, or defeat an enemy. Techniques: Hard power relies ultimately on sanctions and flows from the barrel of a gun. Values: Hard power is macho, absolute, and zero sum. Ethos: Hard power engenders fear, anguish, and suspicion."* [19].

Selain *hard power*, jenis *power* yang kedua yakni *soft power*. *Soft power* juga dikenal dengan istilah *smart power*. Jenis *power* ini lebih ke arah yang lebih baik dengan menggunakan pendekatan melalui sosial-budaya yang akhirnya dapat mempengaruhi kebijakan dari suatu negara [41]. *Soft power* sendiri merupakan '*co-optive power*'. Hal tersebut terletak pada kemampuan untuk membuat suatu preferensi orang lain dengan cara melakukan *lobby* daripada paksaan atau ancaman. Sebagian besar *soft power* beroperasi melalui budaya, cita-cita politik dan kebijakan luar negeri, terutama ketika hal ini terlihat menjadi sesuatu yang mengandung otoritas moral [16].

Beberapa kaum feminis, perbedaan kekuatan dilihat dari faktor yang lebih dalam, hal ini terkait hubungan antara kekuasaan dan gender. Dalam pandangan ini berarti bahwa 'gagasan atas' atau jika dikaitkan dengan '*hard*', strategi pemaksaan dan penggunaan ancaman dinilai mencerminkan pandangan 'maskulin', yang mana, hal ini umumnya mendukung ke arah teori realis politik kekuasaan. Di sisi lain, pandangan feminis lebih menekankan terkait sejauh mana dalam hubungan sosial domestic dan transnasional, terutama kekuasaan yang dilakukan melalui penjagaan, kerjasama, dan berbagi. *Soft power* lebih mengutamakan alternatif gagasan kekuasaan sebagai kolaborasi daripada konflik dan kapasitas konsepsi kekuasaan [16]. Akan tetapi, jika dilihat dari perkembangan dunia saat ini, terdapat tantangan yang dihadapi oleh seluruh aktor hubungan internasional untuk menggabungkan ketiganya yang kemudian dikenal dengan istilah *smart power*.

Pada penelitian ini, peneliti memilih menggunakan *soft power* sebagai salah satu instrument yang digunakan oleh Indonesia melalui diplomasi kesehatan. Konsep *soft power* sendiri merujuk dari pendapat Nye, yang mana, merupakan kemampuan untuk mendapatkan sesuatu yang kita inginkan dengan cara menarik perhatian lawan [31]. Secara konkrit, unsur dari *soft power* adalah budaya, ide politik, dan kebijakan. Nye menjelaskan bahwa jika kebijakan kita dianggap sah dan baik di mata orang lain, maka *soft power* yang kita miliki dapat meningkat. Indikator tercapainya *soft power* adalah berdasarkan kemampuan membentuk preferensi pihak lain [31]. Menurut Nye, salah satu unsur lainnya dari *soft power* yaitu mampu memberikan contoh yang baik [31]. Agar dapat mengetahui seseorang atau pihak lain berhasil diberikan *soft power* yakni saat mereka ingin melakukan sesuatu yang ingin kita capai tanpa adanya perasaan ancaman ada paksaan [31]. Cara yang dapat dilakukan untuk menarik perhatian tersebut yaitu dengan mempraktikkan nilai bersama dan memastikan nilai tersebut tercapai [31].

Merujuk dari pendapat yang telah disampaikan oleh Nye di atas, dapat ditarik beberapa poin penting dari konsep *soft power*, yaitu upaya tanpa ancaman, bersumber pada budaya, nilai, dan kebijakan, praktiknya melalui penerapan nilai, dan mampu menarik minat pihak lainnya agar dapat mengikuti keinginan kita [31]. Selain itu juga dapat memberikan arahan mengenai cara menganalisis *soft power* dengan melihat dari tiga sumber yang dimilikinya. Sumber pertama yaitu budaya, ketika budaya tersebut dapat menarik perhatian

negara atau pihak lain. Sumber kedua adalah nilai politik, yang mana, melekat pada dirinya, baik di dalam maupun di luar negeri. Peneliti mengartikannya sebagai citra politik. Sumber ketiga yaitu kebijakan luar negeri yang sah dan mempunyai kewenangan moral.

### **BARGAINING POSITION**

Dalam hubungan internasional, negosiasi antara negara dan aktor lain merupakan salah satu proses berulang yang dianggap inti dari hubungan internasional. Negosiasi merupakan suatu tindakan yang konsektif, di mana, beberapa pihak menanggapi tuntutan, argumen, dan proposal satu sama lain agar tujuan yang dibuat dapat dicapai. Dalam sebuah negosiasi, pihak-pihak yang terlibat akan merasa lebih baik dan akan mencapai tujuan yaitu sebuah *win-win agreement* tanpa adanya paksaan. Tidak sedikit negosiasi yang melibatkan upaya-upaya yang bertujuan untuk menciptakan keuntungan bersama dan mengklaim nilai dari pihak lain, dan mendistribusi upaya dalam beberapa kasus. Negosiasi berbagi preferensi dengan tujuan untuk berteori mengenai mengamati perilaku negosiator di tingkat individu atau delegasi secara langsung, khususnya melalui studi kasus di lapangan dan eksperimen. Sebagian besar elemen teoritis merupakan konsep dan tipologi, seperti tahap negosiasi, masalah, peran, strategi, dan taktik [32].

Salah satu taktik dalam bernegosiasi yaitu taktik integratif atau pemecahan masalah yang termasuk dalam usulan suatu *item* agenda yang kemungkinan menguntungkan kedua belah pihak, melakukan komunikasi agar mendapatkan informasi yang lebih banyak, melakukan penelitian bersama, melakukan pencarian bersama untuk mengatur segala sesuatu yang belum pernah terjadi sebelumnya di luar posisi dari para pihak. Integratif di sini berarti tidak menyerah pada permintaan tanpa adanya kompensasi. Hal tersebut belum tentu meningkatkan keuntungan bersama, dan mencakup cara-cara untuk membuat keuntungan kepada pihak yang bertindak [32].

Semua negosiasi akan menghasilkan dua kemungkinan, perjanjian atau jalan buntu. Kedua kemungkinan tersebut megacu kepada keuntungan dan kerugian pada seluruh pihak yang terlibat. Setiap gagasan mengenai keuntungan memberikan beberapa titik referensi, dan dapat membuat analisis negosiasi dengan cara titik referensi yang tiap waktunya berbeda-beda. Salah satu dari negosiasi dengan cara titik referensi berbeda di tiap waktunya adalah nilai *status quo* sebelum terjadinya tawar-menawar [32]. Konsep ini akan digunakan dalam menjelaskan proses negosiasi dan hasil tawar Indonesia dalam perundingan dan pengadaan PLTN.

### **METODOLOGI**

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif eksplanatif. Penelitian ini bertujuan menjelaskan kemungkinan-kemungkinan potensi *power* yang akan didapat oleh Indonesia dengan kepemilikan PLTN. Peneliti melakukan pengumpulan data melalui studi literatur dengan menggunakan sumber dari buku-buku, artikel dalam jurnal, dokumen, dan sumber artikel *online*. Validitas data dilakukan peneliti dengan triangulasi terhadap sumber data literatur yang berbeda. Penelitian ini juga dilakukan dengan mencari penerapan baik dari pengembangan PLTN pada beberapa negara di dunia.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN PLTN DAN KEAMANAN ENERGI INDONESIA**

Mengacu kajian literatur pada sub-poin keamanan energi, terdapat beberapa hal yang dapat peneliti elaborasi lebih lanjut. Pertama, aspek keterlibatan negara dalam isu-isu energi. Sebagai negara yang menempatkan isu-isu vital ke dalam kewenangan pemerintah<sup>1</sup>, Indonesia dengan tegas menyatakan bahwa negara ikut andil dalam pengelolaan energi. Hal ini terealisasi dengan dibentuknya beberapa Badan Usaha Milik Negara, seperti Pertamina dan Perusahaan Listrik Negara, dan juga kerja sama dengan beberapa perusahaan swasta di bidang energi, seperti Exxon Mobil dan Chevron, dan dengan beberapa negara, seperti Jepang, Denmark, Amerika Serikat, Libya, dan Tiongkok. Namun, meskipun terdapat skema

---

<sup>1</sup> Pada UUD 1945, pasal 33 ayat 2 dan 3 dengan tegas menjelaskan bahwa negara memiliki penguasaan yang mutlak atas sumber-sumber daya alam dan cabang produksi yang vital. Bunyi pasal 33 ayat 2 adalah "Cabang-cabang produksi yang penting bagi negara dan yang menguasai hajat hidup orang banyak dikuasai oleh negara". Sementara bunyi pasal 33 ayat 3 adalah "Bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung di dalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat".

kerja sama dengan pihak swasta atau negara lain, pemerintah Indonesia tetap memegang kuasa penuh atas pengelolaan energi-energi tersebut.

Kasus terkini yang menarik adalah ketika Pemerintah Indonesia berhasil membuat Perjanjian Pendahuluan (*Head of Agreement/HoA*) terkait divestasi 51 persen saham PT Freeport Indonesia [18]. Padahal sudah menjadi rahasia umum selama puluhan tahun pengelolaan sumber daya tambang emas yang dilakukan oleh PT. Freeport tidak memberikan kontribusi yang signifikan bagi keuntungan negara apalagi masyarakat Indonesia. Kasus lain yang mempertegas keterlibatan negara dalam isu energi adalah dengan penyerahan izin pengelolaan Wilayah Kerja (WK) Minyak dan Gas Bumi (Migas) Rokan di Riau kepada Pertamina yang sebelumnya dikuasai oleh Chevron [18]. Bahkan Pertamina mendapatkan 100 persen hak pengelolaan Blok Rokan selama 20 tahun sejak Agustus 2021 hingga 2041 [18].

Pada sektor nuklir sendiri, pemerintah Indonesia sudah sangat aktif terlibat baik dalam penyusunan grand design hingga tahap kajian serta sosialisasi ke masyarakat. Reaktor nuklir di Indonesia juga tercatat sudah dioperasikan sejak tahun 1964 dengan nama Reaktor Tiga Mark II di Bandung dengan daya 250 kW dan ditingkatkan daya menjadi 2000 kW pada tahun 2000 [25]. Kemudian di Jogjakarta, Indonesia juga memiliki Reaktor Kartini dengan daya 100 kW [25]. Lalu, di Serpong, Tangerang, terdapat reaktor RSG G.A. Siwabessy yang memiliki daya reaktor lebih besar, yaitu 30 MW [25]. Ketiga reaktor ini memiliki fungsi yang sama sebagai alat penelitian, tetapi juga memiliki perbedaan, di mana reaktor Tiga Mark II dan RSG G.A. Siwabessy berfungsi untuk produksi isotop [25]. Sementara Reaktor Kartini berfungsi untuk pelatihan operator reaktor [25].

Untuk kasus di Kalimantan Barat sendiri, di tahun 2019 tercatat sudah terdapat beberapa kali kegiatan yang melibatkan publik atau akademisi, mulai dari seminar internasional melibatkan kedutaan Perancis hingga kegiatan-kegiatan kajian akademik dan tinjauan langsung ke lokasi di Bengkayang bersama dengan Tim dari Universitas Tanjungpura bekerja sama dengan BATAN. Gubernur Kalimantan Barat, Sutarmidji, pada bulan Juni 2019 menyatakan dukungan atas kegiatan pembangunan PLTN di Kalimantan Barat. Selain Gubernur, Ketua DPD RI, yang juga merupakan putra daerah Kalimantan Barat, Oesman Sapta Odang, juga menyatakan dukungan atas rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat. Namun, menurut penelusuran data literatur masih terdapat warga masyarakat dan juga lembaga swadaya masyarakat yang menolak rencana tersebut. Menurut peneliti, hal ini perlu diadakan dialog untuk kemudian mampu menemukan jalan tengah antara kepentingan negara dan masyarakat. Tentunya peneliti berharap dialog dapat berjalan dengan baik tanpa ada upaya penekanan dari pihak-pihak tertentu yang memiliki kepentingan dengan adanya pembangunan PLTN. Dialog juga perlu diadakan untuk mampu menampung keresahan masyarakat atas penolakan tersebut. Sehingga solusi bersama dapat dicapai dalam proses tersebut.

Pada September 2013, kebutuhan listrik di Indonesia mencapai sekitar 40 GW, dan tahun 2030 diperkirakan akan meningkat menjadi 160 GW, serta akan semakin meningkat kembali tahun 2050 menjadi 450-550 GW. Hal tersebut dilihat dari catatan kebutuhan listrik yang meningkat sekitar 9% per tahun. Jika potensi energi terbarukan yang dapat dikatakan sangat besar tersebut dikembangkan dengan serius maka, pasokan energi di Indonesia dapat dipenuhi dan akan menyamai bahkan ratusan kali dapat melebihi pasokan energi yang berasal dari PLTN [1]. Konsumsi listrik yang masih rendah di Indonesia menurut Irawan menjadi salah satu pendorong dalam pemanfaatan energi nuklir di Indonesia [25]. Selain itu, terdapat pula beberapa faktor pendorong lainnya, yaitu terbatasnya energi fosil, isu pemanasan global, keberhasilan negara pembangun PLTN, dan permintaan pemerintah daerah. Poin penting yang perlu dikaji berkaitan dengan rencana pembangunan PLTN di Indonesia adalah terbatasnya energi fosil. Pada kajian literatur yang sudah kami sampaikan, permasalahan energi dapat menjadi isu keamanan jika menyangkut ketersediaan sumber-sumber energi di masa depan.

Indonesia selama ini banyak bergantung pada sumber energi batu bara dan minyak. Ketergantungan ini tampak dari data yang dipaparkan oleh Irawan yang menyatakan bahwa kebijakan energi nasional pada tahun 2010 terbagi dengan komposisi 49 persen bersumber dari minyak, 22 persen dari gas, dan 24 persen dari batu bara, dan hanya 5 persen bersumber dari energi alternatif [25]. Sementara jika tidak dikelola dengan perencanaan yang matang untuk masa depan, tiga sumber energi tersebut akan habis pada masa-masa tertentu. Ditambah dengan belum mampunya Indonesia mengolah sendiri sumber minyak yang mengharuskan minyak mentah diekspor terlebih dahulu ke Singapura. Masalah ini

yang menurut kami, menunjukkan bahwa isu nuklir sebagai energi alternatif baru di Indonesia layak dikaji dalam perspektif keamanan. Tentunya dengan mengingat bahwa karakter negara Indonesia menempatkan pengelolaan sumber daya yang vital bagi masyarakat di tangan pemerintah. Sehingga dalam konteks menyikapi kelangkaan yang akan terjadi di masa akan datang, pemerintah dapat mengambil tindakan-tindakan luar biasa sebagai rangka mengamankan keamanan nasional di bidang energi.

Salah satu yang peneliti temukan sebagai bentuk langkah menyikapi kelangkaan energi tersebut adalah dengan menyiapkan rencana pembangunan PLTN di Indonesia. Salah satu lokasi yang kemungkinan besar dapat menjadi tempat realisasi PLTN adalah Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat. Sebagai salah satu daerah yang masih mengalami masalah pasokan listrik, tentu menjadi solusi yang sangat baik jika menempatkan PLTN di sana. Selain itu faktor cadangan uranium juga ditemukan oleh para peneliti di daerah Melawi, Kalimantan Barat. Namun, seperti yang sudah peneliti paparkan sebelumnya bahwa perlu pertimbangan yang matang dalam pelaksanaan tahap pembangunan PLTN di Kalimantan Barat.

Faktor kesiapan teknologi dan juga masyarakat harus menjadi hirauan. Meskipun BATAN meyakinkan bahwa teknologi terkini terkait keselamatan reaktor nuklir terus meningkat, tapi membangun di daerah dengan IPM 66,26 (peringkat 30 dari 34 provinsi di Indonesia) tentunya menjadi tantangan tersendiri [25]. Di samping itu, pemerintah juga harus bisa memastikan bahwa kerja sama dengan pihak asing (negara-negara atau perusahaan maju yang sudah sukses mengembangkan PLTN) tidak kemudian menjadi sentimen negatif di masyarakat. Hal ini tentu perlu menjadi perhatian bagi negara mengingat sudah cukup banyak perusahaan asing yang beroperasi di Kalimantan Barat, khusus di bidang pertambangan dan perkebunan. Gejolak pasca Pilpres 2019 terhadap pekerja asing tentu harus menjadi salah satu bahan pertimbangan.

#### **POTENSI KEKUATAN INDONESIA DENGAN PEMBANGUNAN PLTN**

Pada bagian ini, peneliti akan lebih membahas dalam lingkup regional dan internasional setelah sebelumnya pembahasan lebih didominasi analisis domestik. Dalam kasus di Indonesia sendiri, perundingan atau diskusi mengenai PLTN atau energi nuklir sendiri sudah tidak asing lagi diangkat dalam forum regional ASEAN. Pada tanggal 1-4 Juli 2019, *The Office of Atoms for Peace (OAP) Thailand* mengadakan *The 6<sup>th</sup> Annual Meeting of ASEAN Network of Regulatory Bodies on Atomic Energy (ASEANTOM) and Technical Security in ASEAN* di Krabi, Thailand. Pertemuan ini bertujuan untuk bertukar informasi dan meningkatkan keamanan terkait nuklir, dan forum ini juga diikuti oleh IAEA dan *United States Department of Energy (US DOE)* [6].

Negara-negara di kawasan ASEAN berupaya mencari cara untuk mengatasi kelangkaan sumber energi, dan mengembangkan energi bebas polusi. Beberapa negara seperti Thailand, Vietnam, dan Indonesia berharap energi nuklir dapat beroperasi di tahun 2020. Berbagai persiapan untuk membangun PLTN mulai dipersiapkan oleh masing-masing negara seperti, menawarkan kepada investor asing untuk mendapatkan dana pembangunan. Namun, sebelum pembangunan secara nyata, masing-masing negara harus melakukan negosiasi dengan berbagai pihak dalam negeri agar pembangunan PLTN dapat berjalan dengan baik. Indonesia sendiri masih sulit dalam mendapatkan izin dari presiden untuk dapat membangun PLTN karena Indonesia dinilai masih dapat memanfaatkan energi lain selain nuklir [36]. Peneliti melihat bahwa Presiden Indonesia saat itu, Susilo Bambang Yudhoyono masih ragu untuk beralih kepada PLTN. Hal ini mengingat bahwa masih kuatnya doktrin mengenai bahaya nuklir atau bom nuklir. Bahkan di era Joko Widodo, pemerintah Indonesia juga masih belum benar-benar menjadikan PLTN sebagai prioritas utama.

Indonesia berpotensi dalam membangun PLTN untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam negeri. Hal ini dapat memberikan bantuan kepada sektor perekonomian dan industri. Sejumlah lokasi di Indonesia telah dieksplorasi oleh pihak BATAN terkait mineral radioaktif. Lokasi tersebut berada di daerah Kalan, Kabupaten Melawi, Kalimantan Barat. Beberapa lokasi lainnya yang diprediksi mengandung uranium yaitu Provinsi Kepulauan Bangka Belitung, Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat, Sumatera Utara, dan Biak, Papua. BATAN memperkirakan bahwa total jumlah uranium yang ditemukan sekitar 7.000 ton [10]. Ini merupakan potensi yang besar yang dimiliki oleh Indonesia untuk membangun PLTN dalam negeri, dan memberikan nilai tawar yang besar bagi Indonesia di kawasan Asia Tenggara.

Ketersediaan bahan utama PLTN tentu menjadi modal berharga bagi rencana pengembangan energi di Indonesia. Bahkan tidak menutup kemungkinan jika Indonesia

berhasil menjadi yang pertama memiliki PLTN di Asia Tenggara. Indonesia dapat mengungguli negara tetangga dalam hal pasokan energi. Selain itu, dalam hal pasokan uranium Indonesia juga dapat menjadi pemain utama dalam ekspornya jika negara lain di Asia Tenggara juga telah memiliki PLTN. Menurut peneliti, jika Indonesia dapat menghasilkan energi listrik sendiri, yang mana, energi tersebut dapat memenuhi kebutuhan masyarakat Indonesia tanpa membeli listrik dari Malaysia, tentunya hal tersebut menjadikan Indonesia negara yang lebih mandiri dari segi sumber daya dan energi.

Indonesia, khususnya Kalimantan Barat masih mengimpor listrik dari Sarawak, Malaysia. Menurut Direktur Bisnis Regional Jawa bagian Timur, Bali, dan Nusa Tenggara PLN, Djoko Raharjo Abumanan, terdapat tiga alasan dilakukannya impor listrik dari Malaysia ke Kalimantan Barat. *Pertama*, Kalimantan Barat tidak mempunyai infrastruktur yang memadai, khususnya transmisi dan pembangkit. Hal ini diperparah dengan tidak adanya sumber energi primer yang signifikan agar dapat mengembangkan pembangkit listrik pada taraf skala besar [21]. Dalam keadaan yang terjadi, peneliti melihat bahwa hal tersebut karena konsumsi akan listrik dalam rumah tangga dan industri di Kalimantan Barat belum berada pada taraf besar. Sehingga, pembenahan infrastruktur, khususnya pembangkit listrik pada taraf skala besar belum terlalu mendesak untuk dibenahi.

*Kedua*, Indonesia dan Malaysia telah menandatangani perjanjian dua arah, yaitu antara PLN Indonesia dan BUMN listrik Malaysia, *Sarawak Electricity Supply Corporation* (SESCO). Perjanjian dua arah ini berisikan bahwa selain impor listrik, Indonesia dapat melakukan ekspor listrik ke Malaysia. Hal tersebut dapat dilakukan jika PLTU mulut tambang yang dibangun, di mana, PLTU tersebut berkapasitas 1.000 MW masuk ke dalam sistem listrik Kalimantan Barat pada 2020-2022 [21]. Namun, dampak yang ditimbulkan oleh PLTU yaitu berdasarkan *Greenpeace International Energy Agency*, emisi yang ditimbulkan oleh PLTU batu bara stroke, penyakit jantung iskemik, kanker paru-paru obstruktif kronis, bahkan kematian. Perkiraan korban emisi PLTU berjumlah 21.200 jiwa/tahun dan sebanyak 3 juta orang/tahun mengalami kematian dini akibat dari polusi udara [20].

Jika dibandingkan dengan dampak yang ditimbulkan oleh PLTN, energi ini sepenuhnya dapat mengatasi limbah yang dihasilkan dengan biaya yang sangat kecil. Penawaran tersebut bahkan tidak berdampak pada harga listrik. Limbah yang dikeluarkan dapat disimpan dalam repositori abadi, di mana, repositori tersebut disimpan di dalam tanah [13]. Selain itu, limbah tersebut juga dapat digunakan sebagai bahan pembuat senjata dan sebagai energi. Energi baru tersebut kemudian menjadi siklus lingkaran dalam PLTN [45]. Menurut peneliti, adanya siklus lingkaran tersebut tentunya menjadi keuntungan tersendiri bagi PLTN. Limbah yang dihasilkan tidak akan mencemari lingkungan sekitarnya dan tidak berdampak terhadap masyarakat sekitar.

*Ketiga*, tarif impor listrik dari Malaysia dinilai murah yaitu US\$7,5 sen per KWh. Jika dibandingkan dengan harga *High Speed Diesel* (HSD) atau PLTD Kalimantan Barat yang mempunyai beban puncak mencapai US\$ 20 sen per KWh. Hal ini dilakukan agar tidak menciptakan ketergantungan dan dinilai lebih murah [21]. Penawaran harga yang murah menjadi hal yang sangat diminati oleh semua kalangan masyarakat. Namun, bahaya yang ditimbulkan jauh lebih dari kata 'aman'. Sekitar 20-30 persen polusi udara di Jakarta disebabkan oleh batu bara [29].

Saat ini, PLTU di berbagai dunia sudah tidak dikembangkan dan beberapa sudah ditutup. Amerika Serikat tidak mempunyai rencana untuk membangun PLTU baru. Saat ini, PLTN merupakan energi utama yang digunakan oleh Amerika Serikat untuk memenuhi kebutuhan listrik dalam negeri, dan diikuti pula negara-negara maju lainnya [14]. Dalam ulasan di atas, peneliti menarik garis besar bahwa penawaran terhadap PLTN sebagai energi yang ramah lingkungan merupakan pilihan yang dianggap tepat dan diharapkan beberapa negara berkembang. Selain murah, PLTN dapat mendorong sektor perekonomian, industri, pertahanan dan keamanan agar lebih kuat, dan tentunya menambah *power* Indonesia.

## KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan yang sudah peneliti sampaikan sebelumnya dapat ditarik beberapa kesimpulan penting dalam kajian ini. Pertama, Indonesia melalui pemerintah menempatkan isu kelangkaan energi sebagai tolak ukur dikeluarkannya kebijakan pembangunan PLTN pertama di Asia Tenggara. Kedua, keberhasilan negara-negara maju dalam pengembangan energi nuklir dapat menjadi contoh bagi Indonesia dalam pembangunan PLTN. Ketiga, Indonesia sangat berpotensi meningkatkan nilai tawar

terhadap negara-negara di kawasan Asia Tenggara karena akan menjadi negara pertama yang memiliki PLTN, merupakan negara dengan potensi uranium yang besar, dan mampu menjadi negara mandiri dalam pasokan energi listrik. Meskipun demikian, Indonesia juga menghadapi beberapa tantangan, yaitu keamanan dan keselamatan penggunaan PLTN, persepsi masyarakat yang masih belum sepenuhnya mendukung rencana pembangunan, kesiapan masyarakat setempat di lokasi pembangunan PLTN. Sehingga menurut peneliti, selain melakukan kajian akademik yang semakin masif, pemerintah Indonesia juga perlu melakukan edukasi yang baik dan berkesinambungan kepada masyarakat. Didukung dengan upaya perbaikan tata kelola pemerintahan hingga mengeliminasi korupsi yang akan memberikan persepsi positif di mata masyarakat terhadap aparat pemerintah.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti hendak menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang telah mendukung dan membantu terselesaikannya artikel ilmiah ini. Rasa syukur kepada Allah SWT juga peneliti sampaikan atas rahmat dan bimbingan inspirasi selama proses penulisan. Tidak lupa peneliti ucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang menginspirasi, memberikan dukungan, serta doa. Terima kasih kepada sumber-sumber yang memberikan peneliti ide dan wawasan, baik dalam diskusi informal maupun dari tulisan-tulisan terdahulu. Terima kasih juga peneliti sampaikan kepada keluarga yang senantiasa memberikan dukungan dalam karir penulisan peneliti. Teriring ucapan terima kasih kepada sahabat-sahabat yang memberikan saran dan masukan kepada peneliti. Terima kasih peneliti haturkan kepada tim penilaian karya ilmiah dari Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir (SIEN) yang berkenan menyediakan wadah diskusi ilmiah dan memberikan penilaian terhadap karya yang peneliti hasilkan. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi sebanyak-banyak manusia.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afrianty, Irma. (2014). Prospek PLTN di Asia Tenggara. FISIP Universitas Hasanuddin.
- [2] Anatta, Endy. (2017, April 14). *Power dan Kapabilitas Negara*. Diakses melalui [https://www.academia.edu/8750102/Power\\_dan\\_Kapabilitas\\_Negara](https://www.academia.edu/8750102/Power_dan_Kapabilitas_Negara).
- [3] Bapeten. (2019, Juli 3). Pertemuan Tahunan Ke-6 ASEANTOM dan Keamanan Teknis di ASEAN. *Badan Pengawas Tenaga Nuklir*. Diakses melalui <https://www.bapeten.go.id/berita/pertemuan-tahunan-ke6-aseantom-dan-keamanan-teknis-di-asean-113334>.
- [4] Bernstein, P. I., Jr., J. P., & Reichart, J. F. (2007, April). *The Future Nuclear Landscape* (Vol. Center for the Study of Weapons of Mass Destruction). Washington, D.C.: National Defense University Press.
- [5] Chandra, Ardan Adhi. (2016, Mei 2). RI Punya 7.000 Ton Uranium, Ini Dia Lokasinya. *Detikfinance*. Diakses melalui <https://finance.detik.com/energi/d-3201140/ri-punya-7000-ton-uranium-ini-dia-lokasinya>.
- [6] Gorbachev, Mikhail. (1990). *Power and 21<sup>st</sup> Century World Order*.
- [7] Harjanto, Setyo Aji. (2018, Agustus). Penguasaan Energi, Jurusan Kejar Tayang Jokowi Hadapi Pilpres. *CNN Indonesia*. Diakses melalui <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20180802154139-32-319019/penguasaan-energi-jurusan-kejar-tayang-jokowi-hadapi-pilpres>.
- [8] Hartono, Budi. (2017, April 14). Konsep *Power* dalam Hubungan Internasional. Diakses melalui [https://www.academia.edu/6923264/Konsep\\_Power\\_dalam\\_Hubungan\\_Internasional](https://www.academia.edu/6923264/Konsep_Power_dalam_Hubungan_Internasional).
- [9] Hasan, Akhmad Muawal. (2016, Juni 23). Bahaya Laten PLTU Batu Bara. *Tirto.id*. Diakses melalui <https://tirto.id/bahaya-laten-pltu-batu-bara-bnYu>.
- [10] Husaini, Azis. (2019, Maret 27). Kalbar Masih Impor Listrik dari Malaysia, Sampai Kapan?. *Kontan.co.id*. Diakses melalui <https://industri.kontan.co.id/news/kalbar-masih-impor-listrik-dari-malaysia-sampai-kapan>.
- [11] Indriani. (2015, September 28). *Rosatom siap bangun PLTN di Indonesia*. Diakses melalui <http://www.antarnews.com/berita/520403/rosatom-siap-bangun-pltn-di-indonesia>
- [12] Irawan, D. (2017). *PLTN dan Potensi Pemanfaatan di Indonesia*. Dipresentasikan pada Seminar Nasional "Implementasi Kerja Nyata Dalam Edukasi IPTEK Nuklir dan

- Sosialisasi KOMMUN di Daerah Potensial Tambang Uranium Kalimantan Barat". Universitas Tanjungpura pada Pontianak, 9 Februari 2017.
- [13] Klare, Michael T. (2008). "Energy Security". *Security Studies An Introduction*. Paul Williams (ed). London dan New York: Routledge.
- [14] LIPI. (2005, Januari 1). *Atasi Krisis Energi 2025 : Indonesia Butuh Tenaga Nuklir*. Retrieved from Energi Support Our Llife: <http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi?artikel&1104525170&7>
- [15] Mts. (2019, Juli 17). Walhi: 10 PLTU Batu Bara Sumbang 30 Persen Polusi Jakarta. *CNN Indonesia*. Diakses melalui <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20190716161616-20-412627/walhi-10-pltu-batu-bara-sumbang-30-persen-polusi-jakarta>.
- [16] Namwong, Ratanachai. (2010). *Nuclear Power Project in Thailand*. Jurnal IAEA Publications. Diakses melalui [http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1500\\_CD\\_Web/htm/pdf/poster/1P04\\_R.Namwong.pdf](http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/P1500_CD_Web/htm/pdf/poster/1P04_R.Namwong.pdf).
- [17] Nye, Joseph S Jr. (2004). *Soft Power: The Means to Success in World Politics*. New York: Public Affairs.
- [18] Odell, John. (2013). *Negotiation and Bargaining dalam Handbook of International Relations Secon Edition*. California: SAGE Publications Inc.
- [19] Purwaningsih, Ayu. (2007, Agustus 21). Pengembangan Reaktor Nuklir ASEAN Terganjil Masalah Keamanan. *Deutsche Welle*. Diakses melalui <https://www.dw.com/id/pengembangan-reaktor-nuklir-asean-terganjal-masalah-keamanan/a-2956274>.
- [20] Stacia, Alura. (2017, April 14). Konsep *Smart Power* Amerika Serikat. Diakses melalui [https://www.academia.edu/12501389/Konsep\\_Smart\\_Power\\_Amerika\\_Serikat](https://www.academia.edu/12501389/Konsep_Smart_Power_Amerika_Serikat).
- [21] Wagner, Jan-Philipp N. E. (2014, Mei 14). *The Effectiveness of Soft dan Hard Power in Contemporary International Relations*. Diakses melalui <https://www.e-ir.info/2014/05/14/the-effectiveness-of-soft-hard-power-in-contemporary-international-relations/>.
- [22] Wulandari, Niken Paramita. (2015, Maret 10). Limbah Nuklir Juga Bermanfaat. *Republika.co.id*. Diakses melalui <https://www.republika.co.id/berita/nasional/umum/15/03/10/nkz8a1-limbah-nuklir-juga-bermanfaat>.

## EFEK DATA NUKLIR WIMS PADA PARAMETER SEL BAHAN BAKAR REAKTOR GARAM CAIR

Tagor Malem Sembiring, Siti Alimah, Trijoko Sulistiyo

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN-BATAN), Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan,  
Jakarta 12710

E-mail: tagorms@batan.go.id

### ABSTRAK

**EFEK DATA NUKLIR WIMS PADA PARAMETER SEL BAHAN BAKAR REAKTOR GARAM CAIR.** Makalah ini menyajikan hasil penelitian tentang efek data nuklir WIMS, ENDF/B-VI.8 dan -VII.1 pada parameter sel bahan bakar reaktor garam cair (*molten salt reactor*). Penelitian ini merupakan tahap awal dalam kegiatan desain awal aspek neutronik untuk reaktor garam cair berdaya kecil. Tujuan penelitian adalah mengetahui efek data nuklir WIMS, khususnya ENDF, pada parameter sel yang akan dipakai dalam analisis sensitivitas parameter teras akibat perbedaan data nuklir. Parameter sel yang dihitung adalah faktor perlipatan tak-hingga,  $k_{\text{inf}}$ . Sel bahan bakar dan komposisi bahan bakar masing-masing mengacu pada reaktor MSRE (*Molten Salt Reactor Experiment*) dan TMSR500 (ThorCon). Penelitian dilakukan dengan paket program WIMSD-5B dengan memvariasi fraksi volume bahan bakar dalam rentang 0,2 – 0,5. Pustaka WIMS yang dipilih menggunakan 69 kelompok energi neutron. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa terjadi penurunan nilai  $k_{\text{inf}}$  saat fraksi volume bahan bakar dinaikkan, yaitu -3,47 dan -3,49 ( $\Delta k_{\text{inf}} / \Delta f_{\text{vol}}$ ) untuk ENDF/B-VI.8 dan VII.1. Perbedaan relatif kedua data nuklir juga semakin meningkat dengan meningkatnya fraksi volume bahan bakar. Perbedaan ini dikontribusi dari nuklida U-235 terutama pada tampang lintang produksi neutron ( $v\Sigma_f$ ). Konfigurasi dan komposisi bahan bakar yang dipilih telah memenuhi kriteria keselamatan.

Kata kunci: reaktor garam cair, bahan bakar garam, ENDF/B, WIMS, perhitungan sel

### ABSTRACT

**EFFECT OF THE WIMS NUCLEAR DATA ON THE MOLTEN SALT FUEL CELL PARAMETERS.** This paper presents the effects of the WIMS nuclear data, ENDF / B-VI.8 and -VII.1, on the parameters of molten salt reactor fuel cell. This research is the first step for the neutronic design of the small power molten salt reactor. The objective of this research is to determine the effect of WIMS nuclear data on the cell parameters and to be used in the sensitivity analysis of core parameters due to the differences in nuclear data. The calculated cell parameter is the infinite multiplication factor,  $k_{\text{inf}}$ . Fuel cell configuration and fuel composition refer to the MSRE (*Molten Salt Reactor Experiment*) and TMSR500 (ThorCon) reactors, respectively. The study is carried out by using with WIMSD-5B code with the 69 neutron energy groups library. The volume fraction of salt fuel is varied in the range of 0.2 - 0.5. The calculation results show that there is a decrease in the  $k_{\text{inf}}$  value when the salt fuel volume fraction is increased, about -3.47 and -3.49 ( $\Delta k_{\text{inf}} / \Delta f_{\text{vol}}$ ) for ENDF / B-VI.8 and VII.1, respectively. The relative difference between the two nuclear data is also increasing with the increase of the salt fuel volume fraction. This difference is contributed by the U-235 nuclide, especially in the cross-section of neutron production ( $v\Sigma_f$ ). The configuration and composition of the selected fuel fulfill the safety criteria.

Keyword: molten salt reactor, salt fuel, ENDF/B, WIMS, cell calculation

### PENDAHULUAN

Paket program WIMS merupakan paket program kalkulasi sel yang sangat luas dipakai menganalisis kritikalitas bahan bakar reaktor, khususnya untuk reaktor termal (1–5). IAEA telah selesai melakukan proyek pembaharuan pustaka data nuklir WIMS melalui proyek WLUP (*WIMS Library Update Project*) agar negara *member state* IAEA dapat menggunakannya lebih akurat (6). Hasil proyek WLUP telah menyediakan beberapa pustaka WIMS berdasarkan data nuklir terbaru seperti data nuklir ENDF/B-VII.1.

Karya tulis ini menyajikan hasil penelitian tentang efek data nuklir WIMS pada parameter sel bahan bakar reaktor garam cair (*molten salt reactor*, MSR). Pustaka data

nuklir WIMS yang dibandingkan adalah ENDF/B-VI.8 dan ENDF/B-VII.1 (7–9). Maksud dari perhitungan sel adalah untuk mendapatkan parameter sel yang memenuhi kriteria keselamatan. Dengan demikian teras yang disusun dengan bahan bakar tersebut juga akan memiliki parameter yang memenuhi kriteria keselamatan. Tujuan penelitian ini mengetahui efek data nuklir pada karakteristik nilai  $k_{-inf}$  (faktor perlipatan tak-hingga) sel bahan bakar garam cair dengan konfigurasi dan komposisi dari reaktor acuan. Hasil ini akan digunakan untuk analisis sensitivitas parameter teras reaktor yang sangat penting untuk desain reaktor.

Reaktor bahan bakar cair yang menjadi acuan adalah reaktor MSRE (*Molten Salt Reactor Experiment*), dengan daya 8 MW (termal) (10), dioperasikan mulai 1965-1969 yang berada di Oak Ridge National Laboratory (ORNL). Reaktor ini menggunakan grafit sebagai moderator dan selama beroperasi ada banyak penelitian dilakukan seperti kendali reaktivitas, perbaikan material mengatasi korosi dan sifat bahan bakar garam cair. Reaktor ini berhasil menggunakan bahan bakar U-235 dan U-233 dalam garam berbasis Li. Reaktor MSRE menjadi acuan pengembangan desain reaktor garam cair yang menggunakan torium (Th), seperti reaktor TMSR500 (ThorCon) (11).

Keunggulan reaktor garam cair adalah memiliki tingkat keselamatan yang tinggi dan biaya listrik yang murah, membuat beberapa perusahaan telah melakukan desain untuk masing-masing keperluan, bukan saja pembangkit listrik tetapi juga berfingsi lain, seperti sebagai fasilitas pembakar limbah (12). Reaktor ini juga dapat didesain untuk beroperasi kontinyu karena dapat melakukan *on-line refueling* dan sistem keselamatannya dapat bekerja secara otomatis (*walk away safety*). Berdasarkan pertimbangan itu, telah dimulai untuk melakukan kajian desain neutronik reaktor garam cair berdaya kecil, < 50 MW (elektrik). Reaktor ini cocok di daerah yang terpencil listrik terpasangannya terbatas dan dapat dioperasikan dengan sederhana. Kegiatan penelitian ini, yaitu perhitungan sel, merupakan tahap awal dalam kegiatan tersebut sebelum masuk ke perhitungan teras.

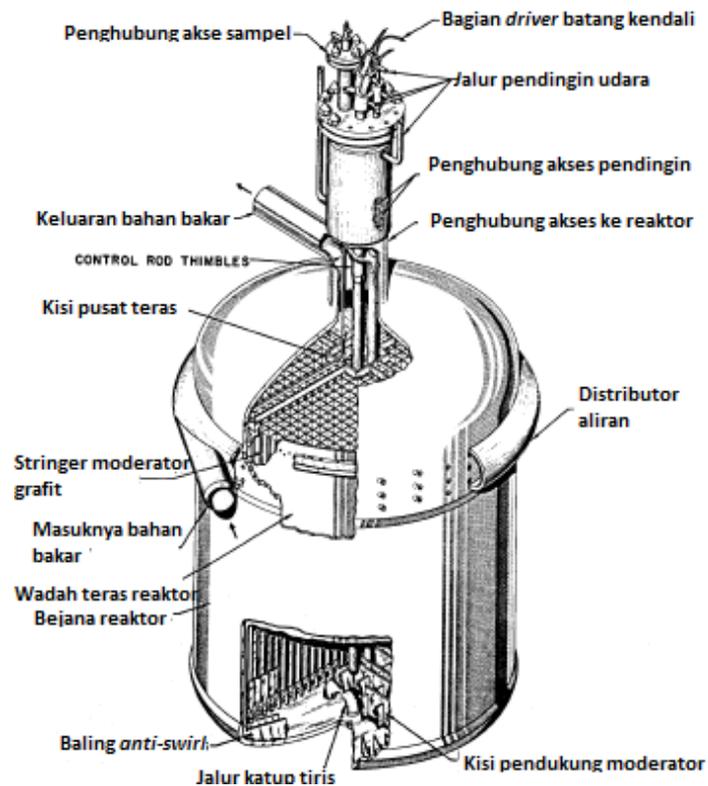
Parameter sel bahan bakar MSRE,  $k_{-inf}$ , dihitung dengan WIMSD-5B menggunakan 2 data nuklir WIMS, yaitu ENDF/B-VI.8 dan -VII.1. Fraksi volume bahan bakar garam cair divariasikan untuk melihat karakteristik  $k_{-inf}$  sebagai fungsi perubahan volume bahan bakar. Kedua data nuklir dibandingkan untuk mendapatkan suatu kesimpulan tentang pengaruh data nuklir terhadap nilai  $k_{-inf}$  sel bahan bakar serta unjuk kerja keselamatannya.

### DESKRIPSI SINGKAT REAKTOR MSRE

Reaktor MSRE memiliki spektrum neutron termal dan menggunakan grafit sebagai moderator. Daya termal sebesar 8 MW digenerasi dari bahan bakar garam yang terdiri dari U (U-235 atau U-233), Li, Be, Zr *fluoride* (F). Reaktor MSRE adalah reaktor dengan zat alir tunggal dengan spesifikasinya tersaji di Tabel 1 dan Gambar 1 (10,13). Aliran fluida bahan bakar garam masuk ke bejana teras melalui distributor aliran, kemudian turun ke bawah di daerah anular yang sering disebut *downcomer* di antara bejana teras dan *can* teras. Setelah mencapai daerah bagian bawah bejana, akan naik ke atas melalui kisi perangkat moderator grafit untuk selanjutnya keluar menuju penukar panas melalui pompa dengan laju alir 173 kg/detik (10).

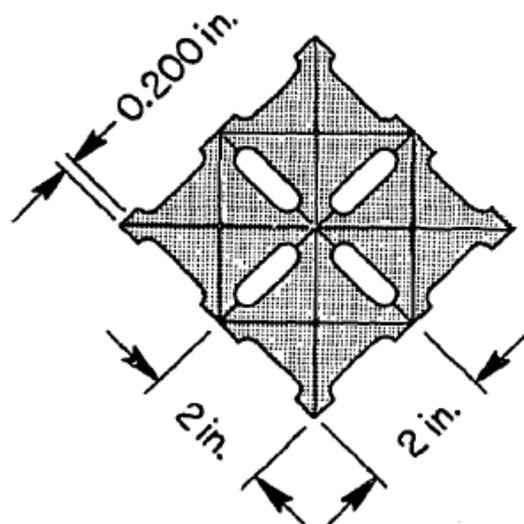
Tabel 1. Parameter desain dan operasi reaktor MSRE (10)

Parameter	MSRE
Daya termal reaktor, MW	8
Bahan bakar, (% mol)	- Tipe 1: LiF-BeF <sub>2</sub> -ZrF <sub>4</sub> -ThF <sub>4</sub> -UF <sub>4</sub> (64-31-0-4-1) - Tipe 2: LiF-BeF <sub>2</sub> -ZrF <sub>4</sub> -ThF <sub>4</sub> -UF <sub>4</sub> (64-31-4-0-1) - Tipe 3: LiF-BeF <sub>2</sub> -ZrF <sub>4</sub> -ThF <sub>4</sub> -UF <sub>4</sub> (70-23-5-1-1)
Komposisi bahan bakar Th, % mol	70-23-5-1-1
Pengkayaan U-235,%	93
Teras Reaktor	
Diameter (D), m	1,4097
Tinggi (H), m	1,626
Kerapatan panas rerata, MW/m <sup>3</sup>	14
Temperatur inlet, °C	635
Temperatur outlet, °C	~ 663
ΔT, °C	28
Tekanan, MPa	0,3
Sistem primer	
Laju alir, kg/detik	173



Gambar 1. Bejana dan teras reaktor MSRE (10)

Gambar 2 menyajikan celah diantara kisi bahan bakar untuk tempat mengalirnya bahan bakar garam. Ada sebanyak 1.140 celah bahan bakar yang terdapat dalam teras.



Gambar 2. Celah aliran bahan bakar di antara kisi moderator grafit (10)

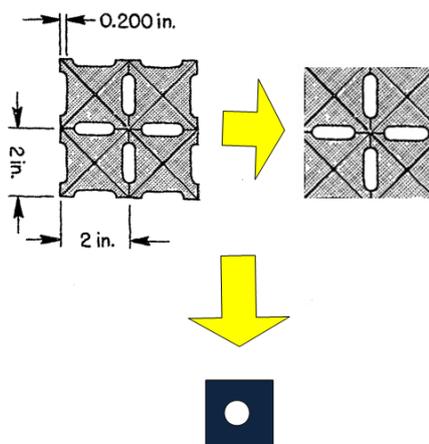
## METODOLOGI

Bahan bakar yang digunakan dalam desain reaktor garam cair berdaya kecil adalah berbasis natrium (Na). Bahan bakar ini dipilih untuk menghindari timbulnya tritium (T) yang banyak seperti yang terjadi di reaktor MSRE. Bahan bakar garam berbasis lithium (Li) digunakan di reaktor MSRE telah menghasilkan T yang sangat besar dari 2 isotop Li,  ${}^6\text{Li}$  dan  ${}^7\text{Li}$ . Nuklida  ${}^6\text{Li}$  jika bereaksi dengan neutron akan menimbulkan T, begitu juga  ${}^7\text{Li}$  dengan energi neutron dapat menimbulkan T. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaktor MSR

melepaskan T sebesar 2.500 Ci untuk setiap 1 hari operasi daya penuh (8 MW<sub>day</sub>) atau sebanyak 95 g T dalam setahun (14). Jumlah ini sangat tinggi, jauh melebihi dibanding reaktor yang beroperasi saat ini. Penggunaan Na sebagai pengganti Li akan mengurangi sangat signifikan jumlah T.

Bahan bakar garam yang digunakan dalam penelitian ini adalah U-235 berpengkayaan rendah serta memakai torium. Komposisi %molar masing-masing penyusun bahan bakar garam NaF-BeF<sub>2</sub>-ThF<sub>4</sub>-UF<sub>4</sub> adalah 76-12-9,5-2,5. Komposisi ini diambil dari desain TMSR500 (11). Perhitungan sel bahan bakar garam cair, *k-inf*, dilakukan dengan paket program WIMSD-5B, yaitu menggunakan langkah perhitungan sebagai berikut:

1. Sel bahan bakar yang tersusun seperti Gambar 2 dibuat menjadi ¼ bagian dengan saluran bahan bakar berbentuk silinder dengan grafit berbentuk bujur sangkar, seperti terlihat pada Gambar 3..



Gambar 3. Sel bahan bakar garam

2. Sel kisi grafit memiliki sisi sebesar 4,572 cm dengan jari-jari celah bahan bakar sebesar 1,153576 cm. Jari-jari ini untuk fraksi volumen bahan bakar 0,2.
3. Fraksi bahan bakar divariasi masing-masing untuk 0,20, 0,22, 0,24, 0,26, 0,28, 3,0, 4,0 dan 5,0. Tabel 2 menyatakan jari-jari celah bahan bakar untuk masing-masing fraksi volume bahan bakar. Rentang variasi disekitar 0,20 -0,30 dibagi 5 mengingat fraksi volume bahan bakar di MSRE adalah 0,225. Sebagai catatan, fraksi bahan bakar adalah perbandingan volume bahan bakar dan volume total sel, dengan volume sel adalah jumlah volume bahan bakar dan moderator.

Tabel 2. Nilai fraksi volume dan jari-jari celah bahan bakar untuk masing-masing kasus

	Fraksi volume	Jari-jari, cm
Kasus-1	0,2	1,15358
Kasus-2	0,22	1,20988
Kasus-3	0,24	1,26368
Kasus-4	0,26	1,31528
Kasus-5	0,28	1,36493
Kasus-6	0,3	1,41284
Kasus-7	0,4	1,63140
Kasus-8	0,5	1,82396

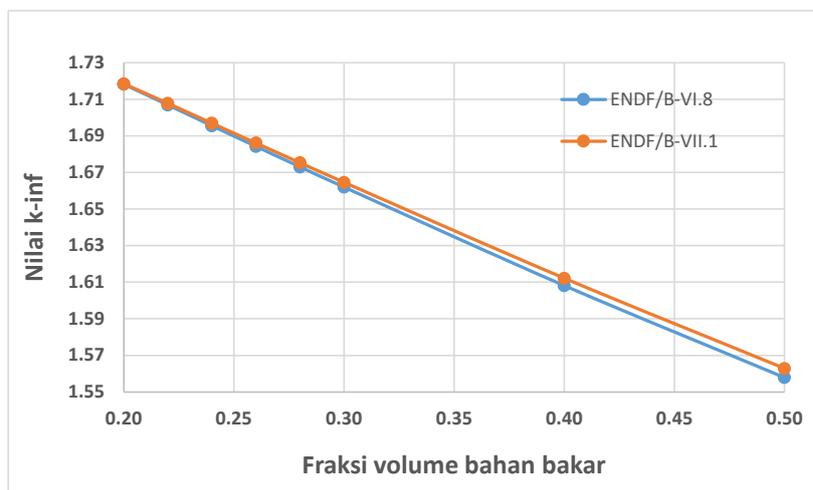
4. Perhitungan sel dilakukan dengan 69 kelompok energi neutron untuk setiap fraksi volume bahan bakar, masing-masing dengan data nuklir ENDF/B-VI.8 dan -VII.1.
5. Hasil perhitungan dinyatakan dalam prosentase perbedaan relatif, selisih nilai kedua data nuklir dibagi dengan nilai dari ENDF/B-VII.1

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 dan Tabel 3 menyajikan nilai *k-inf* untuk setiap kasus fraksi volume bahan bakar garam NaF-BeF<sub>2</sub>-ThF<sub>4</sub>-UF<sub>4</sub>. Tampak jelas untuk setiap data nuklir, peningkatan fraksi volume bahan bakar akan menurunkan nilai *k-inf*. Hal ini menunjukkan bahwa kritikalitas reaktor berkurang dengan berkurangnya volume moderator grafit di teras. Besarnya penurunan nilai *k-inf* untuk setiap peningkatan fraksi volume ( $\Delta f_{vol}$ ) bahan bakar adalah -3,47 dan -3,49 ( $\Delta k_{-inf}/\Delta f_{vol}$ ) masing-masing untuk data nuklir ENDF/B-VI.8 dan -VII.1. Hal ini menunjukkan bahwa besarnya penurunan nilai *k-inf* hampir sama untuk kedua data nuklir tersebut.

Tabel 3. Perhitungan nilai *k-inf* untuk setiap fraksi volume bahan bakar garam

	Fraksi volume bahan bakar	<i>k-inf</i>		Perbedaan relatif (%)
		ENDF/B-VI.8	ENDF/B-VII.1	
Kasus-1	0,20	1,71819	1,71847	-0,016
Kasus-2	0,22	1,70689	1,70776	-0,051
Kasus-3	0,24	1,69550	1,69688	-0,082
Kasus-4	0,26	1,68423	1,68607	-0,109
Kasus-5	0,28	1,67304	1,67528	-0,134
Kasus-6	0,30	1,66196	1,66457	-0,157
Kasus-7	0,40	1,60814	1,61218	-0,251
Kasus-8	0,50	1,55788	1,56289	-0,320



Gambar 4. Hubungan nilai *k-inf* terhadap fraksi volume bahan bakar

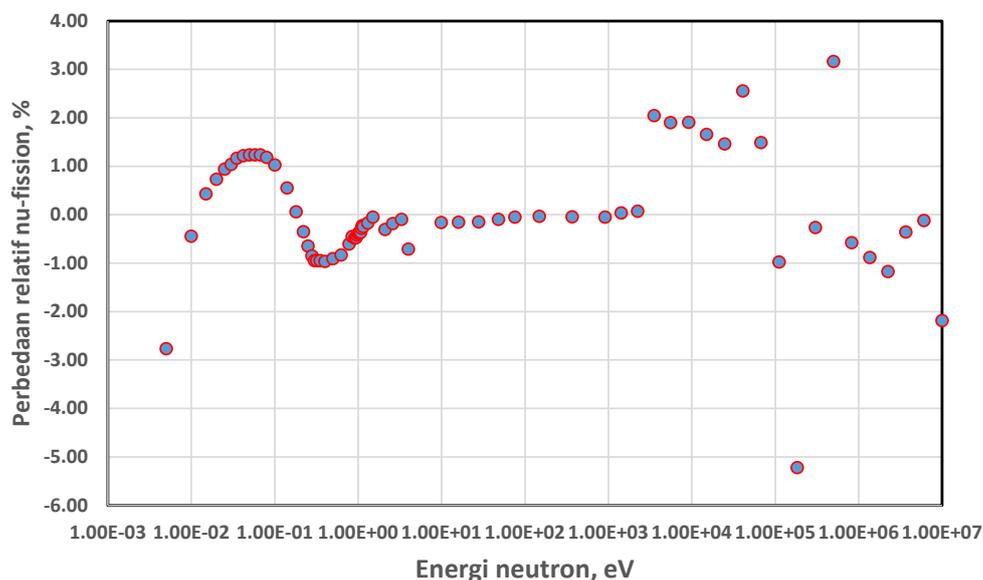
Hasil perhitungan sel menunjukkan bahwa nilai *k-inf* untuk fraksi volume bahan bakar 0,9 adalah sebesar 1,39848 (ENDF/B-VII.1). Hal ini menunjukkan bahwa komposisi bahan bakar NaF-BeF<sub>2</sub>-ThF<sub>4</sub>-UF<sub>4</sub> dengan %molar masing-masing 76-12-9,5-2,5 masih dapat dioptimasi untuk mengurangi biaya bahan bakar dan massa U-235 diperkaya, dengan cara:

- mengurangi % molar U-235 akan tetapi mempertahankan pengkayaan U-235, atau
- mengurangi pengkayaan U-235 akan tetapi mempertahankan % molar U-235, atau
- mengurangi % molar dan pengkayaan U-235.

Perbedaan relatif kedua data nuklir tersebut akan meningkat dengan bertambahnya fraksi volumen bahan bakar garam (Tabel 3). Hal ini menunjukkan bahwa untuk nuklida grafit, kedua data nuklir tidak memiliki perbedaan yang besar. Akan tetapi, data nuklir untuk nuklida penyusun bahan bakar memiliki perbedaan yang besar, sehingga saat fraksi volume bahan bakar meningkat maka perbedaan relatif kedua data nuklir meningkat.

Hasil perhitungan sel menunjukkan perbedaan kedua data nuklir didominasi oleh nuklida U-235 terutama pada tampang lintang nu-fission ( $\nu\Sigma_f$ ). Gambar 5 menunjukkan bahwa perbedaan kedua data nuklir terjadi pada daerah termal dan cepat. Perbedaan yang maksimum terdapat pada daerah cepat. Jika fraksi volume bahan bakar dinaikkan, mengakibatkan efek nuklida U-235 semakin besar untuk berkontribusi pada nilai perbedaan

relatif yang besar. Demikian juga, berkurangnya grafit membuat spektrum neutron sel bahan bakar garam bergeser ke energi cepat sehingga mengakibatkan perbedaan relatif kedua data semakin besar.



Gambar 5. Perbedaan relatif  $\nu$ -fission ( $\nu\Sigma_f$ ) (%) vs energi neutron (eV)

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa efek data nuklir WIMS akan meningkat jika fraksi volume bahan bakar ditingkatkan. Perbedaan kedua data nuklir terjadi pada nuklida U-235 yaitu pada energi neutron termal dan cepat. Dimensi dan komposisi sel bahan bakar yang dipilih telah memenuhi kriteria keselamatan, karena saat fraksi volume bahan bakar meningkat maka nilai  $k_{inf}$  menurun. Meskipun demikian optimalisasi sel bahan bakar perlu dilakukan dalam penelitian selanjutnya,

## UCAPAN TERIMA KASIH

Seluruh kegiatan penelitian, mulai dari perhitungan, pengolahan data sampai dengan penulisan makalah, sebagian besar dilakukan penulis pertama (kontributor utama) dengan bantuan 2 kontributor lainnya. Penelitian ini dilakukan di PKSEN-BATAN dalam kegiatan DIPA PKSEN Tahun Anggaran 2019.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad SUI, Ahmad N. Effect of updated WIMSD libraries on neutron energy spectrum at irradiation site of Pakistan Research Reactor-1 using 3D modeling. *Ann Nucl Energy*. 2005;32(5):521–48.
- [2] Azande TS, Balogun GI, Ajuji AS, Jonah SA, Ahmed YA. The use of WIMS and CITATION codes in fuel loading required for the conversion of HEU MNSR core to LEU. *Ann Nucl Energy*. 2010;37(9):1223–8.
- [3] Benaalilou K, El Bardouni T, Boulaich Y, El Yaakoubi H, Chham E, Lahdour M. Modeling and simulation of a TRIGA MARK-II research reactor using WIMSD-5B and CITATION codes. *Appl Radiat Isot*. 2019;148:64–75.
- [4] Hedayat A. Conceptual analyses of neutronic and equilibrium refueling parameters to develop a cost-effective multi-purpose pool-type research reactor using WIMSD and CITVAP codes Loss of Flow Accident Loss of Coolant Accident. *Nucl Eng Des*. 2016;309:236–53.
- [5] Lindley BA, Hosking JG, Smith PJ, Powney DJ, Tollit BS, Newton TD, et al. Current status of the reactor physics code WIMS and recent developments. *Ann Nucl Energy*. 2017;102:148–57.
- [6] IAEA. WIMS-D Library Update. Vienna, Austria: IAEA; 2007. 1–302 p.
- [7] Marck SC Van Der. Benchmarking ENDF/B-VII.1, JENDL-4.0 and JEFF-3.1.1 with MCNP6. *Nucl Data Sheets*. 2012;113(12):2935–3005.

- [8] Kahler AC, MacFarlane RE, Mosteller RD, Kiedrowski BC, Frankle SC, Chadwick MB, et al. ENDF/B-VII.1 Neutron Cross Section Data Testing with Critical Assembly Benchmarks and Reactor Experiments. Nucl Data Sheets. 2011;112(12):2997–3036.
- [9] Mosteller R. Comparison of ENDF / B-VII . 1 and ENDF / B-VII . 0 Results for the Expanded Criticality Validation Suite for MCNP and for Selected Additional Criticality Benchmarks. Nucl Data Sheets. 2014;118:442–5.
- [10] Tadepalli SC, Gupta A, Umasankari K. Neutronic analysis of MSRE and its study for validation of ARCH code. Nucl Eng Des. 2017;320:1–8.
- [11] J. Devanney LJ et al. ThorCon Executive Summary. 2015. Available from: [http://thorconpower.com/docs/exec\\_summary2.pdf](http://thorconpower.com/docs/exec_summary2.pdf)
- [12] International Atomic Energy Agency. Advances in Small Modular Reactor Technology Developments. 2014. 150 p.
- [13] Kasten PR, Molten-salt RBB, Rosenthal MW, Kasten PR, Briggs RB. Molten-Salt Reactors—History, Status, and Potential. Nuc App Tech. 1969. 8(2): 107-117.
- [14] Busby J, Garrison L, Lin L, Raiman S, Silva C, Wang H. Technical Gap Assessment for Materials and Component Integrity Issues for Molten Salt Reactors. 2019.

#### **DISKUSI/TANYA JAWAB**

**1. PERTANYAAN (Khairul Handono-PRFN BATAN):**

Sudah ada tidak kajian tetap LOCA?

**JAWABAN:**

Kejadian LOCA diantisipasi dengan turunnya bahan bakar cair ke tangka tamping yang ada di sistem primer dan sekunder,

**2. PERTANYAAN (Khairul Handono-PRFN BATAN):**

Material apa untuk bisa menahan korosif dan garam?

**JAWABAN:**

Material reaktor yang tahan terhadap garam terbuat dari Inconel, akan tetapi manajemen material dapat di wakili dengan pengantiannya.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## PRODUKSI BIODIESEL PADA MINI PLANT DENGAN PEMANAS AIR SURYA MENGGUNAKAN KATALIS HOMOGEN

Syaifurrahman, Usman A. Gani, Rinjani R. R., Muaddina  
Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Dr H. Hadari Nawawi, Pontianak, 78124  
email: [syaifur\\_rahman@yahoo.com](mailto:syaifur_rahman@yahoo.com)

### ABSTRAK

**PRODUKSI BIODIESEL PADA MINI PLANT DENGAN PEMANAS AIR SURYA MENGGUNAKAN KATALIS HOMOGEN.** Energi baru terbarukan biodiesel dapat diperoleh dari reaksi transesterifikasi minyak nabati berkatalis pada suhu 45-60°C. Kebutuhan panas untuk reaksi dapat diperoleh dari energi panas matahari. Kalimantan Barat dilalui Garis Khatulistiwa dimana matahari bersinar selama 10-15 jam/hari. Produksi Minyak Kelapa Sawit mencapai 2,2 juta ton di Kalimantan Barat menjadikan biodiesel berpotensi besar untuk dihasilkan. Implementasi dari gagasan di atas yaitu berupa teknologi *mini plant* dengan pemanas air surya untuk produksi biodiesel. Pemanas surya sebagai sumber energi panas air digunakan sebagai fluida pemanas pada reaktor di mini plant. Teknologi ini sederhana, tanpa memerlukan energi listrik, biaya operasi murah dan ramah lingkungan. Tujuan penelitian memproduksi biodiesel dengan menggunakan katalis homogen 1% KOH di mini plant dengan pemanas air surya. Pemanas surya dirancang bertipe datar dengan media pemanas berupa air. Pemanas surya yang mampu menghasilkan air bersuhu 65°C ini terdiri dari kolektor panas dan tangki penampung air yang terbuat dari bahan *stainless steel* dan polistiren sebagai isolator. Reaksi transesterifikasi dilakukan selama 1 jam pada suhu 60°C menggunakan katalis 1%- massa KOH. Biodiesel yang diperoleh 94,88%, memenuhi syarat sesuai SNI dalam variabel Angka Asam yaitu 0,21 mg KOH/g dan kadar metil ester sebesar 98,26%.

Kata kunci: biodiesel, khatulistiwa, homogen, metil ester, transesterifikasi.

### ABSTRACT

**MINI BIODIESEL PLANT WITH SOLAR WATER HEATING SYSTEM USING HOMOGEN CATALYST.** New renewable energy, biodiesel can be generated by the catalytic vegetable oil- transesterification at 45-60°C. The heat requirement for a reaction can be obtained from solar thermal energy. West Kalimantan is crossed by the Equator where the sun shines for 10-15 hours / day. Palm Oil Production reaches 2.2 million tons making biodiesel has great potential to be produced. Implementation from the ideas is mini plant technology with solar water heaters for biodiesel production. Solar water heaters as a source of thermal energy are used as heating fluid in reactor plant. This technology is simple, without the need for electrical energy, low operating costs and environmentally friendly. The purpose of this research is to produce biodiesel by using a homogeneous catalyst of 1% KOH in a mini plant with solar water heaters. Solar heaters are designed flat which is capable of producing hot water at 60°C, consists of a heat collector and a water storage tank made of stainless steel and polystyrene as an insulator. Transesterification is carried out for 1 hour at 65°C using homogenous catalyst of 1% - KOH mass. The biodiesel yield obtained 94,88%, fulfills the requirements according to SNI in the Acid Number which is 0.21mg KOH/g and the Methyl Ester content is 98.26%.

Keyword: biodiesel, equator, homogeneous, methyl ester, transesterification.

### PENDAHULUAN

Mandatori program B20 adalah Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 12 Tahun 2015 tentang penyediaan Pemanfaatan dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (*Boifuel*) sebagai bahan bakar lain. Program B20 adalah program Pemerintah untuk mewajibkan pencampuran 20% biodiesel dengan 80% bahan bakar minyak jenis solar. Program ini mulai diterapkan sejak Januari 2016.

Biodiesel merupakan energi baru terbarukan yang ramah lingkungan, diperoleh dari proses transesterifikasi minyak nabati dengan metanol menggunakan katalis homogen KOH. Biodiesel dari minyak kelapa sawit memiliki nilai kalor yang tinggi yaitu 37-38 MJ/Kg mendekati nilai kalor solar (41 MJ/Kg). Pembakaran biodiesel lebih sempurna dan efisien

dibanding diesel dan gasoline dari bahan bakar fosil. Hal ini disebabkan karena pembakaran biodiesel tidak menghasilkan gas hujan asam ( $\text{SO}_2$  dan  $\text{NO}_2$ ) dan hanya sedikit polutan  $\text{CO}$ , jelaga, dan hidrokarbon polisiklik aromatik yang bersifat karsinogenik (Wesley, 2006).

Berdasarkan data Statistika Perkebunan pada tahun 2016, Kalimantan Barat masih mendominasi hasil produksi minyak kelapa sawit. Total produksi minyak kelapa sawit hasil lahan perkebunan rakyat, pemerintah maupun pihak swasta sebesar 2,2 juta ton. Data Ditjen Listrik dan Pengembagan Energi menyatakan bahwa kapasitas terpasang listrik tenaga surya di Indoensia mencapai 0,88 MW dari potensi yang tersedia  $1,1 \times 10^9$  MW. Produksi biodiesel melalui proses transesterifikasi dapat menggunakan pemanas yang bersumber energi terbarukan sinar matahari. Implementasi dari ide di atas adalah teknologi pemanas surya dengan medium pemanas adalah air. Pemanas air surya bertipe datar memiliki 2 bagian, yaitu panel kolektor dan tangki penyimpanan yang saling terhubung dengan dua pipa. Pada panel kolektor yang ditutup oleh kaca, didalamnya terdapat serangkaian pipa tembaga sebagai jalannya air dengan sirip-sirip sebagai penyerap panas. Tangki penyimpanan untuk menyimpan air setelah dipanaskan agar panasnya bertahan lama. Panel harus berjarak dekat dengan tangki air.

Tujuan penelitian ini adalah Produksi Biodiesel menguankan mini plant dengan pemanas air surya. Parameter yang diuji adalah nilai kadar metil ester biodiesel yang dihasilkan sebagai indikator keberhasilan konversi reaksi. Aplikasi teknolog ini diharapkan dapat mendukung mandatori Pemerintah dan masyarakat mandiri dalam memenuhi kebutuhan bahan bakar, khususnya masyarakat perbatasan yang sering terjadi krisis bahan bakar. Selain itu pula, pemanfaatan teknologi ini dapat mengurangi ketergantungan masyarakat terhadap kebutuhan bahan bakar fosil.

## TEORI

### Proses Pengolahan Biodiesel

Transesterifikasi adalah proses konversi trigliserida menjadi alkil ester/biodiesel melalui reaksi dengan alkohol dan menghasilkan produk samping yaitu gliserin. Alkohol yang sering digunakan sebagai sumber gugus alkil adalah methanol.

### Teknologi Pemanas Panel Surya Pasif

Alat ini hanya murni mengandalkan panas matahari dan tidak menggunakan listrik. Komponen pendukung alat ini terdiri 2 bagian, yaitu panel kolektor dan tangki penyimpanan yang saling terhubung dengan dua pipa. Pada panel kolektor yang ditutup oleh kaca, didalamnya terdapat serangkaian pipa tembaga sebagai jalannya air dengan sirip-sirip sebagai penyerap panas. Tangki penyimpanan untuk menyimpan air setelah dipanaskan agar panasnya bertahan lama. Panel harus berjarak dekat dengan tangki air.

Panel surya dapat digunakan sebagai pemanas penghasil kukus untuk kebutuhan *steam reforming* gas alam dan pembangkit listrik tenaga uap. Suhu kukus yang dapat dicapai berkisar 550oC (Philibert Cedric, 2011).

### Mobile Biodiesel Plant

Proses dan dilanjutkan ke tangki penampungan biodiesel. Sistem ini dilengkapi dengan aliran balik dan unit pemurnian gliserin sebesar 95% (Keady, 2007). Penggunaan pemanas panel surya telah diujicoba dan diterapkan beberapa negara berkembang. Kebutuhan panas yang dihasilkan dari panel surya untuk reaksi transesterifikasi dan penguapan air sisa pengeringan disuplai dari panel berukuran 4m<sup>2</sup> untuk kapasitas 19 liter/hari (Wesley, 2006)

## METODOLOGI

Tahapan dalam proses produksi biodiesel secara berurutan yaitu:

### 1. Pemanas Air Surya

Pemanas air surya diisi air dengan volume 20 Liter. Arahkan mini plant ke area yang terpapar radiasi matahari secara optimal hingga indikator temperatur menunjukkan suhu 60°C.



Gambar 1. Mini Biodiesel Plant dengan Pemanas Air Surya

## 2. Persiapan Bahan Baku

Syarat bahan mentah minyak kelapa sawit yaitu memiliki angka asam  $<1$  atau  $0.5\%$ -b minyak dan kadar air  $< 0.3\%$ -b. Metode penyingkiran air dengan dalam minyak kelapa sawit

- ✚ Uapkan fasa akuatik/alkohol, adsorpsi air (*molecular sieves*)
  - ✚ Adsorpsi air dengan garam anhidrat yang membentuk padatan berhidrat ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaSO}_4$ )
  - ✚ Ekstraksi air dengan suatu cairan penyeret (*entraining agent*) gliserol, etilen glikol
- Metanol yang digunakan harus murni dan kering. Kandungan air yang terdapat dalam metanol menyebabkan basa yang digunakan sebagai katalis akan habis bereaksi menjadi sabun selama proses transesterifikasi berlangsung.

Katalis Basa KOH yang digunakan harus kering dan murni. KOH merupakan komponen yang bersifat higroskopis sehingga dibutuhkan wadah penyimpanan yang kering dan tertutup serta terhindar dari sinar matahari secara langsung.

## 3. Proses Transesterifikasi

Sebelum dilakukan proses transesterifikasi, minyak kelapa sawit terlebih dahulu dipanaskan pada suhu  $60-65^\circ\text{C}$  untuk selama 1-1,5 jam untuk melepaskan/menguapkan air yang terkandung didalamnya. Transesterifikasi menggunakan katalis basa KOH Minyak dimasukkan ke dalam tangki transesterifikasi, direaksikan dengan metanol dan katalis NaOH sambil diaduk sehingga suhu  $65^\circ\text{C}$  hingga  $\pm 1$  jam. Pemanas dimatikan dan pindahkan hasil reaksi ke tangki pemisah gliserin. Diamkan hingga terbentuk dua fasa yaitu fasa atas (biodiesel) dan fasa bawah gliserin). Buang fasa bawah.

## 4. Proses Pencucian

Pencucian dilakukan untuk menghilangkan pengotor yaitu sisa-sisa katalis, metanol, air dan gliserin. Metode pemurnian paling sederhana dan hemat adalah dengan menggunakan air. Air dan produk biodiesel diaduk dalam tangki pencucian selama 30 menit sebanyak 5 kali, massa air pencucian sebanyak  $10\%$ -b biodiesel. Pengotor akan terbawa bersama air. Jika pH air hasil cuci sudah netral berarti pencucian telah selesai. Biodiesel kemudian dialirkan ke tangki pemisah air.

## 5. Proses Pemurnian

Biodeisel beserta campuran air dari tangki pencucian kemudian didiamkan selama 30 menit untuk memisahkan fasa bawah yaitu berupa air hasil cucian yang mengandung pengotor terlarut. Fasa atas merupakan biodiesel yang telah kering. Akan tetapi sebelum digunakan, produk biodiesel yang dihasilkan harus dianalisis terlebih dahulu. Untuk menentukan kelayakan produk.

## 6. Uji Biodiesel

Uji analisis yang dilakukan adalah parameter angka asam, gliserol bebas dan kadar metil ester.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Hasil Uji Mini Biodiesel Plant

Bahan yang digunakan untuk membuat pemanas air surya merupakan material yang ringan, ekonomis serta mudah diperoleh. Spesifikasi pemanas air surya tipe *thermosyphone* disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi pemanas air surya

Bagan	Bahan	Dimensi (pxl) cm
Tangki penyimpanan air	Tabung: Stainless steel Isolator : Polistiren	70 x 7,62
Pipa kolektor	Stainless steel	70 x 2,5
Penutup	Kaca akrilik	70 x 100
Absorber	Polistiren hitam	70 x 100
Pipa aliran	Stainless steel	150 x 2,5

Pemanas air surya yang dirancang terdiri dari surya kolektor dan tangki penyimpanan air. Surya kolektor terdiri atas beberapa bagian yaitu:

1. Pipa perpindahan panas dibuat dari bahan *stainless steel* sehingga dapat mengurangi laju korosi dan panas dapat diserap dengan baik oleh pipa.
2. Penutup luar dibuat dari bahan kaca akrilik, sehingga dapat mengoptimalkan energi surya yang diserap.
3. Lapisan hitam dibuat dari bahan polistiren yang dicat hitam dimaksudkan untuk meningkatkan penyerapan energi panas oleh air dalam pipa pada pemanas air surya (emitivitas lapisan hitam = 1).



Gambar 2. Pemanas air surya tipe *thermosyphone*

Tangki penyimpanan air dibuat dari bahan *stainless steel* dan lapisan isolator yang terdiri dari busa dan *aluminium foil*. Lapisan isolator diharapkan dapat meredam panas air sehingga mengurangi energi panas yang hilang ke lingkungan. Air dalam pipa menyerap panas dari matahari sehingga temperatur air naik. Perbedaan densitas antara air panas dan air dingin, sehingga air panas mengalir ke atas dan air dingin mengalir ke bawah. Air panas kemudian dialirkan ke reaktor biodiesel. Hal ini berkelanjutan sehingga membentuk sirkulasi. Sehingga tanpa bantuan tenaga pompa air dapat mengalir.

Temperatur maksimal air yang dicapai adalah 65 °C. Beberapa hal yang dapat mempengaruhi tidak optimumnya temperatur air yang diperoleh adalah:

1. Sinar matahari yang menyinari bumi tidak stabil selama waktu percobaan
2. Panas yang diserap dan tersimpan di reaktor sebagian hilang ke lingkungan (*Q loss*).

## 2. Hasil Uji Biodiesel

Biodiesel yang dihasilkan dengan menggunakan katalis KOH 1 %-massa memiliki yield sebesar 94,88%. Perolehan ini dapat ditingkatkan dengan memperbaiki proses pencucian dan pemisahan. Parameter penting yang mendukung keberhasilan reaksi adalah angka kasam dan kadar metil ester.

Tabel 2. Data Hasil Uji Biodiesel

Parameter	Satuan	Katalis 1%	Syarat Mutu SNI	Metode
Kadar Metil Ester	%- massa	98.26	96,5 min	SNI 7182:2015
Angka penyabunan	mg KOH/g	175.51	-	SNI 7182:2015
Total Acid Number	mg KOH/g	0.21	0,5 mak	ASTM D 664
Gliserol Total	%- massa	0.22	0,24 mak	SNI 7182:2015

Berdasarkan hasil uji diperoleh biodiesel yang dihasilkan memenuhi persyaratan mutu SNI dengan nilai kadar metil ester sebesar 98,26%.

## KESIMPULAN

Biodiesel yang dihasilkan di *mini plant* dengan pemanas air surya dengan katalis KOH 1%-massa menghasilkan yield sebesar 94,88% dengan kadar metil ester memenuhi standar mutu SNI yaitu sebesar 98,26%.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001. *The Climate System: an Overview*, in *Climate Change 2001: The Scientific Basis, Report from Working Group I*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [2] Italy: Energy and Sustainable Economic Development.
- [3] Keady John P. 2007. *Devices and Methods of Automated Mobile BioDiesel Production*.
- [4] NBB. 2005. *Production and Testing of Ethyl and Methyl Esters*. National Biodiesel Board.
- [5] Patent No.US20070240362 A.1. Anmeldung
- [6] Philibert, Cedric. 2011. *Solar Energi Perspectives, Renewable Energi Technologies*, French: International Energi Agency.
- [7] SSI. 2015. *Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Jakarta: Solar Surya Indonesia.
- [8] Statistik Perkebunan Indonesia. 2014. *Kelapa Sawi Palm Oil*. Jakarta: Direktorat Jenderal Perkebunan.
- [9] Tarquini, Pietro. 2011. *Hydrogen and Fuels Production by Solar Thermochemical Cycle*.
- [10] Wasley. 2015. *Design of a Small-Scale Biodiesel Plant*. Bellairs Research Institute: McGill University.
- [11] Weiss W. 2011. *Solar Thermal, State of the art, Application Areas and Preview of Technology Development*, presentation at the IEA Solar Heating and Cooling RoadmapWorkshop, 28-29 April, Paris

HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN

---

# **KELOMPOK B1**

---



## ANALISIS DEKOMPOSISI DATA TEMPERATUR UDARA DI PULAU BANGKA

Sunarko, Denissa B. Syahna, Slamet Suryanto, Imam Hamzah  
BATAN, Jl. Kuningan Barat, Jakarta Selatan 12070  
email: sunarko@batan.go.id

### ABSTRAK

**ANALISIS DEKOMPOSISI DATA TEMPERATUR UDARA DI PULAU BANGKA.** Analisis dekomposisi dilakukan untuk data temperatur udara di stasiun pengamatan di calon tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Pulau Bangka. Data temperatur didapatkan dari stasiun pengamatan pada ketinggian 10 meter selama periode 2012-2016 menggunakan stasiun cuaca otomatis (*Automatic Weather Station - AWS*) yang mencatat data dengan interval satu jam. Data yang telah dilakukan pemilahan, interpolasi dan pererataan selanjutnya diolah menggunakan metode dekomposisi dan uji statistik untuk mendapatkan parameter trend, siklus, dan residual serta stasioneritas. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa pada periode Maret 2012 hingga Juli 2016, pola temperatur udara berada pada kategori stasioner dan fenomena pemanasan global tidak tercermin dari data. Data temperatur udara bulanan di pulau Bangka tidak menunjukkan beda temperatur rerata yang signifikan dari tahun ke tahun dan temperatur rerata yang relatif lebih tinggi tercatat pada sekitar bulan Mei dan Juni. Catatan temperatur yang dianggap sebagai *outliers* kebanyakan berada dibawah batas rerata temperatur minimum.

**Kata kunci:** dekomposisi, stasioneritas, siklus, outliers.

### ABSTRACT

**DECOMPOSITION ANALYSIS OF AIR TEMPERATURE DATA IN BANGKA ISLAND.** *Decomposition analysis is performed for air temperature data from weather station in Nuclear Power Plant (NPP) candidate site in Bangka Island. Air temperature data at the height of 10 meters is obtained from an hourly record using an Automatic Weather Station (AWS). Data preprocessing is performed by selecting, interpolating and averaging and then analyzed using decomposition method and statistical tests to obtain stationerity, periodicity and residual parameters as well as stationerity. The result of analysis shows that within the March, 2012 to July, 2016 monitoring period, the air temperature pattern is categorized as stationer. Significant yearly change in average air temperature is not apparent and the manifestation of global warming phenomena cannot be clearly identified from the data. In Bangka Island, there is no significant average air temperature difference within one-year period and relatively high average air temperature can be identified in the months of May and June. Outliers in the air temperature data are mostly below the lowest average temperature.*

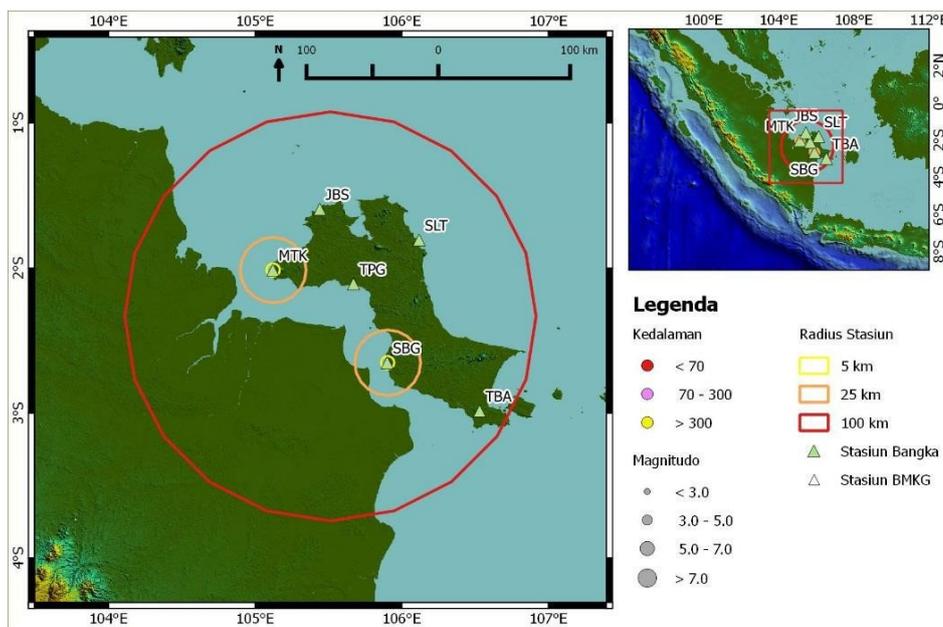
**Keyword:** *decomposition, stationerity, cycle, outliers*

### PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara berkembang dengan populasi yang tumbuh dengan laju sekitar 1,08% dan pada tahun 2030 akan mencapai 294,1 juta [1] dengan laju pertumbuhan ekonomi yang diperkirakan juga cukup tinggi, yaitu pada angka sekitar 5%. Pertumbuhan kebutuhan energi, khususnya listrik, juga diproyeksikan akan tinggi dan mencapai rata-rata sekitar 7,1% hingga tahun 2050 [2]. Untuk mengantisipasi pertumbuhan kebutuhan listrik, pemerintah telah mencanangkan program pembangunan pembangkit listrik 35.000 MW. Sebagian besar dari pembangkit yang akan dibangun adalah pembangkit energi berbahan-bakar fosil, yang masih akan menjadi komponen bauran energi utama Indonesia dan menghasilkan emisi gas rumah kaca.

Dalam rangka kegiatan pemanfaatan penelitian dan pengembangan di bidang iptek nuklir, telah dilakukan evaluasi tapak PLTN di Pulau Bangka yang berlangsung pada periode tahun 2011 sampai dengan 2013 untuk mengevaluasi tingkat keselamatan/kemanan daerah tersebut dari sisi bahaya eksternal alamiah apabila dibangun PLTN. Sebagai hasilnya telah ditentukan dua lokasi calon tapak PLTN di Pulau Bangka, yaitu Pantai Tanah Merah-Teluk Menggris, Kabupaten Bangka Barat dan Tanjung Berani-Tanjung Kerasak Desa Sebagian di

Kabupaten Bangka Selatan. Paska kegiatan evaluasi tapak tersebut, pemantauan di calon tapak PLTN tetap dilakukan hingga tahun 2019 ini, utamanya untuk aspek kegempaan (gempa mikro) dan meteorologi, untuk mengumpulkan data spesifik tapak sebanyak mungkin yang kemudian disusun dalam sebuah pangkalan data tapak yang merupakan penyusun utama dari Laporan Data Tapak (*Site Data Report – SDR*). Data meteorologi diperoleh dari menara pemantauan berketinggian hingga 80 meter menggunakan *Automatic Weather Station (AWS)* yang mencatat setiap parameter meteorologi setiap 1 jam. Data spesifik tapak (*site specific data*) sebagaimana dalam SDR sendiri disyaratkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) [4] dan Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency, IAEA*) [5] untuk diperoleh dan dikumpulkan sebagai bahan masukan evaluasi tapak.



Gambar 1. Stasiun Pemantau Meteorologi di Pulau Bangka (dengan kode MTK dan SBG)

Tabel 1. Lokasi Stasiun Pemantau Meteorologi

No	Nama Daerah	Lintang	Bujur
1	Muntok	2° 0' 55,836" LS	105° 7' 11,892" BT
2	Sebagin	2° 38' 3,523" LS	105° 53' 32,317" BT

Tulisan ini bertujuan untuk meninjau bagaimanakah perilaku temperatur udara di beberapa titik pantau di pulau Bangka dalam rentang waktu pemantauan antara bulan Maret 2012 hingga Juli 2016, terutama untuk mengetahui apakah terdapat kecenderungan tertentu terhadap nilai yang dipantau serta parameter-parameter lainnya yang perlu diperhatikan terkait aspek keselamatan tapak bagi PLTN di beberapa lokasi di Pulau Bangka ini.

## POKOK BAHASAN

Suatu *trend* atau kecenderungan dapat diamati ketika secara grafik terlihat adanya pelerengan yang menandakan peningkatan atau penurunan dari nilai yang diamati dalam *time-series* (t-s) dalam jangka panjang. Indikasi musiman atau siklik dapat pula diamati ketika terdapat pola berulang dalam interval tetap tertentu karena faktor musim yang dapat berupa harian, mingguan dan bulanan atau periode waktu lainnya.

Data meteorologi dapat dikategorikan sebagai data t-s, yang besaran nilai pengukurannya bergantung pada waktu, sehingga teknik analisis t-s dapat diterapkan untuk mendapatkan beberapa indikator seperti kecenderungan (*trend*), siklus dan nilai residual melalui proses dekomposisi [6], baik secara aditif maupun multiplikatif. Dalam tulisan ini, analisis dekomposisi dilakukan untuk parameter temperatur udara yang diperoleh dari kegiatan pemantauan meteorologi di Pulau Bangka, yaitu di daerah Muntok, Kabupaten

Bangka Barat dan di daerah Sebagian, Kabupaten Bangka Selatan dengan asumsi bahwa komponen data bersifat aditif:

$$y_t = S_t + T_t + R_t$$

Parameter  $y_t$  adalah data itu sendiri dengan komponen musiman  $S_t$ , komponen trend  $T_t$  dan komponen residual  $R_t$ .

Data yang digunakan dalam analisis memiliki durasi sekitar 4 tahun (2012-2016) yang merupakan data primer hasil pencatatan setiap jam untuk temperatur udara rata-rata pada ketinggian 10 meter yang sebagian diperoleh pada saat pelaksanaan Studi Kelayakan PLTN di Pulau Bangka pada periode 2011-2013 dan hasil pemantauan oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional pada periode setelahnya. Kelengkapan data yang digunakan mencapai masing-masing 92,76% dan 100% untuk stasiun Muntok dan Sebagian.

Untuk mengetahui bagaimanakah perilaku temperatur udara di pulau Bangka berdasarkan beberapa titik pengamatan yang ada selama periode 2012-2016, perlu dilakukan analisis yang dapat dengan jelas memberikan indikator perilaku tersebut.

## METODOLOGI

Stasioneritas merupakan karakteristik dari t-s yang berarti bahwa parameter statistik seperti rerata, simpangan baku, dan kovarian bernilai tetap terhadap waktu. Jika rerata dari suatu t-s berubah dengan waktu, maka rerata tersebut dikatakan tidak stasioner dan hal yang sama berlaku untuk simpangan baku dan kovarian. Salah satu uji statistik yang umumnya digunakan untuk menentukan stasioneritas adalah *Augmented Dickey-Fuller test* (ADF) [7]. ADF adalah sejenis uji akar satuan (*unit root test*) yaitu ketika terdapat akar satuan maka suatu t-s dikatakan tidak stasioner. Suatu t-s dikatakan sebagai stasioner ketika terdapat pergeseran sebanyak satu satuan, maka karakteristik statistiknya tidak berubah.

Sebelum uji statistik dapat dilakukan, perlu dilakukan pemrosesan awal terhadap data sehingga data yang hilang dapat diatasi dengan metode interpolasi dan kemudian resampling dilakukan untuk mendapatkan rerata temperatur harian dari rerata temperatur per-jam untuk mereduksi efek siklus harian dalam analisis.

Uji statistik ADF dilakukan dengan hipotesis nol atau  $H_0$  (*null hypothesis*) bahwa t-s yang ditinjau bersifat non-stasioner. Hipotesis alternatifnya ( $H_1$ ) adalah bahwa t-s yang ditinjau bersifat non-stasioner. Apabila nilai uji statistik yang dihasilkan oleh ADF lebih kecil dari nilai kritis pada signifikansi yang umum digunakan, dalam hal ini sebesar 0,05 atau 5% (tingkat keyakinan 95%), maka hipotesis tersebut ditolak dan dengan demikian t-s dinyatakan stasioner. Nilai lain yang dapat menjadi indikator dalam ADF adalah *p-value*, yang mengindikasikan kebolehjadian memperoleh nilai seperti dalam data bila hipotesis nol ( $H_0$ ) terbukti benar. Dalam hal tes ADF, apabila *p-value* lebih kecil dari signifikansi tertentu, dalam hal ini 0,05, maka semakin kecil pula kemungkinan  $H_0$  dapat diterima.

Uji statistik selanjutnya yang digunakan adalah uji Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin (KPSS)[8] yang digunakan untuk menguji hipotesis seperti halnya ADF namun dengan  $H_0$  yang berkebalikan dengan ADF yaitu bahwa t-s yang ditinjau bersifat stasioner. Hipotesis alternatifnya ( $H_1$ ) adalah bahwa t-s bersifat non-stasioner. Apabila nilai uji lebih tinggi dari nilai kritis pada signifikansi 0,05 dan *p-value* juga bernilai lebih dari 0,05 maka  $H_0$  dapat diterima atau t-s tersebut bersifat stasioner.

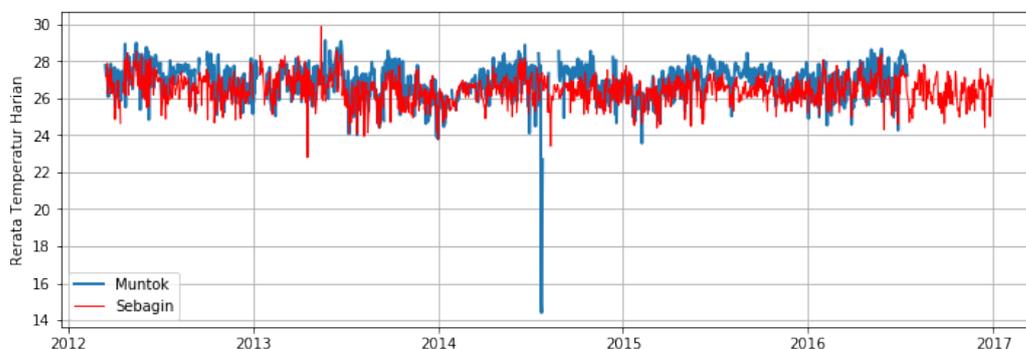
Hal lain yang dapat digunakan untuk meninjau stasioneritas adalah fungsi autokorelasi (*Autocorrelation Function* – ACF) dan fungsi autokorelasi parsial (*Partial Autocorrelation Function* - PACF).

Berdasarkan beberapa indikator dan uji statistik yang dilakukan diharapkan dapat ditarik kesimpulan apakah data parameter temperatur udara di dua lokasi di Pulau Bangka bersifat stasioner ataukah memiliki kecenderungan tertentu berupa berubahnya rerata temperatur yang mengindikasikan perubahan nilai temperatur rata-rata di wilayah ini dalam jangka panjang. Keseluruhan pengolahan data dilakukan menggunakan aplikasi *Python* dan *jupyter notebook* serta modul/*libraries* seperti *pandas*, *statmodels*, *matplotlib*, dan *seaborn*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

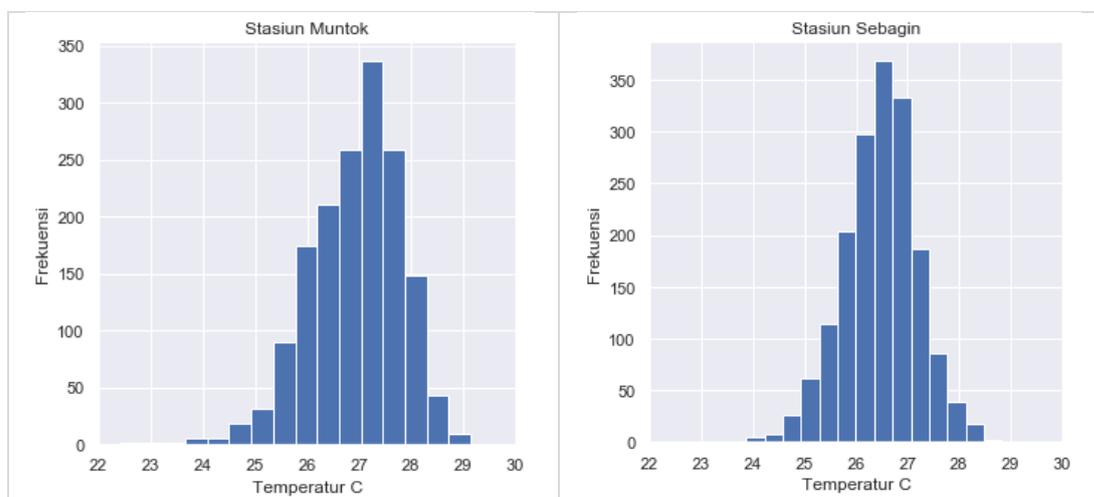
Sebelum analisis dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pra-pengolahan berupa pencuplikan ulang dari rerata jam-jaman ke rerata harian. Hal ini dilakukan untuk memperhalus data dengan menghilangkan efek siklus harian. Selanjutnya, apabila terdapat data hilang, perlu dilakukan interpolasi menggunakan data sebelum dan setelahnya agar pengolahan dapat dilanjutkan. Grafik t-s hasil pra-pengolahan diberikan dalam Gambar 2. Dapat diamati bahwa pada bulan Juli 2014 terdapat anomali data atau *outlier* pengukuran

yang bernilai sekitar 15 °C. Namun demikian, karena jumlah anomali datanya yang sangat kecil, kemungkinan besar dampaknya terhadap kecenderungan data tidak akan signifikan. Temperatur di kedua stasiun pemantauan umumnya berada pada jangkauan antara 24-30 °C dan dari gambar tidak tampak adanya siklus dengan pola tertentu.



Gambar-2. Time-series temperatur udara (h=10 m) di Muntok dan Sebagin

Analisis selanjutnya yang perlu dilakukan adalah analisis stasioneritas. Suatu t-s yang stasioner berarti bahwa beberapa parameter seperti rerata dan simpangan baku akan cenderung berada di sekitar nilai tertentu serta kovariannya tidak bergantung waktu. Indikasi awal bisa didapatkan dari bentuk distribusi nilai yang digambarkan oleh histogram yang biasanya berbentuk distribusi Gauss atau distribusi normal. Dari histogram untuk data Muntok dan Sebagin dalam Gambar 3 tampak bahwa data terdistribusi disekitar nilai rerata dengan simpangan baku tertentu serta distribusi frekuensinya tampak berbentuk Gaussian atau normal dengan kecenderungan sedikit condong ke kiri untuk data temperatur udara di Muntok.



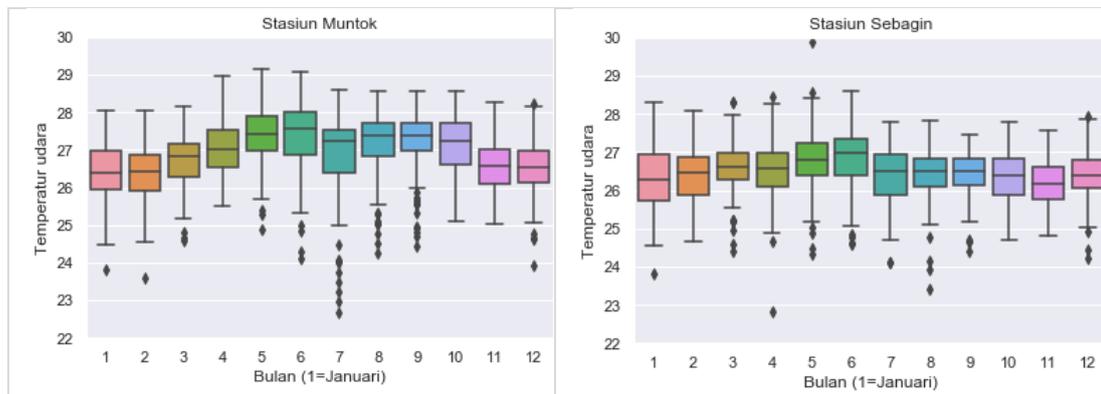
Gambar-3. Histogram Data Temperatur Udara di Muntok dan Sebagin

Nilai rerata dan simpangan baku untuk setiap stasiun pemantauan selanjutnya dihitung dengan membagi data menjadi 3 bagian dengan porsi yang berbeda, yaitu masing-masing 25%, 37,5% dan 37,5% (Sampel 1, Sampel 2 dan Sampel 3). Hal ini bertujuan untuk mendapatkan indikasi konsistensi dari kedua parameter tersebut dan hasilnya diberikan dalam Tabel 2. Tampak bahwa nilai rerata dan simpangan baku yang didapatkan cukup konsisten antar sampel dan tidak didapatkan perbedaan yang signifikan, baik untuk data dari stasiun Muntok maupun Sebagin. Rerata temperatur harian berada pada jangkauan antara 26-27 °C dengan simpangan baku yang relatif lebih kecil di stasiun Sebagin yang berada di sekitar 0,5 °C dibandingkan dengan stasiun Muntok yang bernilai sekitar 1 °C.

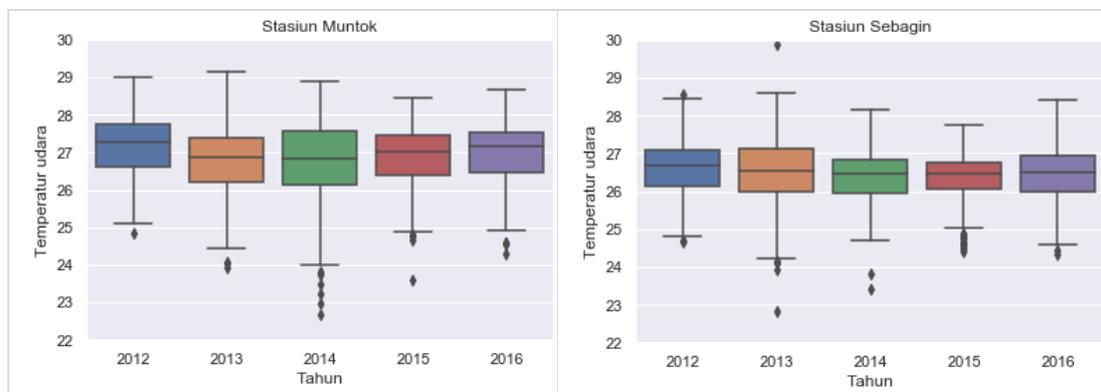
Tabel 2. Rerata dan Simpangan Baku dari Sampel

Stasiun/parameter	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3
<b>Muntok</b>			
Rerata ( $\bar{x}$ )	26.894	26.918	26.830
Simpangan baku (s)	0.837	0.998	1.174
<b>Sebagin</b>			
Rerata ( $\bar{x}$ )	26.459	26.478	26.469
Simpangan baku (s)	0.616	0.481	0.554

Selanjutnya, distribusi temperatur bulanan digambarkan dalam bentuk *boxplot*. Dalam *boxplot*, sebuah boks menggambarkan nilai Q1 (25%), Q2 (50%), dan Q3 (75%) serta garis di sisi atas dan bawah yang masing-masing menggambarkan nilai maksimum dan minimum dari rerata hasil pengukuran. Pencilan data (*outliers*) akan digambarkan sebagai titik-titik diatas dan di bawah garis data maksimum dan minimum.



Gambar-4. Box-plot Bulanan Rerata Temperatur Udara

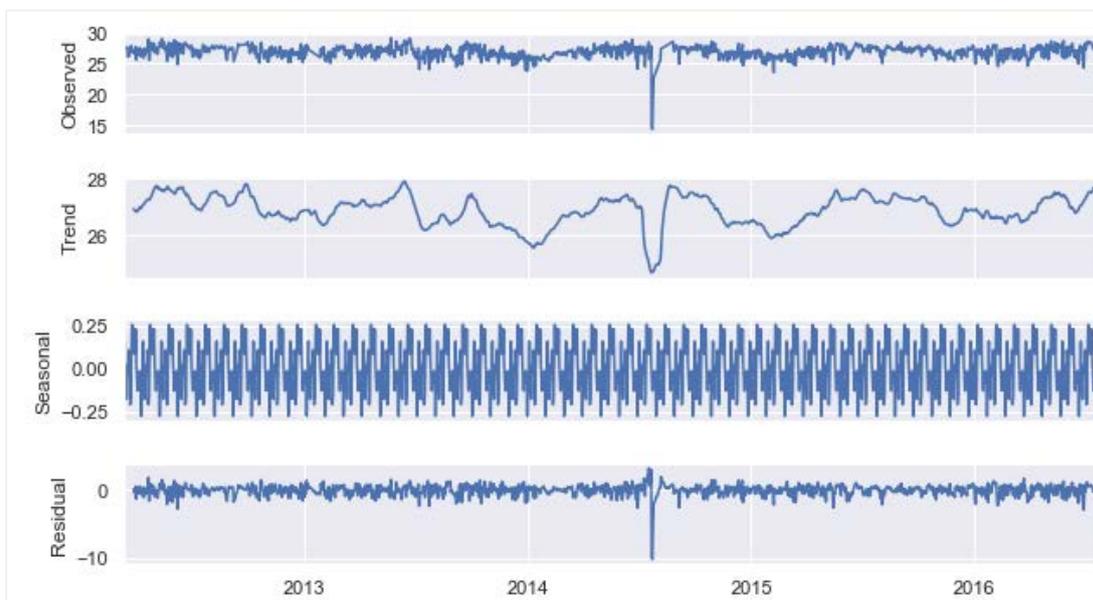


Gambar-5. Box-plot Tahunan Rerata Temperatur Udara

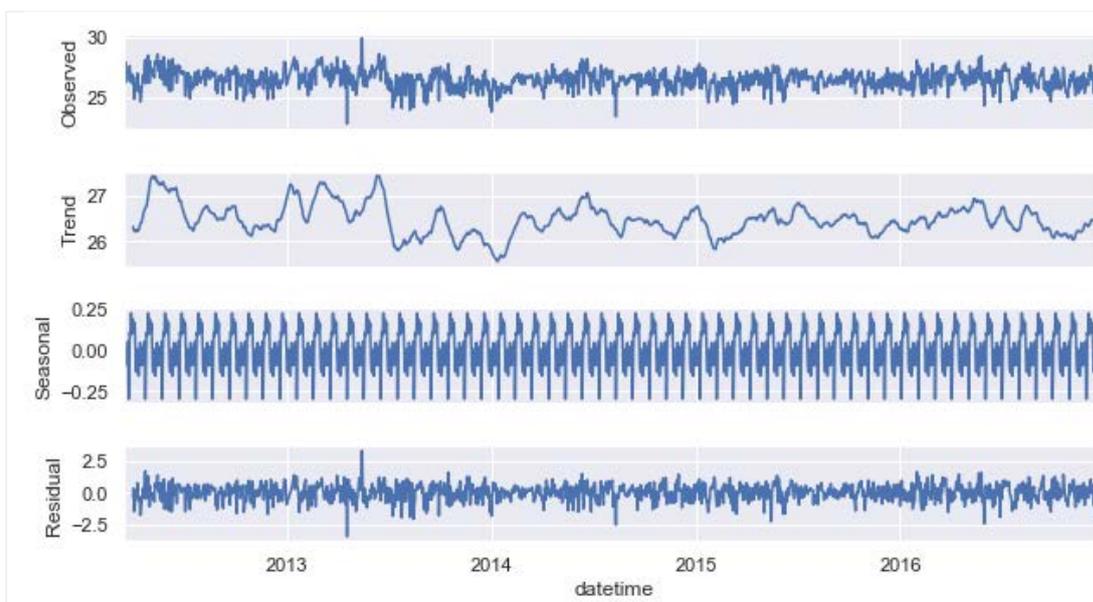
Dalam Gambar 4 diberikan *boxplot* bulanan dari data temperatur udara sedangkan Gambar 5 adalah *boxplot* tahunannya. Rentang data antara Q1 dan Q3 (50% dari keseluruhan data) berkisar 1 °C dan berlangsung konsisten selama periode Januari hingga Desember. Temperatur yang relatif lebih tinggi tercatat dalam bulan-bulan Mei hingga Juni, baik di stasiun Muntok maupun di Sebagin. Dapat diamati pula bahwa pencilan data sebagian besar merupakan data pengukuran yang lebih kecil dari rerata minimumnya.

Dari *boxplot* dalam Gambar 5 didapatkan bahwa median dari rerata temperatur udara tahunan tidak mengalami perubahan signifikan dari waktu ke waktu meskipun jangkauannya mengalami sedikit perubahan dari tahun ke tahun.

Pada tahap berikutnya, dekomposisi dilakukan terhadap data untuk memisahkan pengaruh-pengaruh kecenderungan (*Trend*), pengaruh musiman (*Seasonal*) dan residual (*Residual*) seperti diberikan dalam Gambar 6 dan Gambar 7 masing-masing untuk stasiun Muntok dan Sebagin.



Gambar-6. Hasil Dekomposisi Data Stasiun Muntok

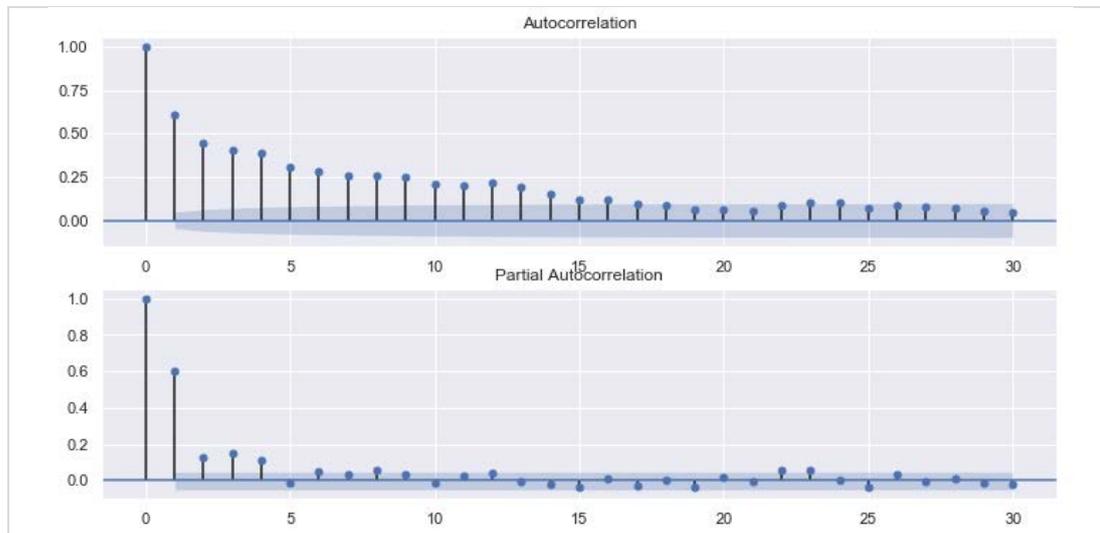


Gambar-7. Hasil Dekomposisi Data Stasiun Sebagian

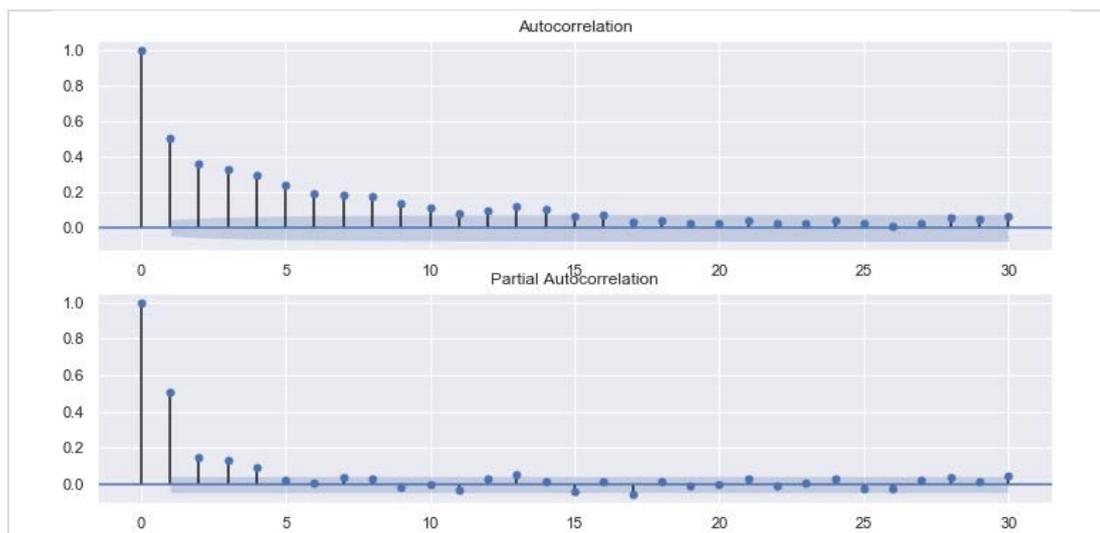
Secara visual tidak tampak adanya kecenderungan jangka panjang dari rerata temperatur harian di Muntok maupun Sebagian sebagaimana ditunjukkan oleh grafik *Trend*. Kecenderungan yang diamati bersifat jangka pendek dan berfluktuasi disekitar nilai rerata sebagaimana diberikan dalam Tabel 2. Pengaruh siklus tampak ada tetapi tidak dominan dan kontribusinya terhadap nilai pengamatan sangat kecil, dengan rentang sekitar 0,5 °C. Selain itu, pola siklusnya juga tidak dapat diidentifikasi dengan jelas. Pengaruh dominan didapatkan dari faktor yang bersifat acak sebagaimana ditunjukkan dalam grafik nilai *residual* dengan rentang sekitar 5 °C.

Parameter lain yang dapat menjadi indikator apakah suatu t-s bersifat stasioner adalah fungsi autokorelasi (*Auto-Correlation Function*, ACF) dan fungsi autokorelasi parsial (*Partial Auto-Correlation Function*, PACF). ACF adalah korelasi antara sebuah nilai t-s dengan semua nilai hingga *lag* hingga jeda/jarak tertentu sedangkan PACF adalah korelasi antara sebuah nilai dalam t-s dengan nilai *lag* dengan jeda tertentu saja, setelah pengaruh dari jeda sebelumnya dihilangkan. T-s yang non-stasioner biasanya memiliki peluruhan yang sangat lambat sebelum mencapai tingkatan di bawah batas signifikan tertentu sebagaimana ditandai dengan daerah berwarna biru seperti pada Gambar 7 dan 8. Dalam hal ini, tampak bahwa

temperatur udara pada ketinggian 10 meter di Muntok dan Sebagian memiliki nilai ACF dan PACF yang meluruh relatif cepat sehingga kemungkinan kedua t-s tersebut memiliki sifat stasioner.



Gambar-7. Grafik ACF dan PACF Temperatur Udara di Muntok



Gambar-8. Grafik ACF dan PACF Temperatur Udara di Sebagian

Indikator kuantitatif stasioneritas umumnya didapatkan melalui uji statistik ADF dan KPSS. Berdasarkan hasil uji ADF untuk temperatur udara di kedua stasiun pengamatan seperti diberikan dalam Tabel 3 didapatkan bahwa nilai uji ADF berada di bawah nilai kritis 5% (tingkat kepercayaan 95%) dan *p-value* berada di bawah 0,05 dan dengan demikian  $H_0$  yang menyatakan bahwa data yang ditinjau bersifat non-stasioner ditolak dan hipotesis alternatifnya, yaitu  $H_1$ , dapat diterima sehingga berdasarkan uji ADF temperatur udara di ketinggian 10 meter di stasiun Muntok dan Sebagian untuk periode yang ditinjau bersifat stasioner. Dengan demikian, rerata nilai dan simpangan bakunya cenderung tetap dari waktu ke waktu selama periode pengamatan 2012-2016. Hal ini konsisten dengan indikasi nilai rerata dan simpangan baku dari beberapa sampel data seperti diberikan dalam Tabel 2.

Konfirmasi berikutnya didapatkan melalui uji KPSS dengan  $H_0$  dan  $H_1$  serta interpretasi *p-value* yang berkebalikan dengan uji ADF. Nilai hasil uji KPSS untuk data di kedua stasiun berada di bawah nilai kritis dengan tingkat signifikansi 5% dengan *p-value* untuk uji KPSS yang lebih besar dari 0,05 yang berarti bahwa  $H_0$  yang menyatakan bahwa t-s yang ditinjau bersifat stasioner dapat diterima.

Tabel 3. Hasil Uji Statistik ADF dan KPSS

Uji Statistik	Muntok	Sebagin
<b>ADF</b>	<b>-7,876</b>	<b>-12,446</b>
Nilai kritis 5%	-2,863	-2,863
<i>p-value</i>	0,000	0,000
<b>KPSS</b>	<b>0,259</b>	<b>0,452</b>
Nilai kritis 5%	0,463	0,463
<i>p-value</i>	0,100	0,054

## KESIMPULAN

Analisis dekomposisi data temperatur udara dari ketinggian 10 meter di pulau Bangka yaitu stasiun pemantauan Muntok dan Sebagian menunjukkan bahwa selama periode pemantauan 2012-2016 nilai rerata temperatur harian adalah stasioner. Konfirmasi menggunakan uji statistik menggunakan metode ADF dan KPSS memperkuat kesimpulan bahwa perilaku temperatur udara di kedua stasiun bersifat stasioner dan kondisi ini sebaiknya dipertahankan dengan menjaga tingkat emisi gas rumah kaca, terutama dari proses pembangkitan energi listrik dan transportasi. Faktor siklus atau musiman tidaklah dominan dan data yang ada lebih dikendalikan oleh fenomena acak yang sifatnya alamiah. Sifat stasioner dari data seperti data temperatur ini akan sangat membantu dalam membuat prakiraan atau proyeksi perilaku temperatur udara di daerah ini pada masa mendatang dan untuk melakukan prediksi ataupun estimasi terhadap data yang hilang melalui proses interpolasi.

Sebagai tambahan didapatkan bahwa kejadian temperatur rerata yang relatif tinggi dalam periode satu tahun terpantau dalam periode bulan Mei-Juni baik di stasiun Muntok maupun Sebagian dan pencilan data (*outliers*) umumnya memiliki nilai lebih kecil dari rerata temperatur minimum serta sedikit sekali didapati pencilan di atas nilai rerata maksimum.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir dan panitia Seminar Infrastruktur Energi Nuklir yang telah memberikan kesempatan untuk ikut serta dalam seminar ini serta kepada penanggungjawab kegiatan pemantauan tapak PLTN di pulau Bangka yang telah membantu penyediaan data.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Badan Pusat Statistik, "Proyeksi Penduduk Indonesia 2015-2045 Hasil SUPAS 2015 – 2045", Jakarta, (2018).
- [2]. Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional, "Outlook Energi Indonesia 2016", Jakarta, (2016).
- [3]. <https://climate.nasa.gov/evidence/>, diakses pada 05 September 2019.
- [4]. BAPETEN, Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 4 Tahun 2018 tentang Ketentuan Evaluasi Keselamatan Tapak Instalasi Nuklir, Jakarta, (2018).
- [5]. IAEA, Specific Safety Guide - 18 (SSG-18) tentang Meteorological and Hydrological Hazard in Site Evaluation for Nuclear Installations, Vienna, (2011).
- [6]. Hyndman, R.J., & Athanasopoulos, G., Forecasting: principles and practice, 2nd edition, OTexts: Melbourne, Australia, (2018). OTexts.com/fpp2. Diakses pada 16 September 2019.
- [7]. Dickey, D. A., & W. A. Fuller, Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root, Journal of the American Statistical Association 74, pp. 427–431, (1979).
- [8]. Kwiatkowski D., dkk., Testing the Null Hypothesis of Stationerity Against the Alternative of Unit Root, Journal of Econometrics 54, pp. 159-178, North Holland, (1992).

## DISKUSI/TANYA JAWAB :

- I. Ade Awalludin - Bapeten:
  1. Pada halaman 8 presentasi, terlihat adanya cutlier (pencilan) data pengukuran suhu, apakah disebabkan oleh kesalahan alat atau fonomena alam?  
Jawab:

## **IDENTIFIKASI PATAHAN DI PULAU BANGKA BERDASARKAN PEMANTAUAN GEMPABUMI DARI JARINGAN SEISMOMETER BANGKA**

**Yuni Indrawati, Dedy Priambodo, Sunarko, Hadi Suntoko, Denissa Beauty S, Theo Alvin R, Ewitha Nurulhuda, Arief Tris Y, Imam Hamzah, Slamet Suryanto**  
*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, BATAN, Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan 12710*  
*email:yuni.indrawati@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

**IDENTIFIKASI PATAHAN DI PULAU BANGKA BERDASARKAN PEMANTAUAN GEMPABUMI DARI JARINGAN SEISMOMETER BANGKA.** Berdasar hasil studi kelayakan tapak, dua calon tapak PLTN di Pulau Bangka telah ditetapkan, yaitu di Muntok, Bangka Barat dan Sebagian, Bangka Selatan. Meskipun demikian, studi lebih lanjut guna konfirmasi kelayakan calon tapak tersebut perlu dilakukan. Salah satu kriteria keberterimaan tapak adalah bebas dari patahan kapabel dalam radius 5 km, sehingga potensi kapabilitas patahan harus dikaji. Kajian potensi kapabilitas patahan tersebut dapat dilakukan setelah mendapatkan indikasi adanya patahan dalam radius tersebut. Pemantauan gempabumi dalam kurun waktu tertentu akan menghasilkan sebaran lokasi gempabumi yang dapat mengindikasikan aktivitas atau keberadaan patahan di suatu wilayah. Pada tahun 2018, telah dipasang Seismometer Lennartz yang terhubung ke dalam sistem akuisisi Quanterra Q330 di Tempilang, Jebus, Sungai Liat, dan Muntok secara bertahap. Pemasangan alat tersebut adalah untuk memantau gempabumi di wilayah Pulau Bangka. Data seismik yang direkam oleh alat tersebut diidentifikasi kejadian gempanya dan difragmentasi menggunakan perangkat lunak Cimarron. Hasil fragmentasi seismik gempa diolah menggunakan perangkat lunak Seisan untuk mendapatkan episenter gempa. Hasil studi menunjukkan bahwa pada bulan Agustus 2018 hingga Juli 2019 terdapat seismisitas yang cukup tinggi di area Jebus dan sebelah tenggara Bangka Selatan. Sebaran gempa di area Jebus dan di sebelah tenggara Bangka Selatan mengindikasikan patahan dengan tren barat daya-timur laut. Penelitian lebih lanjut dengan metode lain diperlukan untuk mengkonfirmasi aktivitas atau keberadaan patahan tersebut.

Kata kunci: patahan, gempabumi, calon tapak PLTN, Pulau Bangka

### **ABSTRACT**

**FAULT IDENTIFICATION IN BANGKA ISLAND BASED ON EARTHQUAKE MONITORING FROM BANGKA SEISMOMETER NETWORK.** *Based on the results of the site feasibility study, two candidates of the NPP sites on Bangka Island have been established, namely in Muntok, West Bangka and Sebagian, South Bangka. Nevertheless, further studies in order to confirm the feasibility of the candidate site need to be carried out. One of the criteria for site acceptance is free from capable fault in 5 km radius, so potential of fault capability must be assessed. Potential study of fault capability can be carried out after getting an indication of fault existence in that radius. Earthquake monitoring within a certain time will result a distribution of earthquake locations that can indicate activity or the fault existence in an area. In 2018, Lennartz seismometer connected to a Quanterra Q330 acquisition system was installed in Tempilang, Jebus, Sungai Liat, dan Muntok gradually. The installation of these tools is to monitor earthquakes in the Bangka Island region. Seismic data recorded by the device was identified the earthquake event and was fragmented using Cimarron Software. The results of seismic fragmentation are processed using Seisan Software to obtain earthquake epicenter. The results of the study show that from August 2018 to July 2019 there was a high seismicity in jebus area and southeast South Bangka. The earthquake distribution in Jebus area and southeast South Bangka indicate faults with southwest-northeast trend. Further research using other methods is needed to confirm the activity or the existence of the fault.*

*Keyword: fault, earthquake, candidate of NPP, Bangka Island*

## PENDAHULUAN

Berdasarkan hasil studi pra kelayakan tapak di Pulau Bangka yang kemudian dilanjutkan dengan studi kelayakan tapak, telah ditetapkan dua calon tapak PLTN yaitu Pantai Tanah Merah - Teluk Menggris, Desa Air Putih - Tanjung, Kecamatan Muntok, Kabupaten Bangka Barat dan Tanjung Berani - Tanjung Krasak, Desa Sebagian, Kecamatan Simpang Rimba, Kabupaten Bangka Selatan [1, 2]. Meskipun studi kelayakan telah dilakukan, pemantauan data tapak dan lingkungan terus dilakukan sampai sekarang.

Salah satu pemantauan data tapak yang dilakukan yaitu berdasarkan aspek kegempaan. Pengumpulan informasi dan investigasi kegempaan dilakukan untuk meyakinkan keamanan dari calon tapak PLTN. Pengumpulan informasi dan investigasi kegempaan dapat membantu untuk mengidentifikasi keberadaan patahan di area studi. Indikasi patahan ini penting sebagai informasi awal kelayakan calon tapak PLTN dari aspek geologi. Indikasi patahan tersebut selanjutnya dapat dikaji potensi kapabilitasnya untuk menentukan apakah patahan tersebut termasuk patahan kapabel. Patahan kapabel merupakan patahan yang berpotensi signifikan mengalami pergeseran di atau dekat permukaan tanah. Sehingga patahan tersebut dapat menimbulkan kegagalan atau kerusakan pada bangunan. Hal ini sesuai dengan Perka BAPETEN nomor 8 tahun 2013 bahwa salah satu kriteria keberterimaan tapak adalah bebas dari patahan kapabel dalam radius 5 km [3].

Investigasi lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengkonfirmasi ada atau tidaknya potensi sesar kapabel dan atau fenomena geologi lainnya yang dapat membahayakan kelayakan tapak. Investigasi tersebut berupa pemantauan kegempaan di wilayah calon tapak Informasi kegempaan sebaiknya terus dikumpulkan dan dianalisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi keberadaan patahan di calon tapak.

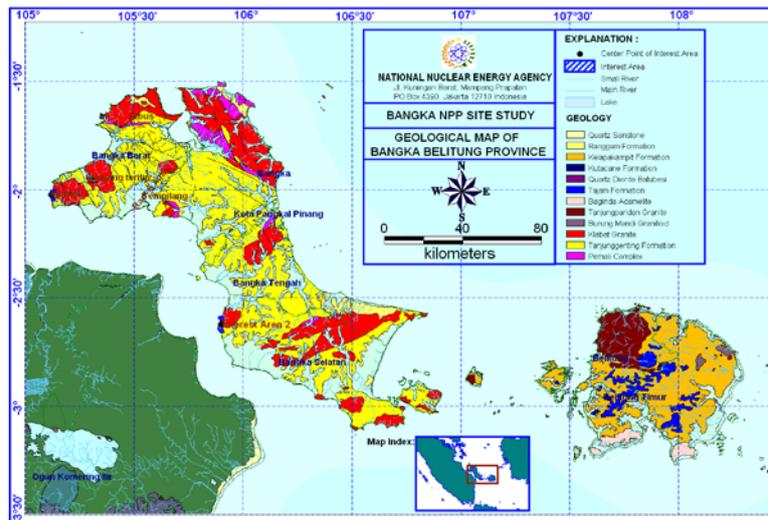
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi keberadaan patahan di Pulau Bangka khususnya yang berada di dekat dengan calon Tapak PLTN. Hal ini dilakukan untuk mengkonfirmasi kelayakan calon tapak PLTN dari sisi kegempaan dan patahan atau struktur geologi di area tersebut.

## POKOK BAHASAN

### Geologi Regional Pulau Bangka

Berdasarkan peta geologi Kepulauan Bangka dan Belitung yang dimodifikasi dari peta geologi Bangka lembar utara dan lembar selatan (Gambar 1) [4, 5, 6], formasi batuan tertua di Pulau Bangka berasal dari Komplek Pemali yang berada di Bangka Utara kemudian ditutupi oleh Formasi Tanjunggenting yang diikuti dengan terobosan Granit Klabat. Granit Klabat ini menerobos mulai dari Komplek Pemali hingga Formasi Tanjunggenting. Formasi batuan tersebut ditutupi oleh Formasi Ranggam secara tidak selaras. Batuan termuda adalah quartz sandstone.

Struktur geologi daerah Bangka memperlihatkan area yang terlipatkan dan tersesarkan. Di Pulau Bangka terdapat sesar naik, sesar mendatar, sesar normal, serta lipatan dengan arah barat laut - tenggara dan timur laut – barat daya hingga utara-selatan [4, 5, 7, 8]. Hal ini sebanding dengan interpretasi struktur geologi di Pulau Bangka berdasarkan citra SRTM dimana arah relatif kelurusan dominan dari diagram *rose* berarah barat laut-tenggara serta lipatan yang meliputi Formasi Tanjunggenting dan Formasi Ranggam yang berarah timur laut-barat daya [9]. Sesar utama daerah ini adalah sesar mendatar dengan arah hampir utara-selatan dan searah [10].



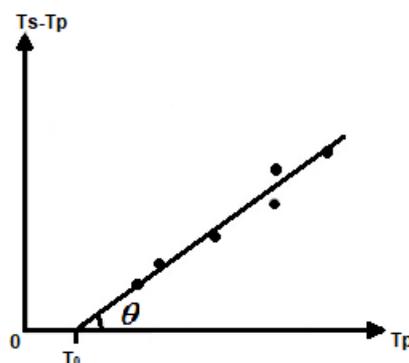
Gambar 1. Peta geologi Kepulauan Bangka dan Belitung (Modifikasi dari [2, 3, 4])

### Gempabumi

Gempabumi merupakan peristiwa bergetarnya bumi karena secara tiba-tiba terjadi pergeseran/pergerakan lapisan batuan pada kulit bumi yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng-lempeng tektonik [11]. Gempabumi yang berasal dari aktivitas tektonik disebut dengan gempabumi tektonik sedangkan yang berasal dari aktivitas vulkanik disebut dengan gempabumi vulkanik. Interaksi antar lempeng tektonik akan menghasilkan energi yang dapat menimbulkan guncangan dan merubah struktur batuan di permukaan. Gempabumi tektonik umumnya berada di sekitar batas lempeng dan sekitar patahan.

Sunarjo dkk menyatakan bahwa bidang batas antara dua fraksi kulit bumi yang umumnya daerah yang lemah dan terdapat retakan yang mengalami gerakan relatif disebut dengan patahan [11]. Patahan dapat terjadi ketika tekanan cukup besar pada suhu yang rendah. Patahan dibagi menjadi beberapa jenis sesuai dengan arah gerakannya yaitu patahan turun, naik, geser, dan *oblique*. Pengumpulan energi akibat pergeseran atau pertemuan batuan atau lempeng akan mengakumulasi energi pada suatu bidang sampai melebihi batas ketegangan sehingga energi tersebut perlu dilepaskan. Lepasan tegangan yang seketika ini menyebabkan gerakan di sepanjang patahan sehingga menyebabkan gempabumi.

Getaran gempabumi akan menimbulkan gelombang elastik gempabumi yang disebut dengan gelombang seismik. Gelombang gempabumi dapat dideteksi dengan menggunakan seismometer. Pengolahan rekaman seismik dari seismometer dapat digunakan untuk menentukan parameter penting gempabumi seperti waktu asal kejadian (*origin time*), episenter, kedalaman sumber, dan besar kekuatan gempa. Salah satu cara untuk menentukan waktu asal kejadian gempabumi dapat menggunakan diagram Wadati (Gambar 2) [12].



Gambar 2. Diagram Wadati,  $T_s - T_p$  sebagai sumbu y menunjukkan selisih waktu gelombang S dan gelombang P sedangkan waktu tiba gelombang P sebagai sumbu x [12].

dengan menggunakan perhitungan

$$\tan \theta = 1 = \frac{V_P}{V_S} - 1 \quad (1)$$

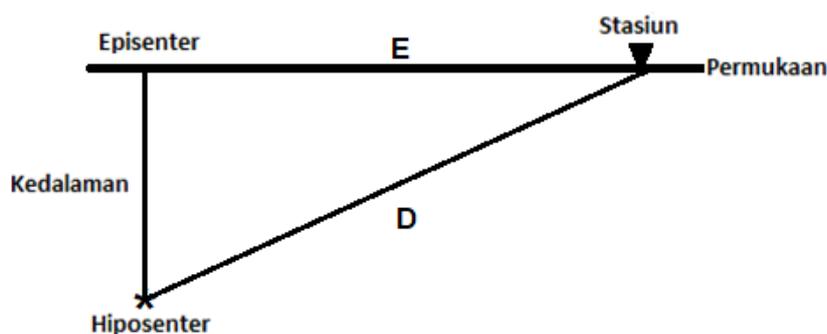
sedangkan jika jumlah data banyak maka persamaan yang digunakan

$$T_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( T_P - \frac{T_{SP}}{l} \right) \quad (2)$$

Dengan  $T_p$  adalah waktu datang gelombang P (detik),  $T_s$  adalah waktu datang gelombang S (detik),  $T_0$  adalah waktu kejadian asal (detik),  $T_{p0}$  adalah  $T_p - T_0$  (detik),  $T_{s0}$  adalah  $T_s - T_0$  (detik), dan  $T_{sp}$  adalah  $T_s - T_p$  (detik), dan  $l$  adalah notasi stasiun.

Parameter gempabumi lainnya yaitu hiposenter. Hiposenter merupakan pusat terjadinya gempa yang direpresentasikan dalam koordinat kartesian (x,y, dan z). Sedangkan titik di permukaan bumi tepat di atas kejadian gempabumi disebut dengan episenter. Hiposenter, episenter, dan kelaman sumber gempa diilustrasikan pada gambar 3. Adapun jarak hiposenter dapat dihitung berdasarkan persamaan

$$D = T_{p0} * V_P = \frac{T_{sp} * V_S}{V_P - V_S} V_P \quad (3)$$



Gambar 3. Ilustrasi parameter gempa jarak hiposenter D, jarak episenter E, dan kedalaman (*focal depth*).

Parameter penting ketiga dalam identifikasi gempabumi adalah magnitudo yaitu ukuran kekuatan gempabumi. Magnitudo terbagi menjadi beberapa tipe yaitu magnitudo lokal (MI), magnitudo coda (Mc), magnitudo gelombang badan (Mb), magnitudo gelombang permukaan (Ms), dan momen magnitudo (Mw).

Magnitudo coda dapat ditentukan hanya jika terdapat fase P yang dipilih [13]. Perhitungan magnitudo coda mengikuti persamaan

$$Mc = a * \log_{10}(\text{coda}) + b * \text{dist} + c \quad (4)$$

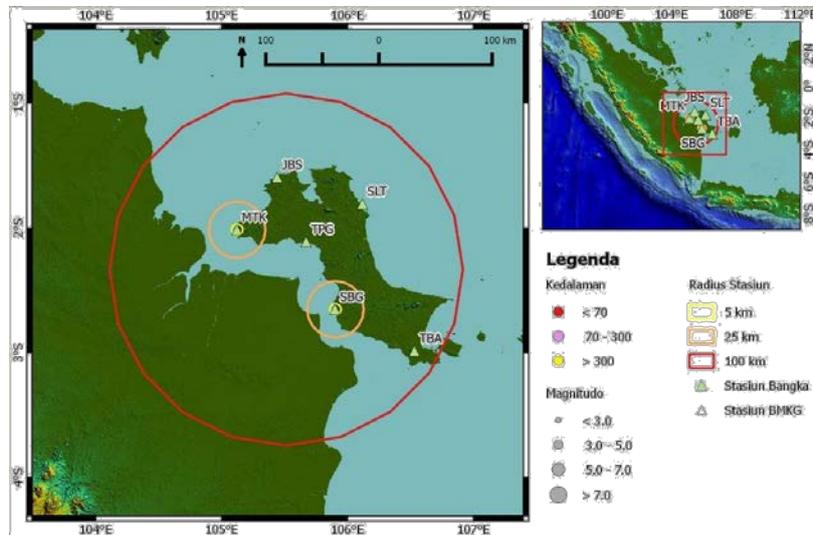
dimana coda adalah panjang coda dalam detik, dan a,b adalah konstanta. Jika a bernilai negatif maka persamaan yang digunakan adalah

$$Mc = \text{abs}(a) * \log_{10}(\text{coda}) * \log_{10}(\text{coda}) + b * \text{dist} + c \quad (5)$$

## METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan data gempa hasil pemantauan kegempaan di Pulau Bangka untuk mengidentifikasi keberadaan patahan. Pemantauan kegempaan di Pulau Bangka menggunakan enam stasiun (Gambar 4). Akan tetapi, pada penelitian ini rekaman seismik yang diolah hanya dari empat stasiun pengamat gempa yang telah terpasang seismometer Lennartz karena sinyal gempa sulit untuk dideteksi di dua stasiun lainnya. Pemantauan kegempaan dilakukan dari bulan Agustus 2018 hingga Juli 2019 menggunakan seismometer Lennartz yang terhubung dengan sistem akuisisi Quanterra Q330. Peralatan ini

merekam data seismik yang menjalar dari 3 komponen yaitu komponen vertikal (Z), komponen utara-selatan (N-S), dan komponen timur-barat (E-W). Pada awal tahun 2018, alat tersebut dipasang di empat stasiun pengamatan kegempaan yaitu Tempilang, Jebus, Sungai Liat, dan Muntok secara bertahap. Lokasi masing-masing stasiun gempa di Pulau Bangka ditunjukkan pada tabel 1.



Gambar 4. Lokasi Stasiun Pemantau Gempabumi di Pulau Bangka.

Tabel 1. Stasiun pengamatan gempa di Pulau Bangka

No	Nama Stasiun	Lintang (°)	Bujur (°)	Wilayah Administratif
1	Tempilang	-2.10928	105.66532	Bangka Barat
2	Jebus	-1.59382	105.4443	Bangka Barat
3	Sungai Liat	-1.8066	106.11733	Bangka
4	Muntok	-2.0136	105.1224	Bangka Barat

Pengolahan data seismik hasil pemantauan dilakukan menggunakan perangkat lunak Cimarron dan Seisan yang dijalankan pada sistem operasi Windows. Perangkat lunak Cimarron digunakan untuk memfragmentasi rekaman data seismik dari keempat stasiun pengamatan menjadi data seismik harian. Selanjutnya identifikasi sinyal seismik gempa dilakukan di setiap data harian tersebut. Jika keberadaan sinyal gempa terdeteksi maka file data seismik tersebut difragmentasi kembali menjadi data seismik dalam kurun waktu 1 jam.

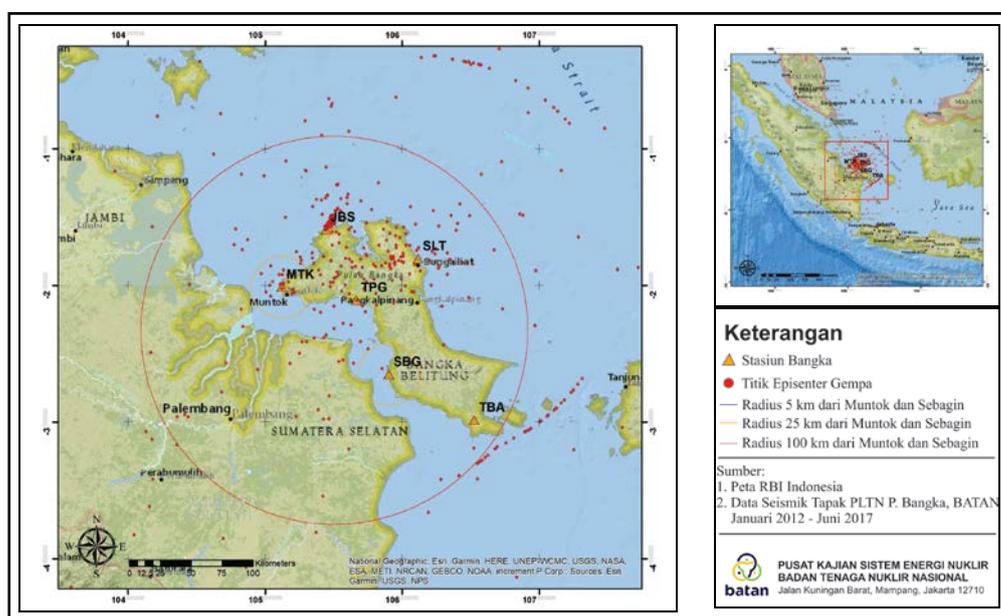
Hasil fragmentasi per jam dari Cimarron selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak Seisan untuk mendapatkan episenter gempa. Informasi parameter stasiun gempa di masing-masing stasiun harus tersedia dalam direktori di Seisan. Parameter tersebut berupa data lokasi stasiun, model kecepatan, dan konstanta perhitungan lainnya yang dibuat dalam file STATION0.HYP. Proses pengolahan data pada Seisan menggunakan command prompt. Data seismik dari keempat stasiun gempa dikonversi terlebih dahulu menjadi format seisan menggunakan WAVETOOL. Setelah dikonversi, keempat file data seismik tersebut disatukan agar dapat ditampilkan dalam satu layar plot. Untuk menggabungkan file-file tersebut digunakan perintah SEISEI dengan memilih opsi MERGE.

Hasil gabungan file seismik gempa di plot menggunakan perintah MULPLT sehingga sinyal seismik empat file stasiun akan tertampil. Sinyal seismik yang menunjukkan kejadian gempa diidentifikasi awal dan akhir kejadian gempa tersebut selanjutnya disimpan. Potongan file gempa yang telah diidentifikasi dilakukan pencuplikan fase gelombang P dan fase gelombang S jika dapat diidentifikasi. Pencuplikan fase gelombang P dilakukan pada komponen vertikal, sedangkan pencuplikan fase gelombang S pada komponen horisontal. Akhir durasi gempa ditandai secara otomatis atau manual menggunakan tanda C (Coda). Perhitungan magnitudo dalam pengolahan ini sebagian besar menggunakan magnitudo coda. Kejadian gempa yang telah diidentifikasi fase dan akhir durasi gempa ini dilakukan pendaftaran berupa jenis gempa tersebut, operator, serta direktori database.

Database Seisan berisi lokasi, kedalaman, dan magnitudo gempa. Selain itu data lain berupa jenis kejadian (lokal, regional, distant), RMS, jumlah stasiun yang digunakan pencuplik, dan informasi penyerta lainnya dapat dilihat di database tersebut. Hasil episenter di setiap gempa yang terdeteksi di plot dalam peta menggunakan ArcGis. Analisis dilakukan untuk melihat persebaran gempa di area Bangka kemudian dianalisis lebih lanjut untuk mengidentifikasi keberadaan patahan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

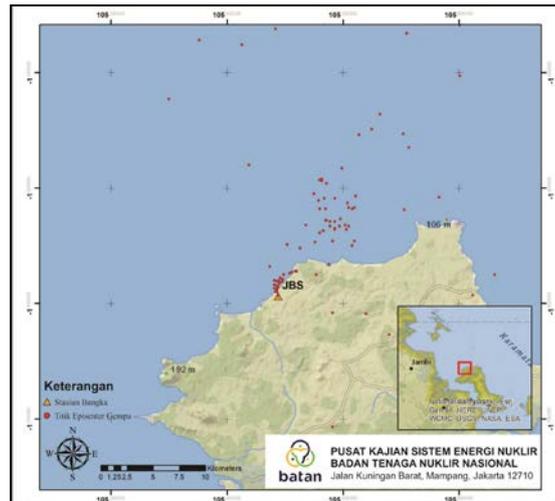
Kinerja stasiun seismik Bangka dipantau berdasarkan kelengkapan rekaman data tiap jam dalam satu bulan. Secara keseluruhan ketersediaan data selama bulan Agustus 2018 hingga Juli 2019 dalam kondisi baik. Hasil sebaran episenter menunjukkan bahwa Jaringan seismometer Bangka dapat mendeteksi gempa yang berlokasi di Pulau Bangka maupun di luar Pulau Bangka. Gambar 5 menunjukkan plot episenter gempabumi hasil pengolahan data rekaman seismik jaringan seismometer Bangka. Jarak antar seismometer berkisar puluhan kilometer sehingga terdapat kemungkinan adanya gempa yang tidak terdeteksi pada alat tersebut.



Gambar 5. Peta sebaran episenter gempabumi yang terdeteksi dari jaringan seismometer Bangka.

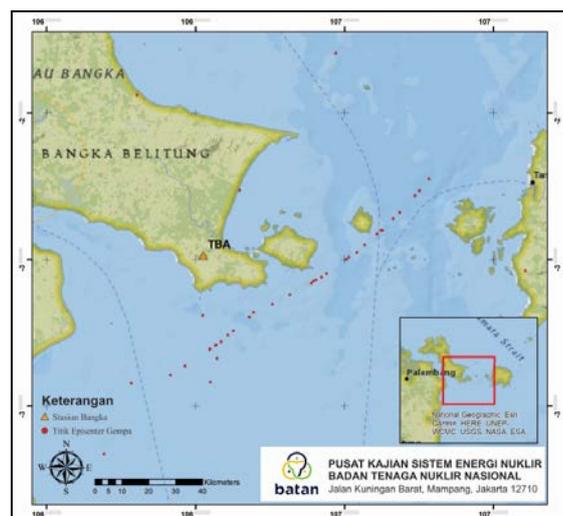
Pengolahan data gempa bulan Agustus 2018 hingga Juli 2019 dilakukan untuk mendapatkan sebaran lokasi episenter gempa. Kejadian gempa yang diperoleh selama periode tersebut sebanyak 503 kejadian. Kejadian gempabumi yang terdeteksi di sekitar Pulau Bangka sebagian besar memiliki magnitudo yang relatif kecil sehingga getarannya tidak dirasakan. Rentang magnitudo terdeteksi yaitu sebesar 6,8 Skala Magnitudo yang terjadi tanggal 5 Agustus 2018 pukul 11:46:32 GMT yang diperoleh dari perhitungan Magnitudo Coda.

Peta sebaran episenter di Pulau Bangka menunjukkan bahwa terdapat seismisitas cukup tinggi di Bangka Barat. Hal ini kemungkinan dikarenakan ke empat stasiun pengamatan gempabumi berada di Bangka bagian Barat. Di dalam radius 25 km calon tapak PLTN Muntok, Bangka Barat terdapat sebaran gempa dengan magnitudo relatif kecil yang tidak menunjukkan tren suatu patahan. Di calon tapak PLTN Sebagian, Bangka Selatan hanya terdapat satu catatan kejadian gempa yang terdeteksi dalam radius 25 km. Berdasarkan data gempa Agustus 2018 hingga Juli 2019 menunjukkan tidak teridentifikasi adanya patahan di calon tapak PLTN di Pulau Bangka. Akan tetapi, dari peta episenter gempabumi tersebut terdapat dua tren atau pola sebaran gempa terdeteksi yaitu di area Jebus (Gambar 6) dan sebelah tenggara Bangka Selatan (Gambar 7).



Gambar 6. Peta sebaran episenter gempabumi area Jebus yang terdeteksi dari Jaringan Seismometer Bangka

Sebaran gempa di area Jebus (Gambar 6) terdeteksi sebanyak 88 kejadian gempabumi yang diolah menggunakan 1 hingga 4 stasiun pengamatan. Magnitudo gempabumi di area Jebus relatif kecil, dengan nilai terbesar adalah 3,1 Skala Magnitudo yang terjadi pada 18 Oktober 2018 pukul 20:19:37.8 GMT. Sebaran episenter gempabumi di area Jebus menunjukkan tren barat daya-timur laut.



Gambar 7. Peta sebaran episenter gempabumi sebelah tenggara Bangka Selatan yang terdeteksi dari Jaringan Seismometer Bangka

Sebaran gempa di sebelah tenggara Bangka Selatan memanjang diantara Pulau Liat dan Pulau Mendanau ke arah timur laut mendekati Pulau Lepar hingga sebelah tenggara Bangka Selatan. Gempabumi yang terdeteksi pada Gambar 7 sebanyak 37 kejadian gempabumi yang diolah menggunakan 3 hingga 4 stasiun pengamatan. Magnitudo gempabumi di area tersebut relatif kecil, dengan nilai terbesar adalah 3,2 Skala Magnitudo yang terjadi pada 9 September 2018 pukul 19:40:35.6 GMT. Sebaran episenter gempa di sebelah tenggara Bangka Selatan juga mempunyai tren barat daya-timur laut.

Tren atau pola gempabumi yang berada di area Jebus dan tenggara Bangka Selatan dapat mengindikasikan keberadaan patahan. Pemantauan kegempaan perlu dilakukan lebih lama lagi untuk melihat intensitas gempa di kedua indikasi patahan tersebut. Patahan dapat diidentifikasi dari pola historis gempabumi akan tetapi perlu penelitian lebih lanjut untuk mengkonfirmasi keberadaan patahan tersebut. Identifikasi berdasarkan citra satelit, konfirmasi struktur geologi di lapangan, maupun metode geofisika lainnya seperti geolistrik dapat digunakan untuk lebih meyakinkan kondisi struktur geologi permukaan maupun bawah permukaan.

## KESIMPULAN

Pemantauan kegempaan di Pulau Bangka yang dilakukan menggunakan empat stasiun gempa berhasil mendeteksi gempabumi yang terjadi di dalam maupun luar Pulau Bangka. Berdasarkan data gempa terdeteksi dari jaringan seismometer Bangka pada bulan Agustus 2018 hingga Juli 2019, sebaran episenter gempa di dalam radius 25 km dari calon tapak PLTN Muntok, Bangka Barat dan Sebagin, Bangka Selatan tidak mengindikasikan keberadaan patahan. Seismisitas cukup tinggi berada di area sekitar Jebus dan sebelah tenggara Bangka Selatan. Sebaran gempa di area Jebus maupun sebelah tenggara Bangka Selatan mengindikasikan patahan dengan tren barat daya-timur laut. Meskipun demikian magnitudo gempabumi di Pulau Bangka relatif kecil sehingga sebagian besar tidak dapat dirasakan oleh manusia. Pemantauan kegempaan perlu dilanjutkan untuk melihat intensitas gempa di kedua indikasi patahan tersebut. Selain itu, penelitian lebih lanjut dengan metode lain diperlukan untuk mengkonfirmasi keberadaan patahan tersebut.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir dan Kepala Bidang Kajian Data Tapak yang telah mendukung kegiatan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. SUSIATI, J. MELLAWATI, Y. S. B. S dan FEPRIADI, "STUDI RONA AWAL LINGKUNGAN PADA TAHAP PRA-SURVEI TAPAK DI DUA DAERAH INTERES UNTUK PLTN DI PULAU BANGKA," dalam *Prosidinga Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV*, Jakarta, 2011.
- [2] Y. S. B. SUSILO, K. ANZHAR, S. SASTRATENAYA, A. R. GODOY dan L. SERVA, "SEISMOTECTONIC CONSIDERATIONS ON BANGKA ISLAND NPP SITING," dalam *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir*, Bali, 2015.
- [3] BAPETEN, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2013 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegempaan, BAPETEN, 2013.
- [4] B. DJAMAL dan S. A. MANGGA, "PETA GEOLOGI LEMBAR BANGKA UTARA, SUMATERA," Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1994.
- [5] Y. MARGONO, R. SUPANDJONO dan E. PARTOYO, "PETA GEOLOGI LEMBAR BANGKA SELATAN, SUMATERA," Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1995.
- [6] BAHARUDDIN dan SIDARTO, "PETA GEOLOGI LEMBAR BELITUNG, SUMATERA," Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung, 1995.
- [7] N. C. D. ARYANTO, J. WIDODO dan P. RAHARJO, "Keterkaitan Unsur Tanah Jarang Terhadap Mineral Berat Ilmenit dan Rutil Perairan Pantai Gundi, Bangka Barat," *Jurnal Geologi Kelautan*, vol. 1, no. no 2, pp. 13-18, 2003.
- [8] SUNARKO dan H. SUNTOKO, "IDENTIFIKASI DAERAH INTERES UNTUK TAPAK PLTN DI PULAU BANGKA," dalam *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV*, 2011.
- [9] FRANTO, "Interpretasi Struktur Geologi Regional Pulau Bangka Berdasarkan Citra Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)," *Jurnal Promine*, vol. 3, no. 1, pp. 10-20, 2015.
- [10] H. MOECHTAR dan S. HIDAYAT, "SEDIMENTOLOGI DAN AKUMULASI KASITERIT PADA ENDAPAN ALUVIUM SEPANJANG AIR INAS HINGGA LAUT LEPAS PANTAI TANJUNG KUBU (TOBOALI), BANGKA SELATAN," *Jurnal Sumber Daya Geologi*, vol. 20, no. 2, pp. 59-68, 2010.
- [11] SUNARJO, M. T. GUNAWAN dan S. PRIBADI, GEMPABUMI EDISI POPULER, Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2012.
- [12] N. HURUKAWA, Practical Analyses of Local Earthquakes, BRI, Tsukuba, JAPAN: International Institute of Seismology and Earthquake Engineering (IISEE), 2007.
- [13] L. OTTEM'OLLER, P. VOSS dan J. HAVSKOV, SEISAN EARTHQUAKE ANALYSIS SOFTWARE FOR WINDOWS, SOLARIS, LINUX, and MACOSX, 2017.

**DISKUSI/TANYA JAWAB**

1. **PERTANYAAN (Siti Alimahi-PKSEN BATAN):**  
Berapa jangkauan deteksi alat seismometer?

**JAWABAN:**

Jangkauan deteksi seismometer tidak dapat diketahui pasti sebab bergantung pada banyak faktor misal magnitudo, jarak gempa, kondisi bawah permukaan dan sebagainya. Sebagai contoh kondisi geologi bawah permukaan dapat melemahkan atau menguatkan gelombang seismik yang datang sehingga dapat mempengaruhi apakah gempa nanti dapat terdeteksi pada alat pengamat atau tidak. Akan tetapi jarak tersebut dapat dikuantifikasi dengan menggunakan pendekatan persamaan *Ground Motion*.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## HARGA JUAL LISTRIK PLTN DI KALIMANTAN BARAT

**Elok S. Amitayani dan Nuryanti**

*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir - BATAN, Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710  
email: eloksa@batan.go.id*

### ABSTRAK

**HARGA JUAL LISTRIK PLTN DI KALIMANTAN BARAT.** Rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat (Kalbar) memiliki nilai yang besar dari sekedar menyuplai kebutuhan listrik di masa mendatang. Pembangunan PLTN akan meningkatkan *capacity building* sumber daya manusia Indonesia, meningkatkan kemampuan industri nasional, dan memberikan sinyal kuatnya komitmen Indonesia dalam menurunkan emisi gas rumah kaca yang menjadi isu global. Untuk menjadi bagian dari bauran energi nasional dalam jangka panjang, energi nuklir harus menguntungkan ke dua arah, yakni *feasible* bagi investornya dan dapat diterima oleh pasar. Agar kedua aspek ini memiliki titik temu, maka pilihan investasi PLTN yang tepat dan keadaan pasar dimana PLTN akan dibangun perlu dipelajari. Makalah ini akan membahas mengenai harga jual listrik PLTN yang optimal yakni memenuhi peraturan pembelian tenaga listrik sekaligus memenuhi kelayakan investasi bagi owner. Dari perhitungan dan analisis yang dilakukan diketahui bahwa hingga 10 tahun ke depan, kapasitas sistem baru mencapai 1100-1200 MW, artinya pembangkit yang ditambahkan adalah pembangkit berkapasitas sekitar 100 MW (10% system). Dengan data yang tersedia, 3 SMR dengan cap  $\leq 100$  MW semua memiliki harga jual minimal lebih besar dari BPP-Pembangkitan Nasional maupun BPP-Pembangkitan Kalbar, agar cukup profit. PLTN yang dibangun sebaiknya berkapasitas  $\leq 100$  MW agar memungkinkan ruang untuk menegosiasikan harga jual listrik, tidak dibatasi oleh harga patokan tertinggi sebagaimana peraturan yang berlaku.

Kata kunci: harga jual tenaga listrik, PLTN, SMR, BPP, PLN

### ABSTRACT

**ELECTRIC POWER PLANT FOR SALE IN KALIMANTAN BARAT.** The planned construction of a nuclear power plant in West Kalimantan (West Kalimantan) has a greater value than just supplying electricity needs in the future. The construction of nuclear power plants will increase the capacity building of Indonesia's human resources, increase the ability of national industries, and signal Indonesia's strong commitment to reduce greenhouse gas emissions which is a global issue. To be part of the national energy mix in the long run, nuclear energy must be beneficial in both directions, namely feasible to investors and acceptable to the market. So that these two aspects have a meeting point, then the right choice of NPP investment and the market conditions where the NPP will be built need to be studied. This paper will discuss about the optimal selling price of NPP electricity, that is, meeting the electricity purchase regulations while meeting the investment feasibility of the owner. From the calculations and analysis carried out it is known that up to 10 years in the future, the capacity of the new system reaches 1100-1200 MW, meaning that the power plant added is a generator with a capacity of around 100 MW (10% system). With the available data, 3 SMRs with a cap of MW 100 MW all have a minimum selling price greater than the National BPP-Generation and West Kalimantan BPP-Generation, so that it is quite profitable. The nuclear power plant that is built should have a capacity of  $\leq 100$  MW to allow space to negotiate the selling price of electricity, not limited by the highest benchmark price in accordance with applicable regulations.

Keywords: the selling price of electric power, NPP, SMR, BPP, PLN

### PENDAHULUAN

Rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat (Kalbar) memiliki nilai yang besar dari sekedar menyuplai kebutuhan listrik di masa mendatang. Pembangunan PLTN akan meningkatkan *capacity building* sumber daya manusia Indonesia, meningkatkan kemampuan industri nasional, dan memberikan sinyal kuatnya komitmen Indonesia dalam menurunkan emisi gas rumah kaca yang menjadi isu global.

Untuk menjadi bagian dari bauran energi nasional dalam jangka panjang, energi nuklir harus menguntungkan ke dua arah, yakni *feasible* bagi investornya dan dapat diterima oleh

pasar. Agar kedua aspek ini memiliki titik temu, maka pilihan investasi PLTN yang tepat dan keadaan pasar dimana PLTN akan dibangun perlu dipelajari.

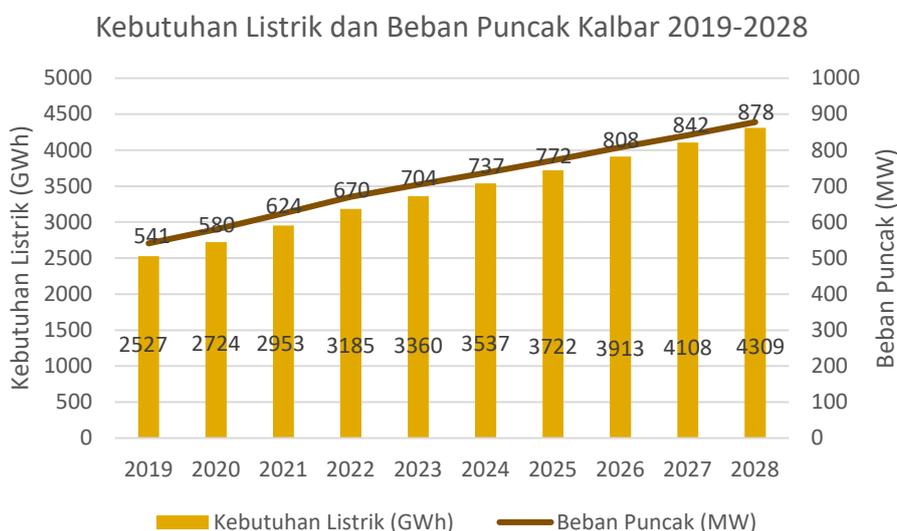
Tujuan dari makalah ini adalah menghitung harga jual listrik yang layak bagi PLTN di Kalbar dalam kondisi jaringan dan peraturan yang berlaku di Indonesia.

### KONDISI KELISTRIKAN KALBAR [1]

Untuk melihat berapa kapasitas pembangkit baru yang dibutuhkan, perlu dilakukan pengamatan terhadap kondisi sistem pembangkitan dan perkembangannya. Pembangkit baru yang dimasukkan ke sebuah sistem sebaiknya berkapasitas tidak melebihi 10% dari kapasitas sistem [2].

Kalbar memiliki sistem transmisi utama 150 kV yang disebut sistem Khatulistiwa. Sistem Khatulistiwa ini melewati kota-kota di Kalbar seperti Pontianak, Sambas, Singkawang, Bangkayang, Ngabang dan Tayan. Selain sistem Khatulistiwa, Kalbar juga memiliki beberapa sistem yang tersebar seperti sistem Sanggau, sistem Sekadau, sistem Sintang, dan beberapa lainnya. Ke depan, sistem-sistem kecil ini akan saling diinterkoneksi dalam satu sistem, bergabung dalam sistem Khatulistiwa. belum terinterkoneksi

Seiring bertambahnya penduduk, maka kebutuhan listrik pun akan meningkat. Selain karena kebutuhan alami dari aktivitas hidup manusia, modernisasi dan industrialisasi juga mendorong pertumbuhan kebutuhan listrik. Gambar berikut memperlihatkan kebutuhan energi listrik (direfleksikan oleh penjualan) dan beban puncak di Kalbar sesuai RUPTL 2019-2028.

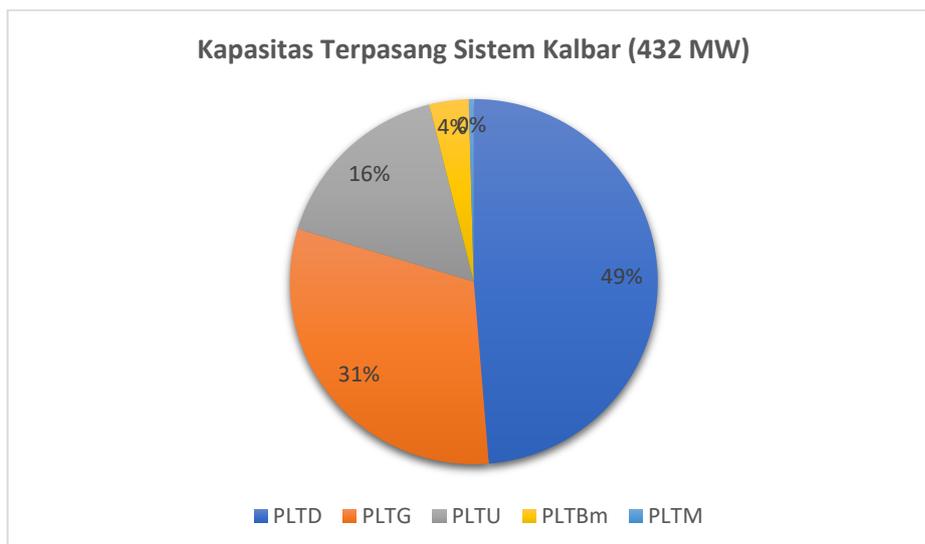


Gambar 1. Kebutuhan listrik dan beban puncak Kalbar 2019-2028

Keseluruhan sistem kelistrikan Kalbar memiliki kapasitas sebesar 662 MW. dimana 230 MW atau 35% nya adalah import dari SESCO Malaysia, dari sumber tenaga air<sup>1</sup>. Dengan kata lain kapasitas terpasang dari pembangkit dalam negeri hanya 432 MW, yang komposisinya ditunjukkan dalam Gambar 2. Tentu saja kapasitas terpasang ini tidak cukup untuk memenuhi beban puncak Kalbar. Import listrik dipasok ke sistem Khatulistiwa untuk mengatasi kekurangan daya, mengantisipasi pembangunan PLTU yang terlambat sekaligus mengurangi Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan (BPP-Pembangkitan<sup>2</sup>) mengingat separuh dari kapasitas terpasang Kalbar berasal dari pembangkit diesel.

<sup>1</sup> Pada saat beban dasar, suplai daya dari Serawak sebesar 100 MW; sedangkan tambahan 130 MW disuplai dari Serawak pada saat beban puncak.

<sup>2</sup> Umumnya dikenal dengan istilah BPP saja, namun istilah dari Kepmen ESDM tentang Besaran Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) yang terbit setiap tahun adalah BPP-Pembangkitan.



**Gambar 2. Kapabilitas Terpasang Sistem Kalbar 2018**

\BPP-Pembangkitan di Kalbar masih relatif tinggi dibanding BPP-Pembangkitan Nasional yakni Rp 1.525/kWh<sup>3</sup>. Perbedaan ini diakibatkan masih banyaknya pembangkit diesel yang dioperasikan di Kalbar. Dalam 10 tahun ke depan 2019-2028, PLN berencana mengurangi pembangkit dieselnnya dan memperbanyak porsi PLTU hingga 80% kapasitas seperti tercermin dalam rekapitulasi rencana pengembangan pembangkit di Tabel 1.

**Tabel 1. Rekapitulasi Rencana Pembangunan Pembangkit [1]**

Tahun	PLN				IPP				Total				
	PLTU	PLTG/MG	PLTM	Jumlah	PLTU	PLTM	PLT Lain	Jumlah	PLTU	PLTG/MG	PLTM	PLT Lain	Jumlah
2019	178	-	-	178	-	-	-	-	178	-	-	-	178
2020	28	-	-	28	20	-	1	217	228	-	-	1	245
2021	-	100	-	100	-	26	5	88	-	100	26	5	178
2022	-	-	-	-	10	-	-	100	100	-	-	-	100
2023	-	-	3	3	10	-	-	100	100	-	3	-	103
2024	-	-	11	11	-	-	-	-	-	-	11	-	11
2025	100	-	8	108	-	-	-	-	100	-	8	-	108
2026	100	-	-	100	-	-	-	-	100	-	-	-	100
2027	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2028	14	-	-	14	-	-	-	-	14	-	-	-	14
<b>Jumlah</b>	<b>419</b>	<b>100</b>	<b>21</b>	<b>540</b>	<b>40</b>	<b>26</b>	<b>6</b>	<b>495</b>	<b>819</b>	<b>100</b>	<b>47</b>	<b>6</b>	<b>1.035</b>

## METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Mempelajari peraturan yang berlaku terkait pembelian tenaga listrik oleh PLN.
2. Menentukan PLTN yang akan disimulasikan harga jualnya dalam sistem Kalbar dengan kriteria.

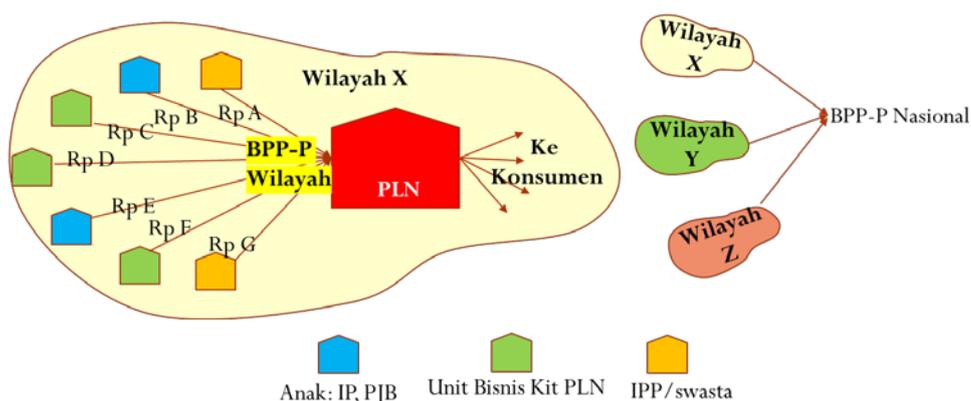
<sup>3</sup> BPP-Pembangkitan Nasional adalah Rp 1.119/kWh

3. Menghitung harga jual listrik PLTN dalam poin 2, dengan memenuhi kriteria kelayakan. Perhitungan harga jual listrik dilakukan menggunakan *spreadsheet* dari PLN.
4. Mengambil kesimpulan.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

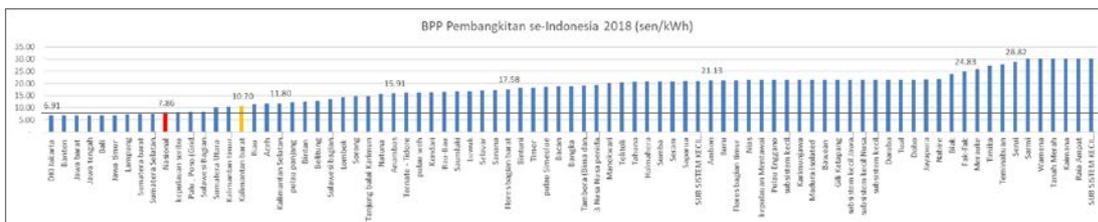
Berdasarkan studi pustaka yang dilakukan, diketahui bahwa PLN adalah pembeli tunggal seluruh tenaga listrik yang diproduksi oleh pembangkit listrik yang tersambung ke jaringan nasional, mengingat keseluruhan jaringan nasional adalah milik PLN baik yang telah terinterkoneksi maupun yang masih bersifat lokal. Namun Keadaan ini tidak berlaku bagi kawasan industri tertentu yang mempunyai pengelolaan listrik tersendiri. Sementara itu, entitas bisnis yang menjual tenaga listriknya ke PLN dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok yakni: anak perusahaan PLN seperti PT Indonesia Power (IP) dan PT Pembangkitan Jawa Bali (PJB), Unit Usaha Pembangkitan milik PLN sendiri, dan swasta murni atau *independent power producer (IPP)*.

Harga jual beli tenaga listrik yang terjadi antara entitas-entitas bisnis tersebut dengan PLN baik di tingkat lokal (wilayah/sistem/subsistem) maupun di tingkat nasional membentuk apa yang disebut dengan Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan (BPP-Pembangkitan). BPP-Pembangkitan adalah biaya penyediaan tenaga listrik oleh PLN di sisi pembangkitan, tidak termasuk biaya penyaluran (transmisi dan distribusi). Keadaan ini dapat digambarkan melalui Gambar 1 di bawah. Pada level lokal atau wilayah/sistem/subsistem, harga pembelian tenaga listrik dari berbagai pembangkit yang berada di bawah naungan entitas-entitas bisnis yang berbeda-beda, dikumpulkan dan membentuk BPP-Pembangkitan wilayah. Begitu pula di level nasional, pembangkit-pembangkit dari wilayah/sistem/subsistem di seluruh Indonesia akan membentuk BPP-Pembangkitan Nasional.



Gambar 1. Skema pembentukan BPP-Pembangkitan Wilayah dan Nasional.

Baik BPP-Pembangkitan lokal dan Nasional dihitung oleh PLN setiap tahun, kemudian diusulkan dan ditetapkan oleh pemerintah yakni menteri ESDM melalui Keputusan Menteri. Kepmen terakhir yang mengatur BPP-Pembangkitan ini adalah Kepmen ESDM No 55 Th 2019 tentang Besaran Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2018 [3]. Kepmen yang keluar tahun 2019 ini adalah realisasi besaran BPP-Pembangkitan selama tahun 2018. Gambar 2 di bawah ini memberikan BPP-Pembangkitan dari Kepmen ESDM No 55 Th 2019. Bar merah serta garis melintang adalah besaran BPP-Pembangkitan nasional yakni 7.86 sen/kWh, sedangkan bar kuning adalah besaran wilayah propinsi Kalbar yakni 10,70 sen/kWh dengan nilai tukar Rp 14.246/US\$.



Gambar 2. Besaran BPP-Pembangkitan wilayah/sistem/subsistem seluruh Indonesia [3].

BPP-Pembangkitan ini akan dijadikan referensi/acuan oleh PLN dalam melakukan pembelian tenaga listrik [4]. Hal ini karena PLN berkepentingan untuk menjaga agar BPP-Pembangkitan baik nasional maupun wilayah/sistem/subsistem tidak cenderung naik dari waktu ke waktu. Untuk melakukan hal itu, maka pemerintah menetapkan harga patokan tertinggi untuk pembelian tenaga listrik oleh PLN yang tertuang dalam beberapa Peraturan Menteri ESDM, seperti Permen ESDM Nomor 19 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Batubara untuk Pembangkit Listrik dan Pembelian Kelebihan Tenaga Listrik (Excess Power) yang diantaranya mengatur harga patokan pembelian tertinggi untuk pembelian tenaga listrik dari PLTU konvensional dan PLTU mulut tambang [5]. Untuk jenis energi lain seperti energi terbarukan, harga patokan tertingginya diatur dalam Permen ESDM Nomor 50 dan Nomor 53 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Listrik.

Dalam Permen ESDM Nomor 19 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Batubara untuk Pembangkit Listrik dan Pembelian Kelebihan Tenaga Listrik (Excess Power) pasal 8 ayat 1-2, kasus PLTU konvensional dibedakan menjadi dua keadaan yakni kapasitas di atas 100 MW dan kapasitas s/d 100 MW:

A. PLTU kapasitas > 100 MW

1. Jika BPP-Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat  $\leq$  BPP-Pembangkitan nasional, **harga patokan tertinggi** = BPP-Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat.

(Sebagai contoh, dengan mengacu pada Gambar 2, hanya ada 9 wilayah/sistem/sub-sistem yang BPP-Pembangkitannya  $\leq$  BPP-Pembangkitan Nasional. Disini, jika akan dibangun PLTU di atas 100 MW, maka harga patokan pembelian tertingginya adalah sama dengan BPP-Pembangkitan setempat. Dengan cara ini PLN mampu mempertahankan BPP-Pembangkitan dari wilayah tersebut tetap di bawah rata-rata Nasional. Namun, tentu saja, ruang negosiasi dapat dibuka dengan beberapa pertimbangan, misalnya, teknologi PLTU yang dipakai adalah teknologi bersih (*clean coal technology*) dimana harga pembelian yang terlalu rendah tidak *feasible* bagi investor.

2. Jika BPP-Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat > BPP-Pembangkitan nasional, **harga patokan tertinggi** = BPP-Pembangkitan nasional. (Sebagai contoh, BPP-Pembangkitan Kalbar ialah 10,70 sen/kWh, lebih besar dari BPP-Pembangkitan Nasional. Maka untuk PLTU di atas 100 MW yang dibangun di Kalbar, harga patokan tertingginya adalah BPP-Pembangkitan Nasional. Dengan cara ini, PLN mampu mempertahankan BPP-Pembangkitan Nasional tidak naik.

B. PLTU kapasitas  $\leq$  100 MW

1. Jika BPP-Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat  $\leq$  BPP-Pembangkitan nasional **harga patokan tertinggi** = BPP-Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat.
2. Jika BPP-Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat > BPP-Pembangkitan nasional, **harga pembelian tenaga listrik** ditetapkan berdasarkan lelang atau mekanisme yang saling menguntungkan (business to business).

Dari aturan tersebut dapat dilihat bahwa untuk wilayah/sistem/subsistem yang BPP-Pembangkitannya  $\leq$  BPP-Pembangkitan Nasional (di Indonesia hanya ada 9), seluruh kelas kapasitas PLTU konvensional diberlakukan harga patokan tertinggi yang sama, yakni sama dengan BPP-Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat (poin A.1 dan B.1).

Perbedaan terjadi pada kondisi dimana BPP-Pembangkitan di sistem ketenagalistrikan setempat > BPP-Pembangkitan nasional. Pada kondisi ini, jika kapasitas PLTU > 100 MW (poin A.2), maka harga patokan tertingginya adalah BPP-Pembangkitan Nasional, namun jika kapasitas PLTU  $\leq$  100 MW (poin B.2), istilah yang dipakai bukan lagi harga patokan tertinggi, melainkan **harga pembelian tenaga listrik** yang dicari dengan cara sebagaimana pada poin B.2 di atas.

Sementara itu, karena belum ada regulasi yang mengatur harga pembelian oleh PLN dari PLTN, maka untuk menyusun studi kasus dalam penelitian ini, diasumsikan bahwa regulasi pembelian tenaga listrik dari PLTN disamakan dengan PLTU konvensional sebagaimana dalam Permen ESDM Nomor 19 Tahun 2017 pasal 8 ayat 1-2 di atas. Hal ini didasarkan pada tipe pembangkit PLTN yang sama dengan PLTU yakni pembangkit uap,

dominan untuk pemakaian *baseload*, dan sekaligus untuk melihat pasar PLTN dalam regulasi yang telah berlaku di Indonesia untuk tipe pembangkit yang sama.

Untuk memutuskan kapasitas PLTN yang akan dibangun, perlu untuk melihat keadaan sistem kelistrikan di Kalbar. Saat ini kapasitas eksisting Kalbar ialah 662 MW dengan daya mampu netto 633 MW. Dari rencana pengembangan pembangkit PLN dalam RUPTL, untuk rencana COD (*commercial operation date*) sampai dengan tahun 2028, kebanyakan kapasitas yang dibangun adalah kelas 50 MW dan 100 MW untuk PLTU, dan 1-unit PLTG kelas 100 MW. Kapasitas lain di bawah 10 MW yaitu berupa PLTU 7 MW, Biomass, Mikrohidro.

Karena sistemnya memang masih kecil, jadi penambahan pembangkit dalam sistem juga memakai kapasitas yang tidak terlalu besar. Sesuai RUPTL 2019-2028, prediksi beban puncak pada tahun 2028 adalah 878 MW. Jika *reserve margin* adalah 30%-40% maka perkiraan kapasitas sistem Kalbar pada tahun 2028 adalah 1.141-1.230 MW. Dengan mengingat suatu *rule of thumb* bahwa penambahan pembangkit baru sebaiknya sebesar 10% dari kapasitas jaringan, maka hingga tahun 2028, penambahan pembangkit di sistem Kalbar ialah sekitar 100 MW. Oleh karena itu, maka PLTN yang dibangun di sistem Kalbar juga berukuran maksimal 100 MW agar tidak mengganggu kestabilan jaringan.

Karena PLTN yang dibangun berukuran maksimal 100 MW, maka yang berlaku kepadanya adalah seperti regulasi untuk PLTU berukuran  $\leq 100$  MW. Di bawah ini adalah tiga PLTN yang dipilih dengan memperhatikan 1) ukuran  $\leq 100$  MW, 2) LWR 3) landbase dan 4) telah sampai di tahap detail desain.

**Tabel 2. Parameter teknis dan ekonomi PLTN dengan kriteria  $\leq 100$  MW, LWR, landbase dan detail desain [6] [7] [8] [9]**

	SMR-1 50 MW	SMR-2 100 MW	SMR-3 100 MW
Kapasitas, MW	50	100	100
Kapasitas netto, MW	47,5	95	95
*OC (pure), \$/kW	5000	5000	10000
OC (1 <sup>st</sup> unit+cont.), \$/kW	6600	6600	13200
Total Investasi (-IDC), \$	388.491.154	760.251.154	1.498.021.154
Total Investasi (+IDC), \$	412.298.489	807.509.715	1.591.592.802
Eskalasi Rp	6,70%	6,70%	6,70%
Eskalasi \$	0,17%	0,17%	0,17%
Nilai Tukar Rp/\$	14.000	14.000	14.000
Debt	70%	70%	70%
Loan Interest	5%	5%	5%
Equity Interest	10%	10%	10%
Efisiensi	31%	32%	30%
Capacity Factor	85%	85%	85%
Burn Up, GWd/ton	40	40	40
Harga Nuclear Fuel, \$/kg	1.390	1.390	1.390
Nuclear Liability Premi, \$/yr	400.000	400.000	400.000
Life Cycle Maintenance Cost, \$/yr	584.018	1.167.209	1.203.674
Man Power Annual Cost, \$/yr	1.308.042	1.308.042	1.308.042
Variable O&M cost \$/kWh	0,000212	0,000212	0,000212
Footprint, m2	140.000	200.000	90.000
Harga Tanah, Rp/m2	350.000	350.000	350.000
Investasi Transmisi (SUTT+GI), \$	14.731.154	14.731.154	14.731.154
Disc. Rate for LCOE	10%	10%	10%

\*OC = overnight cost

Hasil perhitungan untuk parameter kelayakan finansial ketiga PLTN dengan 4 macam harga jual dapat dilihat dalam tabel berikut. Parameter kelayakan yang dimaksud antara lain IRR equity dan IRR project, NPV, BCR, dan payback period. Parameter kelayakan finansial tersebut digunakan untuk melihat keberterimaan investasi dengan harga jual listrik yang ditentukan.

**Tabel 3. Hasil Perhitungan parameter kelayakan finansial ketiga PLTN dengan 4 macam harga jual listrik.**

Sebagai Perbandingan: BPP-P Kalbar = 10.70 sen/kWh, Nas = 7,86 sen/kWh (Kepmen ESDM 55/2019)					
No	Keterangan	Kelayakan Finansial SMR kelas 50, 100 dan 200 MW			
<b>SMR-1, 50 MW, 5000\$/kW</b>					
1	Harga Jual Listrik, senUS\$/kWh	11	12	13	14
2	IRR Equity	6.21%	7.60%	9.10%	10.71%
3	IRR Project	5.86%	6.64%	7.39%	8.10%
4	Net Present Value (NPV), US\$	-28.06 Juta	6.24 Juta	39.53 Juta	71.87 Juta
5	Benefit Cost Ratio (BCR)	0.92	1.02	1.11	1.19
6	Payback Period (PB)	12 y 7 m	10 y 9 m	9 y 7 m	8 y 10 m
7	Payback Period (PB) Discounted	n.a.	48 y 4 m	28 y 7 m	21 y 6 m
<b>SMR-2, 100 MW, 5000\$/kW</b>					
1	Harga Jual Listrik, senUS\$/kWh	10	11	12	13
2	IRR Equity	6.00%	7.41%	8.94%	10.58%
3	IRR Project	5.72%	6.52%	7.29%	8.02%
4	Net Present Value (NPV), US\$	-66.91 Juta	2.01 Juta	68.91 Juta	133.93 Juta
5	Benefit Cost Ratio (BCR)	0.91	1.00	1.10	1.19
6	Payback Period (PB)	12 y 10 m	10 y 11 m	9 y 8 m	8 y 11 m
7	Payback Period (PB) Discounted	n.a.	57 y 4 m	29 y 11 m	21 y 12 m
<b>SMR-3, 100 MW, 10000\$/kW</b>					
1	Harga Jual Listrik, senUS\$/kWh	20	21	22	23
2	IRR Equity	7.21%	7.96%	8.75%	9.56%
3	IRR Project	6.40%	6.82%	7.18%	7.59%
4	Net Present Value (NPV), US\$	-17.76 Juta	54.27 Juta	116.79 Juta	187.46 Juta
5	Benefit Cost Ratio (BCR)	0.99	1.04	1.08	1.13
6	Payback Period (PB)	11 y 2 m	10 y 3 m	9 y 9 m	9 y 4 m
7	Payback Period (PB) Discounted	n.a.	40 y 6 m	31 y 9 m	25 y 11 m

Ketiga PLTN di atas membutuhkan harga jual listrik di atas minimal 12 sen/kWh, 11 sen/kWh dan 21 sen/kWh untuk bisa mencapai kelayakan investasi. Seluruhnya di atas BPP-Pembangkitan Kalbar yang 10,70 sen/kWh. Berdasarkan regulasi untuk PLTU, maka untuk kelas kapasitas  $\leq 100$  MW di wilayah/sistem/subsistem yang BPP-Pembangkitannya  $>$  dari BPP-Pembangkitan Nasional, maka **harga pembelian tenaga listrik** ditetapkan berdasarkan lelang atau mekanisme yang saling menguntungkan (business to business), artinya tidak melihat BPP-Pembangkitan setempat sebagai acuan murni, namun justru menyediakan ruang untuk negosiasi. Tentu saja ini adalah keadaan yang menguntungkan karena harga jual listrik PLTN yang paling minim pun ada di angka 11 sen/kWh. Jika PLTN Kalbar dibangun di atas kapasitas 100 MW, harga jualnya maksimal 7,86 sen/kWh, dibatasi oleh BPP-Pembangkitan Nasional sebagaimana regulasi yang berlaku.

## KESIMPULAN

- Hingga 10 tahun ke depan, kapasitas sistem baru mencapai 1100-1200 MW, artinya pembangkit yang ditambahkan adalah pembangkit berkapasitas sekitar 100 MW (10% system)
- Dengan data yang tersedia, 3 SMR dengan cap  $\leq 100$  MW semua memiliki harga jual minimal  $>$  BPP-P Nas maupun BPP-P Kalbar, agar cukup profit.
- PLTN yang dibangun sebaiknya berkapasitas  $\leq 100$  MW agar memungkinkan ruang untuk menegosiasikan harga jual listrik, tidak dibatasi oleh harga patokan tertinggi sebagaimana peraturan yang berlaku.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin berterima kasih kepada Tim Penyusun Dokumen Kajian Teknologi dan Ekonomi PLTN khususnya Bapak Imam Bastori dan Bapak M. Djoko Birmano yang telah melakukan analisis pemilihan teknologi PLTN dengan kriteria.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT PLN (Persero), "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik 2019-2028," PT PLN (Persero), Jakarta, 2018.
- [2] NEA (Nuclear Energy Agency), "Current Status, Technical Feasibility and Economics of Small Nuclear Reactors," OECD, Paris, 2011.
- [3] Kementerian ESDM Republik Indonesia, "Keputusan Menteri ESDM Nomor 55 Tahun 2019 Tentang Besaran Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan PT Perusahaan Listrik Negara (Persero) Tahun 2018," Jakarta, 2019.
- [4] Kementerian ESDM Republik Indonesia, "Peraturan Menteri ESDM Nomor 24 Tahun 2017 Tentang Mekanisme Penetapan Biaya Pokok Penyediaan Pembangkitan PT Perusahaan Listrik Negara (Persero)," Jakarta, 2017.
- [5] Kementerian ESDM Republik Indonesia, "Peraturan Menteri ESDM Nomor 19 Tahun 2017 Tentang Pemanfaatan Batubara Untuk Pembangkit Listrik Dan Pembelian Kelebihan Tenaga Listrik (Excess Power)," Jakarta, 2017.
- [6] IAEA, *Advances in small modular reactor technology developments*, Vienna, Austria: International Atomic Energy Agency, 2014.
- [7] NEA, *Small modular reactors: Nuclear energy market potential for near-term deployment*, Boulogne-Billancourt, Perancis: Nuclear Energy Agency, 2016.
- [8] "Nuclear Power Economics | Nuclear Energy Costs - World Nuclear Association," [Online]. Available: <https://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/economics-of-nuclear-power.aspx>. [Accessed 01 October 2019].
- [9] "Peraturan Presiden Nomor 74 Tahun 2012 tentang Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir," Jakarta, 2012.
- [10] Kementerian ESDM Republik Indonesia, "Peraturan Menteri ESDM Nomor 50 dan Nomor 53 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Listrik," Jakarta, 2017.

## DISKUSI/TANYA JAWAB

### 1. PERTANYAAN (Citra Candranurani-PKSEN BATAN):

Apakah aturan ini nanti bisa diaplikasikan ketika PLTN sudah dibangun?

### JAWABAN:

Bisa saja. Dalam makalah ini penetapan harga pembelian PLTN mengikuti aturan untuk PLTU karena kesamaan dalam tipe pembangkitnya yaitu steam dan peruntukannya yaitu untuk baseload. Kalau bahan bakar dan teknologinya jelas berbeda. Selain itu, case ini untuk mencoba apakah PLTN yang dipilih dapat menyesuaikan dengan aturan yang sedang berlaku.

## **PENGEMBANGAN PLTU DAN PERHITUNGAN POTENSI DAMPAKNYA TERHADAP PRODUKSI PADI KALIMANTAN BARAT MENGGUNAKAN SIMPACTS**

**Sufiana Solihat**

*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN) – BATAN  
Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan 12710  
email: ssufiana@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

**PENGEMBANGAN PLTU DAN PERHITUNGAN POTENSI DAMPAKNYA TERHADAP PRODUKSI PADI KALIMANTAN BARAT MENGGUNAKAN SIMPACTS.** Salah satu dampak dari emisi pembakaran bahan bakar fosil terhadap lingkungan sekitar adalah menurunnya produktivitas hasil pertanian akibat penurunan kemampuan fotosintesis tanaman. Penurunan hasil pertanian di Provinsi Kalimantan Barat mungkin bisa disebabkan oleh berbagai macam hal. Dalam makalah ini dilakukan analisis sebaran emisi PLTU yang beroperasi di Kalimantan Barat dan mencari keterkaitannya terhadap penurunan hasil produksi padi yang terjadi sejak awal PLTU beroperasi hingga saat ini. Kemudian dilakukan pula kajian potensi penurunan produksi padi pada tahun 2028 akibat pengembangan pembangunan PLTU sebagaimana yang terencana dalam RUPTL PLN 2019-2028. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu pendekatan analisis jalur dampak yang terintegrasi dalam program SIMPACTS. Hasil menunjukkan bahwa penurunan produksi padi sejak awal beroperasinya PLTU hingga tahun 2018 tidak nampak secara signifikan. Walaupun terjadi penurunan terhadap produksi padi pada tahun tersebut, penyebabnya belum dapat dipastikan berasal dari emisi PLTU. Hasil lain mengenai potensi penurunan produksi padi pada tahun 2028 akibat dari emisi PLTU yang direncanakan akan beroperasi hingga akhir tahun tersebut menunjukkan bahwa emisi PLTU dengan total daya 975 MW pada tahun 2028 berpotensi menurunkan produksi padi Kalimantan barat lebih dari 800 Ton per tahun dengan kerugian diperkirakan mencapai angka di atas Rp 7.000.000.000.

Kata kunci: emisi PLTU, penurunan produksi padi, Kalimantan Barat, SIMPACTS

### **ABSTRACT**

**COALFIRED POWER PLANT DEVELOPMENT AND CALCULATION OF ITS POTENTIAL IMPACT ON WEST KALIMANTAN RICE PRODUCTION USING SIMPACTS.** One of the impacts of fossil fuel combustion emissions on the surrounding environment is a decrease in agricultural productivity due to a decrease in the ability of plant photosynthesis. The decline in agricultural output in the province of West Kalimantan may be caused by various of things. In this paper an analysis of the distribution of CPP emissions operates in West Kalimantan and seeks to link them to the decline in rice production that has occurred since the start of the CPP in operation until now. Then a study on the potential for a reduction in rice production in 2028 was also carried out due to the development of the CPP development as planned in the PLN RUPTL 2019-2028. The method used in this research is the impact pathway analysis approach that is integrated in SIMPACTS. The results show that the decline in rice production from the start of the operation of the power plant until 2018 did not appear to be significant. Even if there was a decrease in rice production in that year, the cause could not yet be ascertained from CPP emissions. Other results regarding the potential decline in rice production in 2028 due to CPP emissions planned to be operational until the end of the year show that the emissions of a power plant with a total power of 975 MW in 2028 has the potential to reduce West Kalimantan rice production by more than 800 Tons per year with losses estimated at more than Rp 7,000,000,000.

Keyword: CPP emission, reduction in rice production, West Kalimantan, SIMPACTS

### **PENDAHULUAN**

Dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di Kalimantan Barat, pemerintah maupun swasta telah membangun berbagai jenis pembangkit serta menetapkan kebijakan impor listrik. Hingga tahun 2017 konsumsi listrik di Provinsi Kalimantan Barat sebanyak 2.252 GWh yang

meliputi kebutuhan listrik untuk rumah tangga, industri, bidang usaha, sosial, kantor pemerintahan, dan penerangan jalan umum [1]. Adapun daya mampu yang dihasilkan untuk membangkitkan listrik di sistem tenaga listrik Kalimantan Barat sampai bulan Desember 2016 sebesar 633,1 MW, diantaranya 225,2 MW berasal dari pembangkit milik PLN sendiri, 115 MW berasal dari pembangkit milik IPP, 230 MW merupakan impor listrik dari PLTA Malaysia, serta sisanya berasal dari sewa pembangkit dan lainnya [2]. Pasokan listrik Kalimantan Barat yang berasal dari PLN hingga saat ini masih didominasi oleh Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dengan daya yang relatif kecil, sehingga biaya pokok produksi (BPP) cukup tinggi. Oleh karena itu, untuk menekan BPP serta meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik di Kalimantan Barat, Pemerintah melakukan pengembangan pembangkit non-BBM yakni dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) batu bara. Proyek ini juga ditujukan untuk mengurangi besarnya ketergantungan impor listrik dari Malaysia. Dengan ini pula, direncanakan bahwa PLTD nantinya hanya akan ditempatkan di daerah 3T (terluar, terdepan, dan tertinggal) yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik. Berdasarkan data Rensis PLN Kalbar, PLTU yang telah beroperasi di Kalimantan Barat diantaranya PLTU Sanggau 2x7 MW yang sudah beroperasi sejak tahun 2014, PLTU Ketapang 2x10 MW yang mulai beroperasi pada akhir tahun 2016, PLTU Sintang 3x7 MW yang mulai beroperasi tahun 2018, dan PLTU Kalbar 3 2x50 MW yang mana unit 1 mulai beroperasi pada tahun 2018 dan unit 2 baru beroperasi pada bulan Agustus 2019. Terkait rencana pengembangan PLTU di Kalimantan Barat berdasarkan yang tertulis di Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN 2019-2028, pada tahun 2019 akan mulai beroperasi PLTU Parit Baru dan PLTU Pantai Kura-kura milik PLN dengan jumlah daya 178 MW. Di tahun 2020 direncanakan PLTU Kalbar-1 milik IPP berdaya 200 MW dan PLTU Pantai Kura-kura milik PLN berdaya 28 MW akan mulai beroperasi. Kemudian pada tahun-tahun berikutnya hingga tahun 2028 direncanakan akan dibangun pula unit baru untuk PLTU Kalbar-2, PLTU Kalbar-3, dan PLTU Ketapang Ex Timika dengan daya masing-masing 200 MW, 200 MW, dan 14 MW [2].

Pengembangan PLTU meskipun memiliki manfaat untuk memenuhi kebutuhan listrik, namun perlu diperhatikan dampak negatif yang dapat ditimbulkannya terhadap lingkungan. Sebagaimana yang telah diketahui selama ini bahwa emisi yang dihasilkan dari pembakaran batu bara mengandung senyawa-senyawa yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Batu bara merupakan sumber pencemar udara yang menghasilkan emisi SO<sub>2</sub>, partikulat, dan NO<sub>x</sub> masing-masing sebesar 80%, 69%, dan 65% dari pembakaran di dalam pembangkit, boiler, *furnace* dan sistem pemanas [3]. Pencemar udara yang berkaitan dengan perkembangan industri, seperti SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, dan O<sub>3</sub> permukaan, dapat menyebabkan kerusakan yang cukup serius tidak hanya bagi kesehatan manusia, tetapi juga berdampak terhadap lingkungan alam dan sosial, termasuk tanaman pangan, hutan, sumber daya air, ekosistem, bangunan, dan lain-lain [4][5][6]. Emisi SO<sub>2</sub> dapat menyebabkan hujan asam yang berdampak terhadap kualitas tanah dan pertumbuhan tanaman pangan sehingga akan menyebabkan penurunan hasil pertanian [7].

Indonesia dikenal sebagai negara agraris karena sebagian besar masyarakatnya bekerja sebagai petani. Selain itu sektor pertanian memegang peranan penting di Indonesia karena sebagian besar masyarakat mengkonsumsi nasi sebagai makanan pokok. Begitu pula di Provinsi Kalimantan Barat dimana pertanian merupakan sektor yang mendorong ekonomi daerah dari tahun ke tahun pada kisaran 20-24%, terlebih lagi jumlah tenaga kerja di sektor pertanian mencapai 51,7% dari total penduduk yang berusia 15 tahun ke atas [8]. Maka dari itu sektor pertanian harus mendapat perhatian yang serius, termasuk dalam hal-hal yang dapat menjadi ancaman terhadapnya. Pencemaran udara dari hasil pembakaran batubara di sektor ketenagalistrikan patut menjadi perhatian karena dapat berdampak buruk terhadap hasil pertanian. Di dalam laporan statistik pertanian tanaman pangan Provinsi Kalimantan Barat menyebutkan bahwa produksi padi Kalimantan Barat cenderung mengalami penurunan selama kurun waktu 5 tahun terakhir (2011-2015) [9].

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Hongfa (1989), dosis SO<sub>2</sub> berkorelasi positif terhadap penurunan produksi tanaman pangan, seperti gandum, kentang, padi, jagung, kacang-kacangan, dan lain-lain [3]. Demikian pula dengan penelitian yang telah dilakukan di tahun sebelumnya oleh Zhang (1988), bahwa paparan konsentrasi SO<sub>2</sub> dalam jangka panjang terhadap tanaman pangan akan menurunkan produktivitas hingga 5% karena menurunnya kemampuan berfotosintesis tanaman [10].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah terjadi penurunan produksi padi sejak beroperasinya PLTU di Kalimantan Barat, serta untuk mengetahui potensi penurunan produksi padi pada masa mendatang setelah PLTU beroperasi dalam jumlah tertentu.

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya dengan melihat secara langsung tingkat produktivitas padi selama beberapa tahun terakhir sejak PLTU beroperasi hingga saat ini. Selain itu dilakukan pula perhitungan potensi penurunan jumlah produksi padi pada tahun akhir studi dengan pendekatan analisis jalur dampak/*Impacts Pathway Analysis* (IPA) yang terintegrasi dalam program SIMPACTS. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan bagi para pengambil keputusan dalam upaya pengembangan pembangkit listrik yang lebih ramah lingkungan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik khususnya di Provinsi Kalimantan Barat.

## TEORI

PLTU merupakan salah satu sumber pencemaran udara dari sektor industri, yang menghasilkan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan particulate matter (PM). Emisi NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> dan PM berkorelasi positif dengan pembangkitan listrik [11]. Dalam hal dampaknya terhadap sektor pertanian, penurunan produksi pertanian yang disebabkan oleh pencemaran udara ditentukan oleh konsentrasi pencemar dan durasi paparan, juga dipengaruhi oleh kondisi lingkungan, jenis tanaman, sensitivitas tanaman, umur, temperatur, kelembaban, dan penyinaran. Oleh karena itu, untuk memperkirakan besarnya dosis dapat dihitung dari perkalian antara waktu dan konsentrasi. Pada saat konsentrasi tinggi terjadi, perkiraan dosis ini tidak bisa menjadi acuan penurunan hasil produksi pertanian, karena paparan singkat (1-2 jam) dengan tingkat polusi yang tinggi (>2 ppm) dapat menyebabkan nekrosis jaringan atau kerusakan lain yang mungkin terjadi jika dosis yang sama diberikan dalam durasi yang lebih lama. Akan tetapi, pada tingkat polusi yang tidak menimbulkan kerusakan yang nampak terhadap tanaman, dosis dapat menjadi prediktor untuk penurunan produksi pertanian. Adapun contoh kerusakan yang terjadi diantaranya penurunan kandungan enzim, gangguan respon fisiologis (perubahan pada sistem fotosintesis), gangguan yang nampak secara visual seperti *chlorosis* (perusakan zat hijau daun) dan *flecking* (daun berbintik), kematian tanaman, hingga penurunan hasil produksi pertanian [12][13][14][15].

Untuk mengetahui besarnya dampak konsentrasi pencemar terhadap pertanian, perlu diketahui terlebih dahulu suatu nilai fungsi respon yang menunjukkan perubahan yang dialami reseptor per satuan konsentrasi pencemar. Nilai ini disebut dengan *Exposure Response Function* (ERF). Adapun persamaan yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

$$ERF_{xy} = \begin{cases} 0.007 \times (C_{xy}^{BG})^2 - 0.259 \times C_{xy}^{BG}, & C_{xy}^{BG} \leq 39 \mu\text{g}/\text{m}^3 \\ 0.241 \times C_{xy}^{BG}, & C_{xy}^{BG} > 39 \mu\text{g}/\text{m}^3 \end{cases} \quad (1)$$

dimana,

$C_{xy}^{BG}$  : konsentrasi SO<sub>2</sub> background di wilayah terdampak A<sub>xy</sub> (μg/m<sup>3</sup>)

Kemudian dapat dihitung dampak terhadap reseptor di wilayah domain berupa jumlah penurunan produksi hasil padi di setiap tahunnya (I<sub>r</sub>, Ton/tahun) dengan persamaan berikut:

$$I_r = \sum_{x=1}^{41} \sum_{y=1}^{41} R_{rxy} \times ERF_{rxy} \times C_{xy} \quad (2)$$

dimana,

$R_{rxy}$  : total produksi tahunan dari tanaman pangan jenis tertentu r di wilayah terdampak A<sub>xy</sub> (Ton/tahun)

$ERF_{rxy}$  : *exposure response function* dari reseptor jenis tertentu r (%perubahan hasil panen per μg/m<sup>3</sup>)

$C_{xy}$  : konsentrasi SO<sub>2</sub> tambahan di wilayah terdampak A<sub>xy</sub> (μg/m<sup>3</sup>)

Secara umum perkembangan ekonomi berimbas terhadap peningkatan pencemaran udara. Hal ini menyebabkan terjadinya kerugian ekonomi dan ancaman terhadap keamanan pangan yang telah menjadi masalah yang memprihatinkan di kawasan global [16]. Tidak menutup kemungkinan, kerugian ekonomi dan ancaman keamanan pangan dapat terjadi di kawasan lokal maupun regional. Besarnya kerugian akibat penurunan produksi tanaman pangan (ECY, Rp/tahun) di Kalimantan Barat dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$ECY_r = \sum_{x=1}^{41} \sum_{y=1}^{41} I_{rxy} \times U_r \quad (3)$$

dimana,

$I_{rxy}$  : penurunan produksi tanaman pangan jenis tertentu r di wilayah terdampak A<sub>xy</sub> (Ton/tahun)

$U_r$  : biaya satuan dari reseptor jenis tertentu r (Rp/Ton)

## METODOLOGI

Wilayah penelitian dalam makalah ini meliputi seluruh wilayah Provinsi Kalimantan Barat. Penelitian ini mengacu pada RUPTL PLN 2019-2028 yang direncanakan akan dibangun PLTU berbahan bakar batubara di Provinsi Kalimantan Barat hingga tahun 2028. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini dibagi menjadi 2 (dua). Metode pertama dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya penurunan produksi padi sejak beroperasinya PLTU di Kalimantan Barat hingga saat ini. Metode kedua dilakukan untuk mengetahui besaran potensi penurunan produksi padi pada akhir tahun 2028 setelah jumlah PLTU bertambah.

### 1. Penentuan Ada/Tidaknya Penurunan Produksi Padi Selama Beberapa Tahun Terakhir

Tahapan yang dilakukan untuk mengetahui ada atau tidaknya penurunan produksi padi sejak PLTU beroperasi selama beberapa tahun terakhir, yakni dimulai dari pengumpulan data dan asumsi data yang tidak tersedia, pemetaan lokasi PLTU yang telah beroperasi di Kalimantan Barat, serta pembuatan kurva untuk melihat secara langsung apakah terjadi penurunan produksi padi atau tidak akibat beroperasinya PLTU di wilayah ini.

#### a. Pengumpulan Data dan Asumsi

Adapun data yang diperlukan pada tahapan ini diantaranya produksi padi, luas panen tanaman padi, dan produktivitas padi per hektar di Provinsi Kalimantan Barat secara umum, maupun per kabupaten/kota.

Tabel 1. Data Produksi, Luas Panen, dan Produksi Padi per hektar di Provinsi Kalimantan Barat [9][17][18]

Tahun	Produksi Padi (Ton)	Luas Panen (Ha)	Rerata Produksi per Hektar (Kuintal/Ha)
2011	1.372.989	444.353	30,90
2012	1.300.100	427.798	30,39
2013	1.441.876	464.898	31,01
2014	1.372.695	452.242	30,35
2015	1.275.707	433.944	29,40
2016	1.364.524	496.358	27,49
2017	1.397.953	507.698	27,54
2018	622.041*	214.887*	28,95

Keterangan: \* data sementara

Tabel 2. Produktivitas Padi Provinsi Kalimantan Barat per Kabupaten/Kota Tahun 2011-2018 [9][18]

No.	Kabupaten/Kota	Rerata Produksi Padi (Kwintal/Hektar)							
		2011	2012	2013	2014	2015	2016*	2017*	2018
1	Kab, Sambas	32,84	32,63	34,25	33,29	28,22	28,22	28,22	25,65
2	Kab, Bengkayang	32,95	34,80	32,94	31,72	24,69	24,68	24,68	27,71
3	Kab, Landak	31,54	30,71	32,45	30,37	36,69	36,68	36,68	37,07
4	Kab, Mempawah	36,17	35,05	35,75	35,15	35,96	35,93	35,92	32,85
5	Kab, Sanggau	26,56	24,53	27,35	26,25	32,63	32,62	32,61	23,70
6	Kab, Ketapang	30,06	28,99	30,55	29,23	27,82	27,81	27,81	29,42
7	Kab, Sintang	25,83	28,61	26,69	26,77	24,91	24,90	24,90	22,06
8	Kab, Kapuas Hulu	27,03	23,23	24,87	24,68	22,33	22,32	22,31	23,87
9	Kab, Sekadau	20,81	19,99	21,51	21,64	17,94	17,92	17,92	27,91
10	Kab, Melawi	23,11	21,92	22,32	20,71	21,19	21,17	21,17	24,28
11	Kab, Kayong Utara	31,70	31,68	32,18	31,60	25,19	25,18	25,17	26,35
12	Kab, Kubu Raya	34,09	34,15	34,26	34,25	34,25	34,24	34,24	29,52
13	Kota Pontianak	30,13	30,28	30,14	26,42	24,29	22,93	22,34	34,33
14	Kota Singkawang	33,72	31,83	32,00	30,58	30,12	30,06	30,02	32,22

Keterangan: \* hasil pengolahan data

Selain itu, diperlukan pula data PLTU yang sudah beroperasi di Kalimantan Barat beserta waktu mulai beroperasi dan kapasitas daya yang dibangkitkan.

Tabel 3. PLTU yang sudah beroperasi di Kalbar

No.	PLTU	Mulai Beroperasi	Kapasitas (MW)
1	PLTU Sanggau	Juli dan Desember 2014	2 x 7
2	PLTU Ketapang	Akhir 2016 dan Maret 2017	2 x 10
3	PLTU Kalbar 3	Juni 2018 dan Agustus 2019	2 x 50
4	PLTU Sintang	Oktober 2018	3 x 7
Total Kapasitas			155

Sumber: Rensis PLN Kalbar

#### b. Pemetaan Lokasi PLTU Eksisting dan Pembuatan Kurva

Setelah data terkumpul, selanjutnya dilakukan pemetaan lokasi PLTU yang telah beroperasi untuk mengetahui titik lokasi pembangkit dan wilayah pertanian di daerah Kalimantan Barat. Tidak lupa juga untuk melakukan pemodelan arah dan kecepatan angin rata-rata selama setahun di wilayah studi. Langkah selanjutnya dilakukan pembuatan kurva yang menunjukkan produktivitas padi selama beberapa tahun sebelum dan setelah PLTU beroperasi hingga tahun terakhir data tersedia.

## 2. Perhitungan Potensi Penurunan Padi pada Akhir Tahun 2028

Metode yang dilakukan diantaranya dengan melakukan pendekatan IPA yang terintegrasi dalam program SIMPACTS. Adapun langkah pendekatan IPA yang dilakukan mulai dari mengidentifikasi karakteristik dari sumber emisi. Kemudian melakukan perhitungan dispersi dan transportasi pencemar dengan mempertimbangkan kondisi cuaca di wilayah studi. Selanjutnya menganalisis proses paparan pencemar terhadap reseptor, dalam hal ini reseptor yang dimaksud yaitu tanaman padi. Langkah selanjutnya yakni mengestimasi dampak dari paparan pencemar terhadap tanaman padi dengan mengaplikasikan nilai fungsi respon (ERF). Tahap terakhir yaitu mengkonversi dampak penurunan produktivitas yang dialami tanaman padi ke dalam suatu nilai ekonomi [19].

#### a. Data dan Asumsi

Untuk melakukan identifikasi karakteristik sumber emisi diperlukan beberapa data. Dalam penelitian ini, data yang diketahui diantaranya PLTU direncanakan akan beroperasi di wilayah studi.

Tabel 4. Rencana Pembangunan PLTU di Provinsi Kalimantan Barat hingga tahun 2028 [2]

No.	PLTU	Tahun Operasi	Kapasitas (MW)
1	PLTU Pantai Kura-kura (FTP1)	2019	28
2	PLTU Parit Baru (FTP2)	2019	100
3	PLTU Parit Baru (FTP1)	2019	50
4	PLTU Pantai Kura-kura (FTP1)	2020	28
5	PLTU Kalbar 1	2020	2 x 100
6	PLTU Kalbar 2	2022	100
7	PLTU Kalbar 2	2023	100
8	PLTU Kalbar 3	2025	100
9	PLTU Kalbar 3	2026	100
10	PLTU Ketapang (Ex Timika)	2028	2 x 7
Total Kapasitas			820

Dilakukan pula berbagai asumsi data sebagai bahan input dalam melakukan perhitungan. Beberapa asumsi yang dilakukan diantaranya mengenai spesifikasi pembangkit (tinggi dan diameter cerobong), temperatur dan kecepatan alir di ujung cerobong, serta jumlah emisi SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan PM<sub>10</sub> dari pembangkit dengan satuan Ton/tahun. Adapun asumsi-asumsi tersebut mengacu pada berbagai referensi terkait PLTU yang telah beroperasi di Indonesia.

#### b. Pengelompokan Wilayah Domain

Sebagai input awal dalam program SIMPACTS, yang akan digunakan dalam penelitian ini, diperlukan data domain pembangkit yang memuat titik koordinat dan penentuan ukuran tiap sel yang mewakili sejumlah luas area terdampak. Ditentukan bahwa ukuran tiap sel mewakili 50x50 km area terdampak. Pemodelan yang dilakukan SIMPACTS hanya dapat menghitung dampak dari suatu sumber emisi, sementara dalam penelitian ini terdapat

beberapa sumber emisi karena jumlah PLTU lebih dari satu. Oleh karena ini untuk menyederhanakan maka dilakukan pengelompokan titik emisi, dimana PLTU yang berjarak kurang dari 50 km dianggap sebagai satu titik emisi.

### c. Proyeksi Data dan Asumsi

Data dan asumsi untuk tahun 2028 yang digunakan sebagai input program SIMPACTS ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Data input dan asumsi yang diperlukan untuk tahun 2028 [20]

Data	PLTU A	PLTU B	PLTU C	PLTU D	PLTU E	PLTU F	PLTU G
Daya (MW)	256	250	200	200	34	14	21
Titik Koordinat (°)	0°46'29" LU 108°54'57" BT	0°3'35" LU 109°12'18" BT	0°31'37" LU 109°9'22" BT	0°23'56" LU 109°55'35" BT	1°46'56" LS 109°56'32" BT	0°1'50" LS 110°33'20" BT	0°4'26" LS 111°26'2" BT
Spesifikasi Cerobong:							
Elevasi tanah (m)	30,3	21,4	5,9	142,5	4,1	60	33,5
Tinggi cerobong (m)	107	107	107	107	107	107	107
Diameter cerobong (m)	4	4	4	4	4	4	4
Temperatur keluaran (K)	398	398	398	398	398	398	398
Laju alir (m/detik)	36	36	36	36	36	36	36
Tingkat emisi:							
SO <sub>2</sub> (Ton/tahun)	6.230	6.084	4.867	4.867	827	341	511
NO <sub>x</sub> (Ton/tahun)	8.907	8.699	6.959	6.959	1.183	487	731
PM <sub>10</sub> (Ton/tahun)	57.008	55.672	44.538	44.538	7.571	3.118	4.676

Dalam perhitungan dampak penurunan produksi padi pada tahun 2028, diperlukan data produksi padi di Provinsi Kalimantan Barat yang telah diproyeksikan ke tahun tersebut. Untuk melakukan proyeksi ini, maka diasumsikan laju peningkatan per tahun produksi padi di setiap Kabupaten/Kota menggunakan rerata laju peningkatan produksi padi dari tahun 2011 hingga 2018.

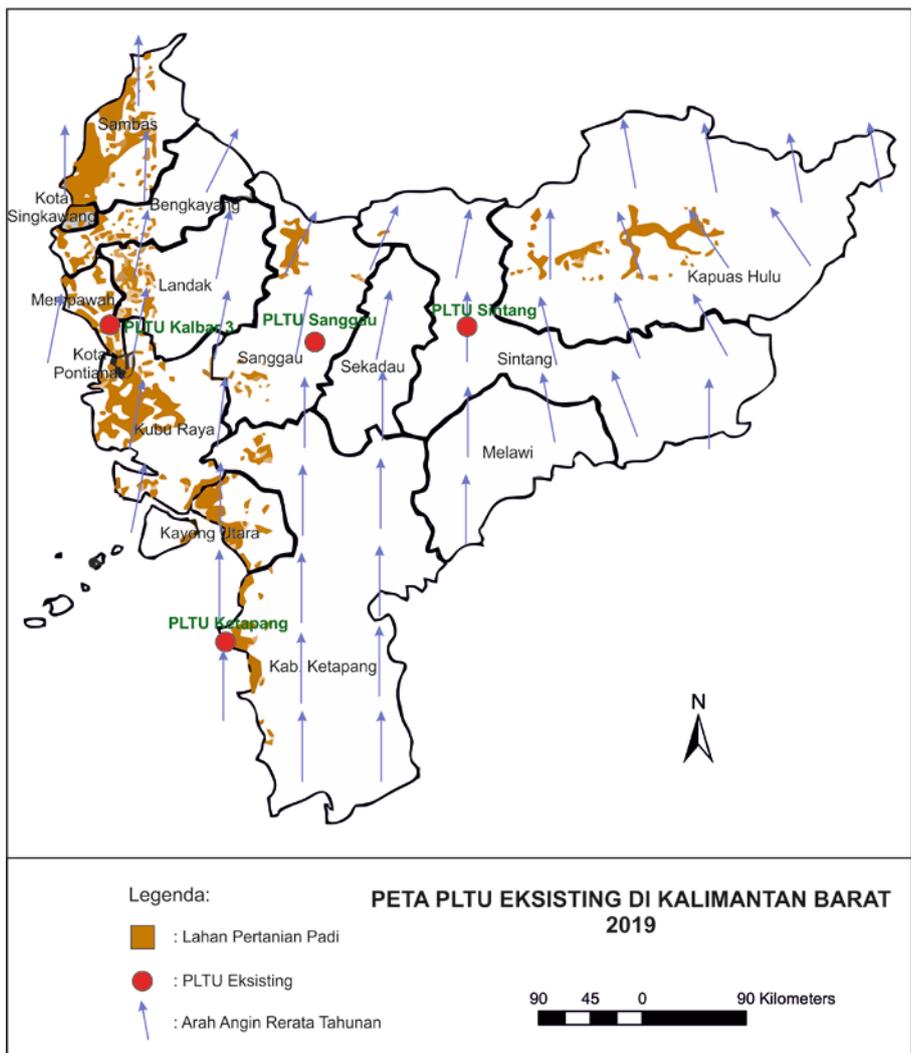
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Penentuan Ada/Tidaknya Penurunan Produksi Padi Selama Beberapa Tahun Terakhir

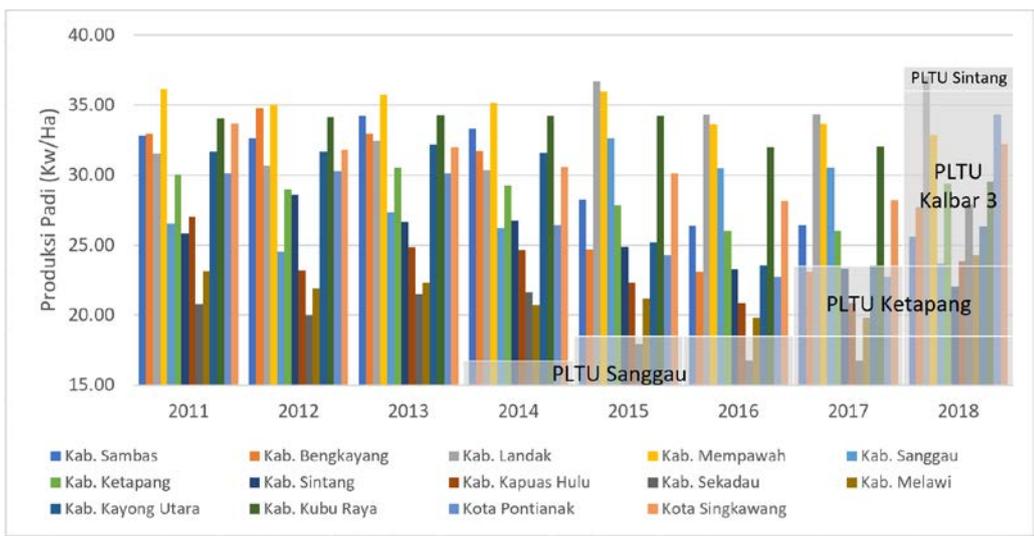
Adapun pemetaan lokasi PLTU eksisting ditampilkan pada Gambar 1. Berdasarkan hasil pemodelan arah dan kecepatan angin yang dihasilkan oleh program SIMPACTS, arah angin dominan selama setahun di wilayah Kalimantan Barat berhembus dari arah selatan ke utara.

Pada mulanya diperkirakan akan terjadi penurunan produksi padi di beberapa lahan padi di Kabupaten/Kota yang berada di sebelah utara PLTU yang beroperasi. Akan tetapi setelah dilakukan kompilasi data dan pengamatan langsung pada kurva yang ditampilkan pada Gambar 2, ternyata perkiraan awal tersebut tidak bisa dibuktikan. Dalam kurva tersebut tidak nampak adanya penurunan produksi padi yang signifikan. Hingga tahun 2018, dari 14 Kabupaten/Kota di Kalimantan Barat terdapat 5 Kabupaten/Kota yang mengalami penurunan produksi padi. Sedangkan 9 Kabupaten/Kota mengalami peningkatan produksi padi.

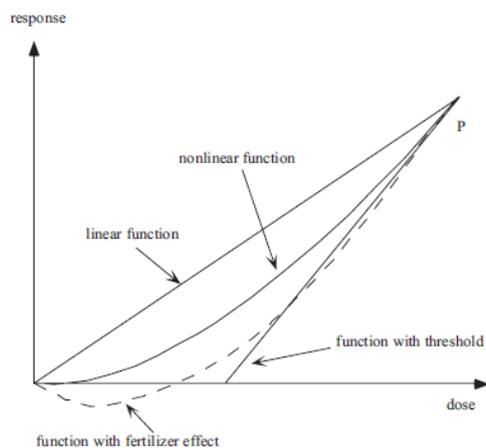
Sejalan dengan ini, berdasarkan berbagai referensi terkait disebutkan bahwa belerang merupakan nutrisi penting untuk pertumbuhan tanaman. Paparan SO<sub>2</sub> tingkat rendah akan berdampak positif terhadap tanaman. SO<sub>2</sub> atmosfer ditangkap oleh tanaman melalui stomata, kemudian berasimilasi dan digunakan untuk mensintesis asam amino yang mengandung sulfur, seperti *methionine* dan *cycteine*. Senyawa yang mengandung belerang sangat penting untuk pertumbuhan tanaman, dan berbagai proses fisiologis dan biokimiawi [15]. Penelitian pun telah dilakukan oleh *European Comission* dalam laporan *ExternE Project* yang menyatakan bahwa ERF SO<sub>2</sub> terhadap tanaman tidak linier, sebagaimana ditampilkan Gambar 3. Hal ini disebabkan dalam dosis kecil, paparan SO<sub>2</sub> dapat bersifat sebagai pupuk terhadap tanaman, sehingga produktivitas dari tanaman akan meningkat [22].



Gambar 1. PLTU yang Sudah Beroperasi di Kalimantan Barat

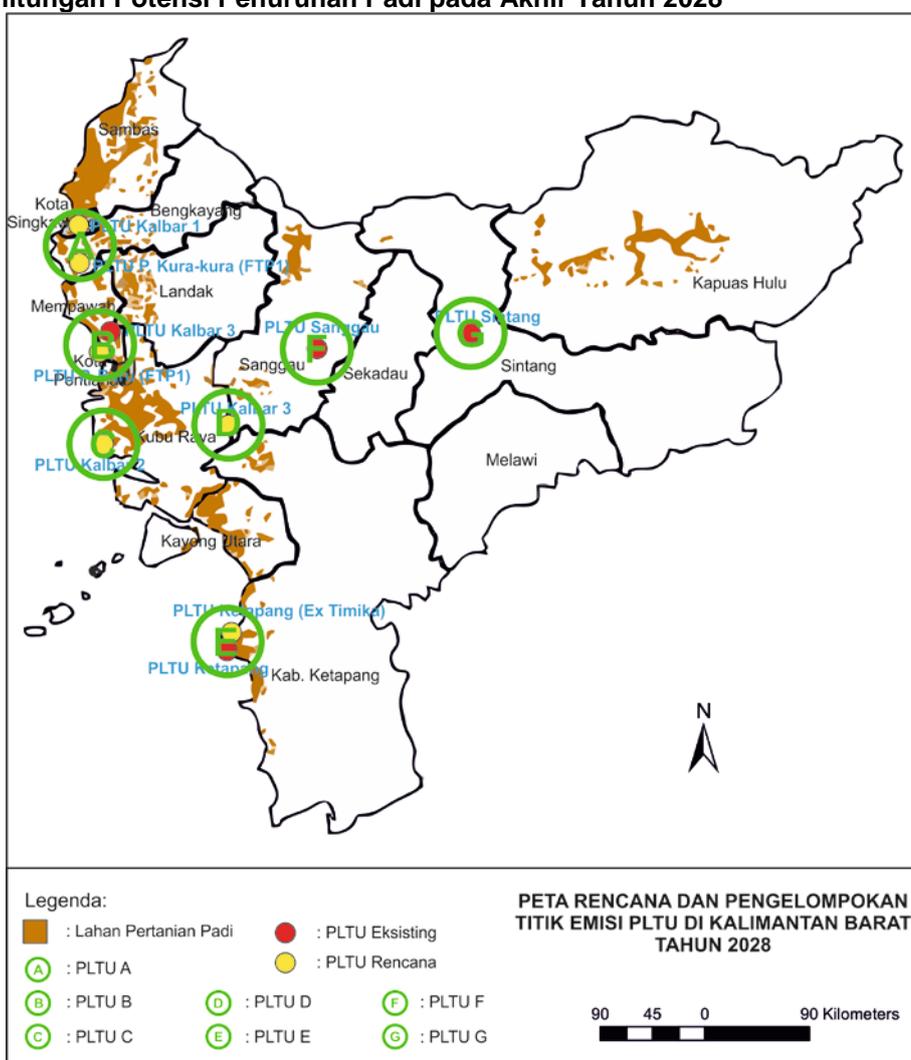


Gambar 2. Fluktuasi Produksi Padi Hingga Tahun 2018



Gambar 3. Kurva Fungsi Respon Dosis [22]

## 2. Perhitungan Potensi Penurunan Padi pada Akhir Tahun 2028



Gambar 4. Rencana dan Pengelompokan Titik Emisi PLTU Kalimantan Barat 2028

Berdasarkan data PLTU yang telah diperoleh, untuk diinputkan ke dalam program SIMFACTS perlu dilakukan pengelompokan PLTU yang berjarak kurang dari 50 km. PLTU yang direncanakan akan beroperasi di Kalimantan Barat pada tahun 2028 berjumlah 14 unit dengan total daya 975 MW, 4 diantaranya merupakan PLTU yang telah beroperasi, dan 10 PLTU akan dibangun secara bertahap hingga tahun 2028. Terdapat beberapa PLTU yang

berjarak kurang dari 50 km, sehingga titik emisi dapat dikelompokkan menjadi 7 titik emisi PLTU, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 4. Ketujuh titik emisi PLTU tersebut masing-masing menjadi input domain dalam SIMPACTS sehingga akan diperoleh 7 hasil pemodelan yang kemudian diagregasi menjadi suatu hasil akhir perhitungan dampak.

Tabel 6. Proyeksi Kepadatan Penduduk dan Produksi Padi per Kabupaten/Kota Tahun 2028

No.	Kabupaten/Kota	Laju Peningkatan Produksi Padi	Produksi Padi (Ton)
1	Kab, Sambas	3,73	488.245
2	Kab, Bengkayang	-5,77	49.799
3	Kab, Landak	2,85	322.170
4	Kab, Mempawah	2,33	109.253
5	Kab, Sanggau	14,32	555.030
6	Kab, Ketapang	6,27	178.383
7	Kab, Sintang	-0,41	83.960
8	Kab, Kapuas Hulu	-2,99	32.354
9	Kab, Sekadau	8,20	70.006
10	Kab, Melawi	2,89	43.234
11	Kab, Kayong Utara	-1,79	73.837
12	Kab, Kubu Raya	0,75	278.213
13	Kota Pontianak	-6,39	688
14	Kota Singkawang	3,93	27.969
Total Produksi Padi			2.313.140

Setelah semua data dan asumsi telah tersedia sebagai bahan masukan untuk program SIMPACTS, maka program dapat dijalankan. Adapun hasil akhir yang diperoleh dari hasil pemodelan yaitu berupa suatu nilai penurunan jumlah produksi padi dalam satuan ton per tahun dengan dasar perhitungan mengacu pada persamaan (2). Penurunan jumlah produksi tersebut kemudian dikonversikan menjadi suatu nilai kerugian dalam satuan Rupiah per tahun, dengan dasar perhitungan mengacu pada persamaan (3). Untuk menghitung kerugian diperlukan data biaya produksi per ton beras yang dihasilkan. Berdasarkan studi referensi, diketahui biaya produksi padi per hektar per musim tanam di daerah Kalimantan Barat pada tahun 2014 sebesar Rp 16.718.182 [21]. Dari jumlah tersebut dapat dihitung besarnya biaya produksi padi untuk setiap ton beras setelah diproyeksikan ke tahun 2028 menjadi Rp 9.281.406/Ton.

Diasumsikan akan terjadi penurunan produksi padi di Kalimantan Barat setelah PLTU beroperasi sejak tahun 2014 hingga 2028 karena jumlah PLTU bertambah sehingga emisinya pun semakin besar. Dari hasil pemodelan dan perhitungan yang telah dilakukan dengan bantuan SIMPACTS, dihasilkan besaran nilai potensi penurunan produksi padi pada tahun 2028 beserta nilai ekonomi yang menyatakan kerugiannya, sebagaimana ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Potensi Penurunan Produksi Padi dan Kerugian Ekonominya

PLTU	Potensi Penurunan Produksi (Ton/tahun)	Kerugian (Rp/tahun)
PLTU A	98,11	910.553.490
PLTU B	155,47	1.442.962.780
PLTU C	71,43	662.927.240
PLTU D	437,67	4.062.231.322
PLTU E	4,65	43.121.714
PLTU F	49,60	460.390.352
PLTU G	8,62	80.011.069
Total	825,54	7.662.197.968

Berdasarkan hasil yang diperoleh, menunjukkan bahwa penurunan produksi padi yang mungkin terjadi pada tahun 2028 sebesar 0,04% dari jumlah produksi padi yang semestinya. Persentase penurunan jumlah produksi padi tersebut memang dapat dikatakan relatif kecil, bahkan tidak mencapai 1%. Namun besarnya kerugian ekonomi yang berpotensi terjadi tidak bisa diabaikan. Jika nantinya hal ini terbukti dan pengembangan PLTU tetap berlanjut, maka tidak menutup kemungkinan kerugian ekonomi dari penurunan produksi padi akibat paparan

emisi PLTU bisa lebih besar lagi. Selain itu, dampak lain dari emisi PLTU juga dapat berimbas terhadap kesehatan manusia tidak dapat dianggap remeh. Oleh karena itu, pemerintah perlu mempertimbangkan jenis pembangkit listrik yang lebih ramah lingkungan dan dapat menghasilkan daya yang besar, salah satu contohnya Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).

#### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pembangunan PLTU sejak tahun 2014 hingga saat ini belum berdampak signifikan terhadap produktivitas padi di Provinsi Kalimantan Barat. Akan tetapi untuk jangka panjang, emisi PLTU berpotensi akan berdampak terhadap sektor pertanian. Adapun besarnya penurunan produksi padi yang berpotensi terjadi pada tahun 2028 akibat emisi PLTU bisa mencapai lebih dari 800 Ton dalam satu tahun, dengan kerugian dapat mencapai lebih dari Rp 7 miliar per tahun.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Suparman yang telah mendukung peningkatan kompetensi SDM melalui pelatihan *E-learning* SIMPACTS IAEA. Terima kasih juga diucapkan kepada saudara Abimanyu Bondan atas bantuannya dalam pembuatan peta.

#### DAFTAR PUSTAKA, ARIAL 10 BOLD

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, "Statistik Ketenagalistrikan 2017", Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta (2018).
- [2] PT. PLN (Persero), "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) 2019 - 2028", PLN (2019).
- [3] HONGFA C., "Air Pollution and Its Effects on Plants in China," J. Appl. Ecol., Vol. 26, No. 3, pp. 763-773 (1989).
- [4] BELL M. L., MORGENSTERN R. D., and HARRINGTON W., "Quantifying the Human Health Benefits of Air Pollution Policies : Review of Recent Studies and New Directions in Accountability Research," Environ. Sci. Policy, Vol. 14, No. 4, pp. 357-368 (2011).
- [5] MIRASGEDIS S., HONTOU V., GEORGOPOULOU E., SARAFIDIS Y., GAKIS N., LALAS D. P., LOUKATOS A., GARGOULAS N., MENTZIS A., ECONOMIDIS D., TRIANTAFILOPOULOS T., KORIZI K., MAVROTAS G., "Environmental Damage Costs from Airborne Pollution of Industrial Activities in The Greater Athens, Greece Area and The Resulting Benefits from The Introduction of BAT," Environ. Impact Assess. Rev., Vol. 28, pp. 39-56 (2008).
- [6] ZHOU Z., "Achieving Food Security in China: Last Three Decades and Beyond," China Agric. Econ. Rev., Vol. 2, No. 3, pp. 251-275 (2010).
- [7] WEI J., GUO X., MARINOVA D., and FAN J., "Industrial SO<sub>2</sub> Pollution and Agricultural Losses in China: Evidence from Heavy Air Polluters," J. Clean. Prod., Vol. 64, pp. 404-413 (2014).
- [8] HERMANTA, "Kontribusi Sektor Pertanian Cukup Besar Terhadap Ekonomi Kalbar," rri.co.id, Pontianak, 2019, Diakses tanggal 17 September 2019, [Online]: [http://rri.co.id/pontianak/post/berita/620499/ekonomi/kontribusi\\_sektor\\_pertanian\\_cukup\\_besar\\_terhadap\\_ekonomi\\_kalbar.html](http://rri.co.id/pontianak/post/berita/620499/ekonomi/kontribusi_sektor_pertanian_cukup_besar_terhadap_ekonomi_kalbar.html).
- [9] Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Barat, "Statistik Pertanian Tanaman Pangan Provinsi Kalimantan Barat Tahun 2015", BPS Provinsi Kalimantan Barat, Pontianak (2016).
- [10] ZHANG Y. M., "Effects of Acid Deposition on Agricultural Crops," Proceedings of Symposium on Effects of Acid Precipitation on Comprehensive Agriculture and Its Countermeasures, pp. 15-23 (1988).
- [11] DAI H., MA D., ZHU R., SUN B., and HE J., "Impact of Control Measures on Nitrogen Oxides , Sulfur Dioxide and Particulate Matter Emissions from," Atmosphere (Basel), Vol. 35, No. x, pp. 1-14 (2019).
- [12] SPRUGEL D. G., MILLER J. E., MULLER R. N., SMITH H. J., and XERIKOS P. B., "Sulfur Dioxide Effects on Yield and Seed Quality in Field-Grown Soybeans," Phytopathology, Vol. 26, pp. 1129-1133 (1980).
- [13] BUDIYONO A., "Pencemaran Udara : Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan," Ber. Dirgant., Vol. 2, No. 1, Hal. 21-27 (2001).
- [14] VARSHNEY C. K., GARG J. K., LAUENROTH W. K., and HEITSCHMIDT R. K., "Plant

- Responses to Sulfur Dioxide Pollution,” C R C Crit. Rev. Environ. Control, Vol. 9, pp. 27–49 (1979).
- [15] LEE H. K., KHAINE I., KWAK M. J., JANG J. H., LEE T. Y., LEE J. K., KIM I. R., KIM W. I., OH K. S., WOO S. Y., “The Relationship Between SO<sub>2</sub> Exposure and Plant Physiology: A Mini Review,” *Hortic. Environ. Biotechnol*, Vol. 58, No. 6, pp. 523–529 (2017).
- [16] DINGENEN R. V., DENTENER F. J., RAES F., KROL M. C., EMBERSON L., and COFALA J., “The Global Impact of Ozone on Agricultural Crop Yields Under Current and Future Air Quality Legislation,” *Atmos. Environ.*, Vol. 43, No. 3, pp. 604–618 (2009).
- [17] Kementerian Pertanian, “Statistik Pertanian 2018”, Jakarta (2018).
- [18] Badan Pusat Statistik Provinsi Kalimantan Barat, “Statistik Dasar Tanaman Pangan,” <https://kalbar.bps.go.id>, 2019.
- [19] SOLIHAT S. dan WIDODO W. L., “Perkiraan Biaya Eksternal dari Fasilitas Nuklir RDE Menggunakan Software SIMPACTS,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir*, Hal. 231-240 (2017).
- [20] NASRULLAH M. dan MASDIN, “Penerapan Biaya Eksternalitas dalam Biaya Pembangunan Listrik di Indonesia,” *Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV*, Hal. 335–345 (2011).
- [21] POPIDYLAH, RADIAN, and A. SUYATNO, “Analisis Pendapatan Usaha Tani Padi di Desa Sungai Kinjil Kecamatan Benua Kayong Kabupaten Ketapang,” *Soc. Econ. Agric.*, Vol. 4, pp. 74–87 (2015).
- [22] European Commission, “Externalities of Energy: Methodology 2005 Update,” *Extern E Project Report*, 2005.

#### **DISKUSI/TANYA JAWAB:**

**1. PERTANYAAN (Siti Alimah-PKSEN BATAN):**

Apakah hasil perhitungan sudah pernah dibandingkan dengan metode lain atau dengan data sekunder lain?

**JAWABAN:**

Hasil perhitungan belum pernah dibandingkan dengan metode lain ataupun data sekunder lain karena belum ada yang melakukan studi yang sama, atau mungkin penulis tidak menemukan data tersebut.

**2. PERTANYAAN (Elok Satiti Amitayani-PKSEN BATAN):**

Apakah penurunan produksi padi hanya diakibatkan oleh emisi PLTU? Bagaimana kalau itu ternyata akibat dari hama wereng atau kemarau? Bagaimana model menjelaskannya?

**JAWABAN:**

Penurunan produksi padi bisa disebabkan oleh berbagai hal, diantaranya karena pengaruh cuaca, hama, kondisi tanah, polusi lingkungan, bencana, irigasi, dan lain sebagainya. Akan tetapi dalam studi ini hanya difokuskan pada dampak pembakaran bahan bakar fosil (khususnya batu bara) terhadap tanaman pangan (padi) di wilayah studi Kalimantan Barat, di mana di dalamnya tidak memperhitungkan faktor-faktor lain seperti yang telah disebutkan di atas.

**3. PERTANYAAN (Edwaren Liun-PKSEN BATAN):**

PLTU yang dibahas dalam makalah ini jenis apa? Berapa luas wilayah terdampak? Bagaimana pengaruh cuaca dalam perhitungan potensi dampak dalam makalah ini?

**JAWABAN:**

PLTU yang dibahas dalam makalah ini adalah yang berbahan bakar batu bara, sebagaimana yang direncanakan dalam RUPTL PLN akan beroperasi di Kalimantan Barat hingga tahun 2028. Luas wilayah terdampak yang diperhitungkan dalam studi ini meliputi seluruh wilayah di Kalimantan Barat. Pengaruh cuaca dalam perhitungan potensi dampak dalam makalah ini sebagaimana hasil pemodelan meteorologi yang terintegrasi dalam program SIMPACTS, yakni diantaranya arah angin rata-rata tahunan dominan ke arah utara.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## **PENILAIAN KINERJA FINANSIAL PROYEK PLTN TEKNOLOGI APR-1400 DI INDONESIA MELALUI ANALISIS RASIO KEUANGAN**

**Nuryanti, Elok Satiti Amitayani**

*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN) BATAN  
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710  
email: nuryanti@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

**PENILAIAN KINERJA FINANSIAL PROYEK PLTN TEKNOLOGI APR-1400 DI INDONESIA MELALUI ANALISIS RASIO KEUANGAN.** Masalah finansial merupakan masalah yang sangat krusial dalam proyek pembangunan PLTN, mengingat proyek PLTN dicirikan sebagai proyek yang padat modal dan padat teknologi serta dengan persyaratan keamanan dan keselamatan yang tinggi. Oleh karena itu calon investor perlu diyakinkan untuk mengambil keputusan investasi pada proyek PLTN tersebut. Keyakinan investasi ini dapat dibangun melalui kinerja finansial proyek yang antara lain dapat diketahui melalui analisis rasio keuangan proyek. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis rasio keuangan dari proyek PLTN teknologi APR1400 berdaya 2 x 1400 MW dari Korea yang telah dibangun di Uni Emirat Arab – UEA (PLTN Barakah) jika diimplementasikan di Indonesia. Dalam penelitian ini difokuskan pada *liquidity ratio* dan *leverage ratio*. Perhitungan menghasilkan nilai *liquidity ratio* masing-masing sebesar: current ratio sebesar 99,26 dan acid test ratio sebesar 99,12. Nilai current ratio menunjukkan bahwa besarnya aktiva lancar adalah 99,26 kali hutang lancarnya. Sedangkan nilai acid test ratio menunjukkan bahwa perusahaan akan dapat membayar kewajiban lancarnya dalam waktu yang singkat. Sedangkan nilai leverage ratio yang diperoleh masing-masing sebesar: debt ratio sebesar 0,37 dan times interest earned sebesar 17,87. Nilai ini menunjukkan bahwa perusahaan mampu membayar beban bunga di masa depan. Berdasar nilai-nilai rasio keuangan yang diperoleh dari perhitungan (baik rasio likuiditas maupun rasio leverage) diketahui bahwa perusahaan PLTN yang diajukan dalam proposal proyek dapat diterima, sehingga hasil ini dapat menjadi bahan pertimbangan bagi investor maupun kreditor untuk mengambil keputusan investasi maupun keputusan memberikan pinjaman pada proyek.

Kata kunci: APR-1400, kinerja finansial, liquidity ratio, leverage ratio.

### **ABSTRACT**

**FINANCIAL FEASIBILITY ANALYSIS: IMPLEMENTATION OF APR-1400 TECHNOLOGY PROJECT IN INDONESIA.** Financing issue is a crucial problem in nuclear power plant (NPP) projects, given that nuclear power projects are characterized as capital-intensive and technology-intensive projects with high security and safety requirements. Therefore prospective investors need to be convinced to make investment decisions on the NPP project. This investment confidence can be built through the financial performance of the project which, among others, can be identified through project financial ratio analysis. This study aims to analyze the financial ratios of the 2 x 1400 MW APR1400 nuclear power plant project from Korea that has been built in the United Arab Emirates - UAE (Barakah nuclear power plant) if implemented in Indonesia. In this study focused on the liquidity ratio and leverage ratio. The calculation produces a liquidity ratio value of: current ratio of 99.26 and an acid test ratio of 99.12. The value of the current ratio shows that the amount of current assets is 99.26 times the current liability. While the acid test ratio value indicates that the company will be able to pay its current liabilities in a short time. While the leverage ratio obtained is: debt ratio of 0.37 and times interest earned of 17.87. This value indicates that the company is able to pay interest expense in the future. Based on the values of financial ratios obtained from calculations (both liquidity ratios and leverage ratios) it is known that NPP company submitted in project proposals can be accepted, so these results can be a consideration for investors and creditors to make investment decisions and decisions to lend to the projects.

Keywords: APR-1400, financial performance, liquidity ratio, leverage ratio

## PENDAHULUAN

Peraturan Pemerintah (PP) No 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) mengamanatkan peningkatan target porsi energi terbarukan (EBT) pada bauran energi nasional, yaitu dari sebesar 5% pada tahun 2015 menjadi 25% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050[1]. Amanat Peraturan Pemerintah ini tentu akan mendorong penyediaan teknologi pembangkitan listrik yang lebih ramah lingkungan sehingga sejalan dengan amanat PP Nomor 22 tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). Dalam PP No. 22 tahun 2017 disebutkan bahwa salah satu dari 11 kriteria yang diamanatkan dalam penyediaan teknologi pembangkitan yang diusulkan adalah kemampuan pembangkit untuk mereduksi emisi CO<sub>2</sub> [2],[3].

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) dapat menjadi salah satu opsi teknologi yang dapat diusulkan dalam mengemban amanat KEN dan RUEN tersebut, disamping pembangkit listrik energi terbarukan yang lain. PLTN dinilai sebagai teknologi yang handal, mengingat karakteristiknya sebagai pembangkit yang kontinyu dimana tingkat availabilitasnya tinggi, yakni di atas 90% serta memasok daya secara konstan. Selain itu, pembangunan PLTN diharapkan dapat menjadi loncatan penguasaan teknologi tinggi, meningkatkan kemampuan industri kawasan dan nasional, akan menambah diversifikasi bahan bakar di dalam sistem sehingga meningkatkan ketahanan energi, serta mengurangi potensi bertambahnya emisi karbon [4],[5].

Proyek PLTN merupakan suatu mega proyek yang padat teknologi, padat modal, persyaratan keamanan dan keselamatan yang tinggi serta waktu konstruksi yang cukup lama. Karakteristik ini menyebabkan tidak mudah bagi pemilik proyek untuk memperoleh pendanaan guna membiayai pembangunan PLTN. Hal ini menjadi tantangan tersendiri bagi pemilik proyek untuk dapat meyakinkan calon investor dalam mengambil keputusan investasi pada proyek PLTN yang dimiliki. Oleh karena itu menjadi penting untuk membantu program energi nuklir pertama kali di negara-negara yang sedang berkembang sehingga dapat membangun PLTN secara efektif, aman serta damai dengan memberikan informasi yang detail, mudah dipahami serta terstruktur yang dikenal sebagai milestone IAEA [6].

Keyakinan calon investor untuk berinvestasi pada proyek PLTN antara lain dapat dibangun melalui kinerja finansial proyek dari studi kelayakan finansial yang telah dilakukan. Kinerja finansial proyek antara lain dapat diketahui melalui nilai-nilai indikator kelayakan seperti Nilai kini bersih (Nett Present Value – NPV) serta tingkat pengembalian internal (Internal Rate of Return – IRR) [7]. Selain itu, kinerja finansial proyek juga dapat diketahui dengan melakukan analisis rasio keuangan dari proyeksi laporan keuangan yang diusulkan. Melalui analisis rasio keuangan ini, calon investor dapat mengetahui kondisi keuangan perusahaan PLTN (*NPP Company*)[8].

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis rasio keuangan dari proyek PLTN teknologi APR 1400 dari Korea yang telah dibangun di Uni Emirat Arab – UEA (PLTN Barakah) jika diimplementasikan di Indonesia. Terdapat empat jenis rasio keuangan yang dapat dianalisis dari suatu laporan keuangan, antara lain: *liquidity ratio*, *leverage/ solvabilitas ratio*, *activing ratio* dan *profitability ratio*. Dalam penelitian ini difokuskan pada *liquidity ratio* dan *leverage ratio*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu calon pemilik proyek maupun *stakeholders* (pemerintah, calon investor, dll) dalam pengambilan keputusan investasi pada proyek PLTN secara lebih komprehensif.

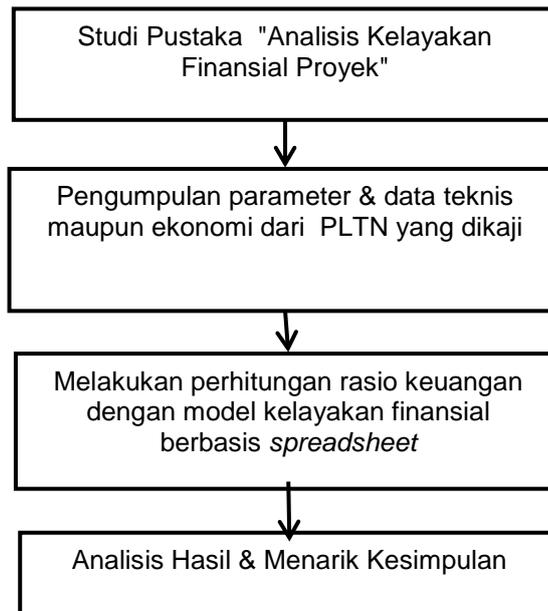
## TEORI/ POKOK BAHASAN

### Alur Penelitian

Penelitian ini dilakukan melalui langkah-langkah yang dinyatakan dengan diagram alir pada Gambar 1.

### Rasio Keuangan

Analisis Rasio Keuangan adalah analisis kuantitatif yang digunakan untuk mengevaluasi berbagai aspek kinerja operasi dan keuangan perusahaan berdasarkan informasi yang terdapat dalam laporan keuangan perusahaan seperti laporan neraca (*balance sheet*), laporan aliran kas (*cash flow statement*) dan laporan laba-rugi (*income statement*). Rasio Keuangan ini dapat digunakan oleh manajemen perusahaan, kreditur atau pemberi pinjaman serta investor dan para pemegang saham. Rasio Keuangan ini juga digunakan oleh para analisis sekuritas dan lembaga pemeringkat kredit untuk menilai kekuatan dan kelemahan berbagai perusahaan yang akan dianalisisnya.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### Liquidity Ratio (Rasio Likuiditas)

#### Rasio Lancar

Rasio Lancar atau *Current Ratio* adalah rasio yang mengukur kinerja keuangan secara likuiditas perusahaan. Rasio lancar dihitung dengan membagikan Aktiva Lancar (current assets) dengan kewajiban atau Hutang Lancar (current liabilities). Rumus Rasio lancar dinyatakan dalam persamaan 1).

$$\text{Rasio Lancar} = \text{Aktiva Lancar} / \text{Hutang Lancar} \quad (1)$$

#### Acid Test Ratio

Rasio Cepat (*Quick Ratio*) adalah rasio yang digunakan untuk mengukur kemampuan perusahaan untuk memenuhi kewajiban jangka pendeknya dengan menggunakan aset yang paling likuid atau aset yang paling mendekati uang tunai (aset cepat). Yang termasuk sebagai Aset Cepat (*Quick Asset*) adalah Aktiva Lancar atau Aset lancar yang dapat dengan cepat dikonversi menjadi uang tunai dan mendekati nilai bukunya. Rumus rasio cepat dinyatakan dalam persamaan 2).

$$\text{Rasio Cepat} = (\text{Aktiva Lancar} - \text{Persediaan}) / \text{Kewajiban Lancar} \quad (2)$$

#### Leverage Ratio

Leverage Ratio atau Rasio Solvabilitas (*Solvency Ratio*) adalah suatu rasio keuangan yang mengukur kemampuan perusahaan untuk memenuhi kewajiban jangka panjangnya seperti pembayaran bunga atas hutang, pembayaran pokok akhir atas hutang dan kewajiban-kewajiban tetap lainnya

#### Debt Ratio

Rasio Hutang (*Debt Ratio*) adalah rasio yang digunakan untuk mengukur seberapa besar perusahaan mengandalkan hutang untuk membiayai asetnya. Rasio Hutang ini dapat menunjukkan proporsi hutang perusahaan terhadap total aset yang dimilikinya. Rumus rasio hutang dinyatakan pada persamaan 3).

$$\text{Rasio Hutang} = \text{Total Hutang} / \text{Total Aset} \quad (3)$$

#### Times Interest Earned Ratio

*Times Interest Earned* adalah rasio yang mengukur kemampuan perusahaan dalam membayar atau menutupi beban bunga di masa depan. Rasio ini sering juga disebut dengan

*Interest Coverage Ratio*. Rumus Times Interest Earned Ratio ini dinyatakan dalam Persamaan 4).

$$\text{Times Interest Earned} = \text{Laba Sebelum Pajak dan Bunga (EBIT)} / \text{Beban Bunga} \quad (4)$$

### Teknologi PLTN APR 1400

Teknologi PLTN APR-1400 dikembangkan oleh industri nuklir Korea dibawah kepemimpinan KEPCO. Desain reaktor berbasis pada desain System 80+ yang disertifikasi oleh Nuclear Regulatory Commission (NRC) di Amerika Serikat. Teknologi APR-1400 merupakan versi upgrade dari teknologi OPR1000 (Optimum Power Reactor) yang merupakan PLTN PWR standar pertama di Korea[9].

Beberapa poin upgrade yang dimiliki oleh teknologi APR-1400 diantaranya meliputi: desain maju, peningkatan keselamatan, peningkatan efektifitas biaya, operasi & perawatan yang lebih nyaman, waktu operasi yang lebih panjang (mencapai 60 tahun) serta didesain untuk tahan terhadap gempa dengan magnitude 7 skala Richter atau lebih. Reaktor ini telah dilisensi oleh badan pengawas tenaga nuklir Korea (Korea Institute of Nuclear Safety – KINS)[10].

### Parameter Teknis PLTN yang Dikaji

Pada penelitian ini diasumsikan akan dibangun 2 unit PLTN dengan teknologi. Parameter teknis dari PLTN APR1400 yang menjadi objek penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1. Parameter Teknis PLTN yang Dikaji**

No	Parameter	Unit	Nilai	Referensi
1	Kapasitas Pembangkit	MW	2 x1.345	
2	Faktor Kapasitas	%	93	[11]
3	Produksi energi listrik tahunan	MWh	21.914.892	
4	Derajat bakar	MWd per metric ton U235	40.000	[12]
5	Tahun Dasar		2015	
6	Waktu Konstruksi	Tahun	6	
7	Umur Pembangkit	Tahun	60	

### DATA & ASUMSI

#### Data Biaya dan Parameter Ekonomi

Komponen biaya-biaya yang membentuk biaya pembangkitan listrik antara lain meliputi: biaya investasi, biaya operasi & perawatan (operation & maintenance – O&M Cost) serta biaya bahan bakar. Biaya dekommissioning dan biaya pengelolaan limbah PLTN diasumsikan termasuk dalam komponen biaya O & M. Untuk kasus PLTN Barakah, nilai kontrak proyek PLTN APR 4 x 1400 MWe adalah sebesar 20,4 Milyar USD. Dengan kata lain besarnya biaya investasi atau overnight cost adalah 3.792 USD/kWe. Karena nilai kontrak tersebut adalah nilai tahun 2009, maka dalam penelitian ini biaya investasi tersebut dikonversi ke tahun dasar (2015) dengan menggunakan *Power Capital Cost Index* (PCCI) sehingga menjadi sebesar 4.068 USD/kWe. Adapun biaya tenaga kerja yang merupakan bagian dari biaya O&M diasumsikan mengikuti standar penggajian PT PLN (Persero). Proyek ini diasumsikan didanai dengan Rupiah (Rp) sebagai porsi Local currency dan *United State Dollar* (USD) sebagai porsi *Foreign Currency*. Data komponen biaya pembangkitan. listrik dan beberapa parameter ekonomi yang digunakan dalam penelitian dinyatakan dalam Tabel 2.

**Tabel 2. Parameter Ekonomi Proyek**

No	Parameter	Unit	Nilai	Referensi
1	Biaya Investasi	Juta USD	10.942,92	[13], [14]
2	Biaya Fixed O & M	Juta USD	157,42	
3	Biaya Variable O&M	Juta USD	13,28	[ 15 ]
4	Biaya Bahan bakar	Juta USD	141,90	
5	Nilai Tukar	Rp/USD	13.000	[16 ]
6	Tingkat pajak perusahaan	%	25	
7	Eskalasi Biaya Bahan bakar	%	1,5	[17]

### Skema Pendanaan

Kasus Indonesia tentu berbeda bila dibandingkan dengan UEA, mengingat pemerintah Indonesia tidak memiliki dana yang cukup kuat untuk pembangunan infrastruktur. Pada penelitian ini diasumsikan bahwa proyek didanai oleh 70% porsi pinjaman dan 30% porsi ekuitas. Porsi pinjaman diasumsikan berasal dari kredit ekspor (*Export Credit Agency – ECA*) dan bank komersial. ECA merupakan jenis pinjaman yang diberikan oleh negara vendor PLTN dalam bentuk produk teknologi PLTN (*equipment*) kepada negara yang ingin membangun PLTN tapi terkendala oleh dana dan negara yang bersangkutan berkewajiban membayar dalam bentuk mata uang asing setelah proyek beroperasi. Skema pendanaan proyek dinyatakan dalam Tabel 3.

**Tabel 3. Skema Pendanaan Proyek**

Sumber Pinjaman	Tingkat bunga	porsi
Bank X, ECA-1	3,43	30,00%
Bank Y, ECA-2	3,43%	30,00%
Bank Z, ECA-3	3,43%	20,00%
Bank A', Commercial	5,79%	20,00%

### Harga Jual Listrik

Berdasar penelitian [18], jika proyek PLTN APR1400 dibangun dengan menggunakan biaya investasi dari proyek PLTN Barakah maka proyek baru dinilai layak pada harga jual listrik minimal sebesar 9 cents USD/kWh. Maka pada penelitian ini, harga jual listrik diasumsikan sebesar 9 cents USD/ kWh.

### Tingkat Diskonto (*Discount Rate*)

Pada penelitian ini diasumsikan nilai discount rate sebesar 10%. Nilai ini sekaligus menjadi MARR (*Minimum Acceptable Rate of Return*), yaitu tingkat pengembalian minimal yang masih diterima oleh pelaku proyek [5].

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4 menyatakan hasil analisis rasio keuangan pada proyek PLTN teknologi APR-1400 dengan daya 2 x 1400 MW dengan biaya investasi mengadopsi dari proyek PLTN Barakah.

**Tabel 4. Hasil Analisis Kelayakan Finansial proyek PLTN APR-1400 dengan Biaya Investasi Mengacu proyek Barakah**

No	Jenis Rasio Keuangan	Nilai
<b>I</b>	<b>Liquidity Ratio</b>	
1	<i>Current Ratio</i>	99,26
2	<i>Acid test Ratio</i>	99,12
<b>II</b>	<b>Leverage Ratio</b>	
3	<i>Debt Ratio</i>	0,37
4	<i>Times Interest Earned Ratio</i>	17,87

### Liquidity Ratio

Berdasar hasil perhitungan diketahui bahwa nilai rasio lancar atau *Current Ratio* sebesar 99,26. Rasio lancar adalah rasio yang mengukur kinerja keuangan negara likuiditas perusahaan. Rasio Lancar ini menunjukkan kemampuan perusahaan untuk memenuhi kewajiban hutang jangka pendeknya pada 12 bulan ke depan. Calon kreditur umumnya menggunakan rasio ini untuk menentukan apakah akan memberikan pinjaman jangka pendek atau tidak kepada perusahaan yang bersangkutan. Semakin tinggi rasio lancarnya, semakin likuid perusahaannya. Hasil *Current Ratio* atau Rasio Lancar yang diterima pada umumnya adalah 2 kali. Rasio Lancar sebesar 2 kali ini dianggap sebagai posisi nyaman dalam keuangan bagi kebanyakan perusahaan. Namun pada dasarnya, Rasio Lancar yang dapat diterima ini bervariasi antara satu industri dengan industri lainnya. Bagi kebanyakan industri, Rasio Lancar sebesar 2 kali sudah dianggap dapat diterima atau "Acceptable". Hasil perhitungan *current ratio* sebesar 99,26 menunjukkan bahwa besarnya aktiva lancar adalah 99,26 kali hutang lancarnya. Dengan kondisi ini menunjukkan bahwa perusahaan diharapkan tidak mengalami kesulitan untuk memenuhi hutang lancarnya.

Namun ada hal yang perlu dicermati jika rasio lancar terlalu tinggi. Nilai rasio lancar yang terlalu tinggi (lebih dari 2 kali) dapat menunjukkan bahwa perusahaan tersebut mungkin tidak menggunakan aset lancar atau fasilitas pembiayaan jangka pendeknya secara efisien. Hal ini juga menunjukkan mungkin adanya masalah dalam pengelolaan modal kerja. Namun bagi Kreditur/ pemberi pinjaman, *Current Ratio* yang tinggi lebih baik daripada *current ratio* yang rendah, karena dengan *current ratio* yang tinggi berarti perusahaan cenderung lebih dapat memenuhi kewajiban hutang yang jatuh tempo dalam 12 bulan ke depan.

Adapun nilai *acid test ratio (quick ratio)* tercatat sebesar 99,12. Rasio Cepat ini biasanya dianggap sebagai tanda kekuatan atau kelemahan finansial perusahaan. Dengan rasio ini, kreditur dapat mengetahui berapa banyak hutang jangka pendek perusahaan yang dapat dipenuhi dengan menjual semua aset likuid perusahaan dalam waktu yang paling singkat.

*Quick Ratio* atau Rasio cepat dihitung dengan mengurangi persediaan (*inventory*) dari aktiva lancar (*current assets*) dan sisanya dibagi dengan kewajiban lancar (*Current Liabilities*). Dikurangkan Persediaan atau Inventori dari perhitungan Aktiva lancar karena persediaan pada dasarnya merupakan aset lancar yang sulit dikonversi dengan uang tunai dalam waktu singkat dan biasanya juga akan terjadi kerugian jika terjadi likuidasi. Semakin tinggi *quick ratio* suatu perusahaan, semakin baik posisi keuangan perusahaan tersebut. Rasio cepat yang dapat diterima umumnya adalah 1 kali, namun dapat bervariasi antara satu industri dengan industri lainnya. Dengan nilai *quick ratio* yang sebesar itu, menunjukkan perusahaan akan dapat membayar kewajiban lancarnya dalam waktu yang singkat. Ini merupakan indikator yang baik bagi kreditur, mitra bisnis maupun investor.

### Leverage Ratio

Hasil perhitungan *Debt Ratio* diperoleh sebesar 0,37. Rasio ini digunakan untuk mengukur seberapa besar perusahaan mengandalkan hutang untuk membiayai asetnya. Rasio Hutang ini dapat menunjukkan proporsi hutang perusahaan terhadap total aset yang dimilikinya. Para Investor dapat menggunakan Rasio hutang atau *Debt ratio* ini untuk mengetahui berapa banyak hutang yang dimiliki oleh perusahaan dibandingkan dengan asetnya. Kreditur/ pemberi pinjaman juga dapat mengukur seberapa tinggi risiko yang diberikan kepada suatu perusahaan. Semakin tinggi rasionya, semakin besar pula risiko yang terkait dengan operasional perusahaan. Sedangkan rasio hutang yang rendah mengindikasikan pembiayaan konservatif dengan kesempatan untuk meminjam di masa depan tanpa risiko yang signifikan. Rendahnya Rasio hutang juga memiliki arti hanya sebagian kecil aset perusahaan yang dibiayai dari hutang.

Jika *debt ratio* kurang dari 0,5 kali, berarti sebagian besar aset perusahaan dibiayai melalui ekuitas. Jika rasionya lebih besar dari 0,5 kali, berarti sebagian besar aset perusahaan dibiayai melalui hutang. Nilai normal rasio hutang biasanya adalah 0,6 hingga 0,7 kali. Tetapi setiap industri memiliki penilaian yang spesifik dan berbeda antara satu jenis industri dengan industri yang lainnya. Karena rasio hutang pada hasil penelitian ini kurang dari 0,5 kali berarti sebagian besar aset perusahaan dibiayai melalui ekuitas dan dapat dikatakan bahwa risiko yang terkait dengan operasional perusahaan lebih kecil.

Adapun nilai *times interest earned* yang diperoleh pada penelitian ini adalah sebesar 17,87. Rasio ini mengukur kemampuan perusahaan dalam membayar atau menutupi beban bunga di masa depan. Nilai ini menunjukkan bahwa besarnya pendapatan sebelum pajak dan bunga (*Earning before interest & tax* - EBIT) adalah sebesar 17,87 kali beban bunga yang harus ditanggung oleh perusahaan. Ini menunjukkan bahwa perusahaan mampu membayar beban bunga di masa depan.

Berdasar nilai-nilai rasio keuangan yang diperoleh dari perhitungan (baik rasio likuiditas maupun rasio leverage) diketahui bahwa perusahaan PLTN yang diajukan dalam proposal proyek dapat diterima, sehingga hasil ini dapat menjadi bahan bagi investor maupun kreditor untuk mengambil keputusan investasi maupun keputusan memberikan pinjaman pada proyek.

## KESIMPULAN

Hasil analisis rasio keuangan menghasilkan nilai-nilai rasio keuangan masing-masing sebesar: rasio lancar sebesar 99,26, *acid test ratio* sebesar 99,12, *debt ratio* sebesar 0,37 dan *times interest earned* sebesar 17,87. Berdasar nilai-nilai rasio keuangan tersebut diketahui bahwa kondisi keuangan perusahaan PLTN yang diajukan dalam keadaan sehat sehingga baik calon investor maupun calon kreditor dapat mempertimbangkan untuk mengambil keputusan investasi maupun memberikan pinjaman/ kredit.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. \_\_\_\_\_, "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional", Jakarta (17 Oktober 2014)
- [2]. KESDM, "Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 43 Tahun 2017 Tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik", Jakarta (2017)
- [3]. \_\_\_\_\_, "Perpres Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional", (2017)
- [4]. BP BATAM dan BATAN, "Laporan Akhir: Studi Awal Rencana Pembangunan PLTN di Kawasan Pulau Bareleng (Batam, Rempang, Galang)", Jakarta (2015)
- [5]. NURYANTI & ELOK SATITI AMITAYANI, "Analisis Kelayakan Finansial Proyek PLTN SMR di Pulau Batam dengan Menggunakan *Software* FINPLAN". *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016*. Batam, 4 – 5 Agustus 2016, ISSN: 2355-7524
- [6]. SUNGYEOL CHOI, et al., "Fourteen Lessons Learned from the Successful Nuclear Power Program of The Republic of Korea". *Energy Policy*, Vol. 37, pp. 5494 – 5508 (2009)
- [7]. BLANK & TARQUIN, "Engineering Economy", 6th, Mc Graw Hill, Singapore (2008).
- [8]. WALSH, C., "*Key Management Ratios* (3rd ed.)". London: Prentice Hall, (2003).
- [9]. <http://www.power-technology.com/projects/barakah-nuclear-power-plant-abu-dhabi/>, diakses tanggal 20 April 2018.
- [10]. IAEA, "Advanced Power Reactor 1400 MWe (APR1400)"
- [11]. PT PLN (Persero), PT LAPI ITB & JAPC, "Feasibility Study for Bangka Nuclear Power Plant Project – Non Site Aspect", Jakarta (2013)
- [12]. ROTHWELL, G. & GANDA, F., "Electricity Generating Portfolios with Small Modular Reactors", *Argonne National Laboratory*, Argonne (May 2014).
- [13]. WNA, "Nuclear Power in the United Arab Emirates", Updated May 2018
- [14]. <https://www.reuters.com/article/emirates-nuclear-southkorea-idUSL8N1CQ5HB>, diakses tanggal 20 April 2018
- [15]. ROTHWELL, G., "The economics of future nuclear power: an update of the economic future of nuclear power (2004), a study conducted at the University of Chicago", Stanford University, Chicago (2011).
- [16]. <https://www.bi.go.id/id/moneter/informasi-kurs/transaksi-bi/Default.aspx>
- [17]. G. LOCATELLI & M. MANCINI, "Small-medium sized nuclear coal and gas power plant: A probabilistic analysis of their financial performances and influence of CO<sub>2</sub> cost", *Energy Policy*, vol. 38, no. 10, pp. 6360–6374, (2010)
- [18]. NURYANTI, et al., "Analisis Kelayakan Finansial: Implementasi Proyek PLTN Teknologi APR 1400 di Indonesia", Seminar Nasional Iptek Nuklir Dasar dan Terapan, Yogyakarta (2018).

HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN

## KAJIAN MITIGASI DAN ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM MELALUI ENERGI NUKLIR DI INDONESIA

Ade Awalludin, Wiryono

Direktorat Perizinan Instalasi dan Bahan Nuklir, Badan Pengawas Tenaga Nuklir  
Email: a.awalludin@bapeten.go.id

### ABSTRAK

**KAJIAN MITIGASI DAN ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM MELALUI ENERGI NUKLIR DI INDONESIA.** Dengan telah disahkannya UU No 16 tahun 2016 tentang pengesahan *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change* (Persetujuan Paris atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim), Indonesia terikat secara hukum seperti halnya negara pihak lainnya untuk melaksanakan aksi mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Dalam dokumen *Nationally Determined Contribution* (NDC) Pertama Republik Indonesia, Indonesia menargetkan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) sebesar 29% dengan upaya sendiri dan menjadi 41% jika ada kerja sama internasional dari kondisi tanpa ada aksi (*business as usual*) pada tahun 2030. Pada skenario emisi GRK tahun 2030, diperkirakan sektor energi akan menjadi kontributor utama penyumbang GRK. Perubahan penggunaan energi fosil menjadi energi terbarukan menjadi upaya pengurangan emisi. Energi nuklir dapat menjadi bagian dari aksi mitigasi karena tidak berdampak pada emisi GRK pada tahap pengoperasiannya. Makalah ini bertujuan menguraikan aksi mitigasi perubahan iklim jika menggunakan energi nuklir dan aksi adaptasi dalam melakukan evaluasi izin pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir di Indonesia. Indonesia tidak memiliki aturan secara khusus untuk adaptasi perubahan iklim terkait pembangunan dan pengoperasian PLTN, akan tetapi peraturan yang ada sudah mencakup proses adaptasi perubahan iklim terkait aspek meteorologi dan hidrologi.

Kata kunci: perubahan iklim, gas rumah kaca, opsi mitigasi dan adaptasi, energi nuklir

### ABSTRACT

**A STUDY OF MITIGATION AND ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE BY USING NUCLEAR ENERGY IN INDONESIA.** Indonesia has enacted Act No. 16 of 2016 on the ratification of the *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Indonesia is legally bound as well as other parties to carry out mitigation actions and climate change adaptation. In the document of the *First Nationally Determined Contribution* (NDC) of the Republic of Indonesia, Indonesia commits to reduce greenhouse gas (GHG) emissions in 2030 by 29% alone and up to 41% with international support against business as usual. According to GHG emission trajectory in 2030, it is estimated that the energy sector is the principal driver of GHG emission. Changes in fossil energy use into renewable energy have become an effort to reduce emissions. Nuclear energy can be part of mitigation options because it does not emit GHG at the operational step. This paper aims to elaborate climate change mitigation actions in case of using nuclear energy and adaptation actions in evaluating an application for nuclear power plants license in Indonesia. Indonesia do not regulate how to adapt to climate change in the development and operation of nuclear power plants, but existing regulations already include adaption to climate change regarding meteorological and hydrological aspects.

Keywords: climate change, greenhouse gas, mitigation and adaptation options, nuclear energy

### PENDAHULUAN

Konsentrasi uap air, Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>), Metana (CH<sub>4</sub>), dan Dinitrogen Oksida (N<sub>2</sub>O) berfluktuasi di atmosfer selama jutaan tahun yang dipengaruhi oleh orbital Bumi, sinar matahari, dan aktivitas vulkanik. Gas tersebut memiliki sifat yang dapat meneruskan radiasi dari matahari (gelombang pendek) sekaligus menyerap gelombang inframerah (termal) yang dipantulkan kembali ke atmosfer oleh permukaan bumi. Gas-gas tersebut membuat energi termal terperangkap sehingga menghangatkan permukaan bumi. Gas tersebut disebut Gas Rumah Kaca (GRK).

Tanpa adanya GRK, suhu permukaan bumi akan sangat dingin ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) dan ditutupi oleh lapisan es. Sejak era industrialisasi yang dimulai tahun 1750 telah terjadi peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer akibat ulah manusia. Konsentrasi  $\text{CO}_2$  meningkat saat pra-industri dari 278 ppm (*parts per million*) menjadi 400 ppm di tahun 2016 yang disertai juga dengan peningkatan konsentrasi gas rumah kaca lainnya. Akibat peningkatan konsentrasi GRK menyebabkan peningkatan suhu rata-rata permukaan bumi sebesar  $0,5-1,3^{\circ}\text{C}$  dengan rentang waktu 1951 dan 2010. Dampak lainnya ialah menghangatnya air laut, kenaikan tinggi permukaan air laut karena pencairan es di kutub utara dan selatan, perubahan siklus hidrologi air dunia, dan terjadinya perubahan iklim yang sangat ekstrim yang semuanya berdampak kepada kehidupan manusia [1].

Dalam upaya mengendalikan berlanjutnya perubahan iklim, Pemerintah Indonesia bersama-sama dengan anggota masyarakat internasional melalui Konferensi Para Pihak ke-21 atau dikenal dengan COP 21 (*Conference of Party ke-21*) terkait United Nations Framework Convention on Climate pada tanggal 12 Desember 2015 di Paris, Perancis telah mengadopsi *Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change* [2]. Hasil konvensi yang dikenal dengan Persetujuan Paris ditindaklanjuti oleh Pemerintah Indonesia dengan penandatanganan Persetujuan tersebut pada tanggal 22 April 2016 di New York, Amerika Serikat [3]. Dalam rezim perubahan iklim, secara umum Indonesia telah berhasil dalam memberikan kontribusi yang signifikan terutama *Bali Action Plan 2007* [4].

Persetujuan Paris merupakan perjanjian internasional tentang perubahan iklim yang bertujuan untuk menahan kenaikan suhu rata-rata global di bawah  $2^{\circ}\text{C}$  dan melanjutkan upaya untuk menekan kenaikan suhu ke  $1,5^{\circ}\text{C}$  dibandingkan suhu dan konsentrasi GRK saat pra-industrialisasi. Selain itu, Persetujuan Paris diarahkan untuk meningkatkan kemampuan adaptasi terhadap dampak negatif perubahan iklim, menuju ketahanan iklim dan pembangunan rendah emisi tanpa mengancam produksi pangan, serta menyiapkan skema pendanaan untuk menuju pembangunan rendah emisi dan berketahanan iklim [3].

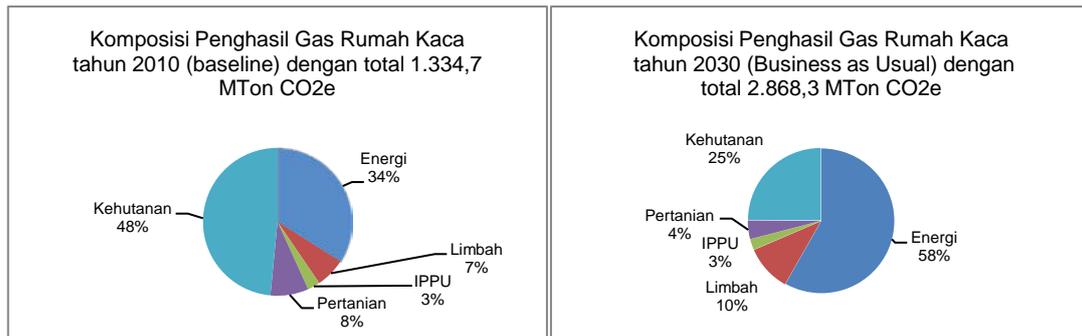
Dalam rangka mencapai tujuan Persetujuan Paris, Indonesia setiap negara pihak telah menetapkan NDC (*nationally determined contribution*) Indonesia mencakup aspek mitigasi dan adaptasi [5]. Dalam dokumen NDC, pada periode pertama, target Indonesia adalah mengurangi emisi sebesar 29 % dengan upaya sendiri dan menjadi 41 % jika ada kerja sama internasional dari kondisi tanpa ada aksi (*business as usual*) pada tahun 2030, yang akan dicapai antara lain melalui sektor kehutanan, energi termasuk transportasi, limbah, proses industri dan penggunaan produk (*industrial process and product use/IPPU*), dan pertanian [3], [6].

Makalah ini bertujuan mengkaji penurunan emisi GRK melalui penggunaan energi nuklir dilakukan sebagai bagian mitigasi perubahan iklim untuk mendukung implementasi Persetujuan Paris dan adaptasi yang dilakukan jika Pemerintah Indonesia memilih energi nuklir. Bahasan lain mencakup adaptasi yang dilakukan oleh Badan Pengawas dalam melakukan evaluasi perizinan pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir sebagai akibat dampak perubahan iklim. Metodologi penelitian dilakukan dengan studi literatur terkait terhadap hasil penelitian, regulasi ketenaganukliran dan rekomendasi dari *International Atomic Energy Agency* (IAEA) sehingga didapatkan hasil kajian yang dapat diterapkan di Indonesia.

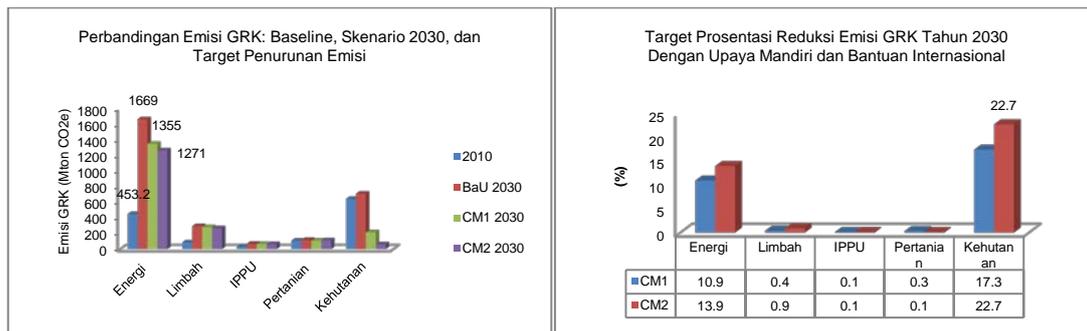
## POKOK BAHASAN

Sebagai dasar perhitungan untuk menurunkan emisi GRK, emisi gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) pada tahun 2010 dijadikan sebagai patokan (*baseline*). Emisi GRK yang dihasilkan mencapai 1.334 Mton  $\text{CO}_2$  yang didominasi oleh sektor kehutanan dan energi sebesar 48% dan 34% (Gambar 1).

Emisi GRK ketika pembangunan di Indonesia tidak mempertimbangkan kebijakan mitigasi perubahan iklim, maka pada tahun 2030 emisi gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) yang dihasilkan akan mencapai 2.868 Mton  $\text{CO}_2$ . Skenario ini dikenal BaU (*business as usual*). Laju emisi  $\text{CO}_2$  bidang energi yang sangat tinggi menyebabkan pada tahun 2030 menyumbang 58% emisi GRK disusul sektor kehutanan sebesar 25% (Gambar 2).



Gambar 1. Komposisi emisi GRK tahun 2010 (kiri) dan emisi GRK pada tahun 2030 tanpa adanya upaya pengendalian (kanan)



Gambar 2 Perbandingan emisi GRK pada tahun 2010, proyeksi 2030 tanpa adanya upaya pengendalian (BaU 2030), dengan pengendalian mandiri (CM1 2030), dan pengendalian dengan bantuan internasional (CM2 2030) (kanan) Target penurunan emisi GRK pada tahun 2030 per-sektor dengan pengendalian mandiri (CM1 2030), dan pengendalian dengan bantuan internasional (CM2 2030) (kiri)

Pada Gambar 2 disajikan perbandingan emisi GRK pada tahun 2010, proyeksi emisi GRK tahun 2030 tanpa adanya upaya pengendalian, proyeksi emisi GRK dengan pengendalian secara mandiri oleh pemerintah Indonesia dengan mempertimbangkan target pembangunan sektoral, dan skenario emisi yang lebih ambisius dan mempertimbangkan target pembangunan sektoral, jika dukungan internasional tersedia [5].

Dari target menurunkan 29% GRK, sektor energi diharapkan menyumbang penurunan emisi GRK sebesar 10,9% dan 13,9% dengan pengendalian secara mandiri oleh pemerintah Indonesia, dan pengendalian emisi GRK dengan bantuan internasional (Gambar 2). Indonesia telah mengambil kebijakan dalam upaya mitigasi untuk penurunan emisi GRK. Kebijakan di bidang energi dilakukan dengan kebijakan bauran energi dan kebijakan nasional mengenai pengembangan sumber energi bersih yang mengarah kepada penggunaan energi bebas karbon. Indonesia menetapkan ambisi untuk melakukan transformasi di bidang energi pada tahun 2025 dan 2050 [7], [8]. Bauran penyediaan energi utama sebagai berikut: a) energi baru terbarukan setidaknya sebesar 23% dan 31% di tahun 2025 dan 2050; b) minyak harus lebih kecil dari 25% di tahun 2025 dan lebih kecil dari 20% di tahun 2050; c) batubara paling sedikit 30% di tahun 2025 dan paling sedikit 25% di tahun 2050; dan d) gas setidaknya paling sedikit 22% di tahun 2025 dan paling sedikit 24% di tahun 2050.

Dengan adanya pengurangan sumber energi berbahan fosil, diperlukan pengganti sumber energi lain yang bebas karbon. Pembangkit energi tenaga nuklir (PLTN) dapat memberikan kontribusi secara signifikan dapat upaya pemenuhan target penurunan emisi dalam Persetujuan Paris karena secara virtual energi nuklir tidak menghasilkan emisi dan mencemari udara selama pengoperasian PLTN [1]. Peraturan di Indonesia mensyaratkan bahwa energi nuklir dapat dimanfaatkan sebagai pilihan terakhir dengan memperhatikan faktor keselamatan secara ketat, mempertimbangkan keamanan pasokan energi nasional dalam skala besar, mengurangi emisi karbon, dan tetap mendahulukan potensi energi baru terbarukan (EBT) sesuai dengan nilai keekonomiannya [9].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Meskipun pemanfaatan energi nuklir merupakan opsi terakhir dalam upaya pemenuhan energi nasional [9], pembahasan berikut merupakan ulasan secara menyeluruh mengenai aksi mitigasi dan adaptasi perubahan iklim dengan menurunkan emisi GRK jika menggunakan energi nuklir di Indonesia

### Mitigasi

Mitigasi perubahan iklim ialah upaya untuk mengurangi emisi GRK sehingga laju perubahan iklim dapat ditekan, semua intervensi manusia yang menurunkan sumber-sumber gas rumah kaca atau yang meningkatkan penyerapannya. Contoh: penggunaan bahan bakar fosil lebih efisien dalam suatu industry atau pembangkit listrik dengan cara misalnya mengalihkan energinya bersumber dari tenaga air, tenaga matahari, tenaga angin, dll [10].

Indonesia telah melakukan upaya mitigasi perubahan iklim secara terintegrasi dengan melibatkan berbagai sektor. Dalam bidang energi, mitigasi dilakukan salah satunya dengan pengurangan energi berbahan bakar fosil dengan mengedepankan energi baru dan terbarukan. Salah satu bentuk energi baru dan terbarukan dalam pemanfaatan bidang energi adalah penggunaan pembangkit menggunakan bahan bakar nuklir. Akan tetapi, energi nuklir menjadi pilihan terakhir dalam upaya tersebut padahal pemanfaatan energi nuklir dengan mengoperasikan PLTN dapat mengurangi emisi GRK secara signifikan. Dengan tidak adanya energi nuklir, atau terbatas pemanfaatan energi nuklir yang dikombinasikan dengan energi dari angin dan sel surya, biaya mitigasi perubahan iklim akan menjadi sangat tinggi. Bahkan penundaan mitigasi dapat berdampak pada kenaikan biaya mitigasi perubahan iklim [11].

Tidak seperti proses pembakaran pada pembangkit berbahan bakar fosil yang menghasilkan energi, proses fusi nuklir yang panasnya dimanfaatkan untuk pembangkitan daya tidak menghasilkan CO<sub>2</sub> atau emisi GRK lainnya secara langsung selama tahap operasi [12]. Meskipun demikian terdapat emisi tidak langsung yang dihasilkan akibat penggunaan energi berbahan bakar fosil dalam beragam siklus bahan bakar nuklir misalnya dalam tahap pertambangan.

Studi terhadap data beberapa pembangkit listrik berbahan bakar batu bara yang ada di pulau Jawa, yaitu PLTU Banten, PLTU Indramayu, dan PLTU Rembang menunjukkan bahwa faktor emisi untuk masing-masing pembangkit secara berurutan adalah 1,03, 1,00 kg/kWh, dan 1,13 kg/kWh. Sedangkan PLTN jenis PWR 1000 MWe memiliki faktor emisi 0 kg/kWh [13]. Dengan membangkitkan daya sebesar 1700 MW/tahun dari ketiga PLTU tersebut akan menghasilkan CO<sub>2</sub> sebesar 16 ribu kTon. Jika mitigasi dilakukan dengan opsi nuklir dan pembangkitan daya tersebut diganti dengan 2 unit PLTN 1000 MWe, maka akan mengurangi emisi CO<sub>2</sub> sebesar 16 ribu kTon.

Jika opsi nuklir dipilih dengan membangun PLTN di Provinsi Bangka Belitung dengan kapasitas 400 MW (studi kasus RUPTL) dan 2700 MW (studi kasus industrialisasi), maka pembangunan PLTN tersebut akan memberikan dampak pada penurunan emisi CO<sub>2</sub> di tahun 2030 sebesar 34,81% untuk kasus RUPTL dan 52,25% untuk kasus industrialisasi [14].

Dalam upaya mitigasi perubahan iklim, BAPETEN sebagai regulator ketenaganukliran hanya berperan sebagai pengawas terkait aspek keselamatan nuklir yang menjamin pembangunan PLTN dengan aman dan selamat.

### Adaptasi

Adaptasi perubahan iklim ialah upaya yang dapat dilakukan untuk menekan dampak negatif dari perubahan iklim, suatu inisiatif atau respon terhadap stimulus atau pengaruh iklim nyata atau perkiraan yang dapat meringankan dampak buruknya atau memanfaatkan peluang-peluangnya yang menguntungkan. Pada manusia, adaptasi dapat bersifat antisipatif atau reaktif dan dapat dilaksanakan oleh sektor-sektor publik atau swasta dan bisa juga terjadi secara otomatis atau direncanakan [10].

Pengoperasian PLTN memerlukan air dalam jumlah yang banyak untuk sebagai pendingin untuk mendinginkan teras reaktor maupun memindahkan panas ke turbin. Air tersebut disuplai dari air laut, danau yang luas dan sungai dengan debit air yang besar. Perubahan iklim akan berdampak pada suhu lingkungan, kualitas dan ketersediaan air sehingga secara tidak langsung berdampak pada pengoperasian PLTN. Secara umum perubahan iklim akan berdampak pada aspek meteorologi dan hidrologi. Indonesia tidak

memiliki regulasi khusus yang mengatur perubahan iklim dalam pembangunan PLTN. Akan tetapi aturan pembangunan PLTN terkait aspek meteorologi dan hidrologi sudah ada.

BAPETEN telah menerbitkan peraturan terkait evaluasi tapak instalasi nuklir untuk aspek hidrologi dan meteorologi [15]. Terdapat tiga tahapan dalam melakukan evaluasi tersebut yaitu: pemantauan dan pengumpulan data dan informasi meteorologi di tapak dan luar tapak, evaluasi bahaya meteorologi, dan penentuan nilai parameter dasar desain untuk aspek meteorologi. Data dan informasi meteorologi yang dipantau dan dikumpulkan meliputi fenomena cuaca ekstrem dan nilai ekstrem parameter meteorologi yang mencakup tekanan udara, suhu udara, curah hujan dan kelembapan udara, arah dan kecepatan angin, dan densitas dan frekuensi petir.

Fenomena cuaca ekstrem merupakan kejadian cuaca yang tidak normal yang dapat mengakibatkan kerugian terutama keselamatan jiwa dan harta. Fenomena cuaca ekstrem umumnya tidak tercatat pada alat pengamatan di tempat karena frekuensi kejadiannya rendah. Fenomena cuaca ekstrem terdiri dari angin kencang yang terdiri dari siklon tropis (badai), puting beliung, gelombang pasang akibat badai dan angin.

Evaluasi bahaya hidrologi di tapak dan di luar tapak untuk yang meliputi ketinggian air tanah, tsunami, gelombang tegak, banjir karena lepasan seketika dari struktur pengendali air, dan gelombang melawan arus dan ombak yang terjadi secara mekanik. Jika hasil evaluasi tapak untuk aspek meteorologi dan hidrologi ditemukan potensi bahaya yang signifikan terhadap keselamatan instalasi nuklir maka harus dilakukan solusi rekayasa. Jika rencana solusi rekayasa tidak dilaksanakan atau tidak memenuhi persyaratan keselamatan, maka BAPETEN menyatakan bahwa tapak tidak layak digunakan [16].

IAEA mengkategorikan dampak perubahan iklim menjadi dua bagian, yaitu perubahan iklim secara gradual (*gradual climate change*) dan kejadian cuaca ekstrim (*extreme weather events*). Dalam *gradual climate change* terjadi perubahan yang lebih lambat dalam jangka waktu bisa mencapai beberapa dekade termasuk perubahan suhu rata-rata, curah hujan, kecepatan dan arah angin, dan tinggi permukaan air laut. Untuk kejadian cuaca ekstrim yang paling relevan dengan pengoperasian pembangkit nuklir termasuk perubahan pola curah hujan dan suhu yang sangat ekstrim, kecepatan angin yang sangat kencang, badai (tropis, cyclone, tornado), dan kebakaran hutan [1].

Berikut ini merupakan sebagian contoh dari dampak perubahan iklim dan aksi adaptasi yang dapat dilakukan di Indonesia.

### 1. Suhu tinggi dan gelombang panas

Secara umum kenaikan temperatur rata-rata di wilayah Indonesia sebesar 0.5–3.92°C pada tahun 2100 dari kondisi *baseline* tahun antara tahun 1981 dan 2010. Suhu udara minimum akan mengalami peningkatan sebesar 0.04 – 0.07°C [17]. Suhu tinggi dapat mengakibatkan penurunan efisiensi termal dan pendinginan, jika suhu terlampaui tinggi dapat mengurangi produksi energi, mempercepat pertumbuhan mikroorganisme dan lumut yang akhirnya dapat menyumbat aliran air [1] yang akhirnya dapat memaksa untuk menghentikan operasi reaktor seperti pada kasus beberapa PLTN di Prancis [18].

Berdasarkan perkiraan terbaru dari IAEA, setiap kenaikan 1°C dalam suhu ambien bulanan, output listrik PLTN akan berkurang 0,7% pada suhu rendah (sekitar 0°C) atau berkurang 2,3% pada suhu relatif lebih tinggi (sekitar 20°C). Pengurangan output ini akan berdampak pada sisi ekonomi [1].

Adaptasi yang dapat dilakukan di Indonesia dengan cara memilih tapak pada daerah tidak memiliki suhu lingkungan ekstrim. Cara lain ialah dengan menggunakan desain pendinginan yang berbeda, menurunkan daya untuk menghindari kenaikan suhu, merubah sistem pendinginan atau sirkulasi untuk menurunkan air buangan, switch dari pendinginan basah ke kering dan meningkatkan perawatan untuk memastikan tidak adanya penyumbatan oleh tumbuhan [1].

### 2. Curah hujan

Berdasarkan data pengamatan curah hujan di lapangan telah terjadi pergeseran bulan basah dan kering. Intensitas curah hujan yang lebih tinggi dan durasi hujan yang lebih pendek terjadi di Sumatera bagian utara dan Kalimantan, lebih lanjut curah hujan rendah dan durasi hujan lebih panjang terjadi di bagian selatan Jawa dan Bali [17]. Hasil observasi terhadap perubahan curah hujan di Malang Raya, Sumatera Selatan dan Kota Tarakan menunjukkan terjadinya curah hujan ekstrem yang lebih disebabkan oleh variabilitas iklim antartahunan (*inter-annual*). Kota Tarakan memiliki curah hujan yang tinggi dalam waktu yang relatif pendek

dan juga pernah mengalami kekeringan yang panjang pada sekitar tahun 1961-1970a. Bahkan di bulan April – Agustus terjadi defisit curah hujan sekitar 100 mm dari nilai-ratanya. Kekeringan di Kota Tarakan merupakan potensi bahaya iklim yang banyak dipengaruhi oleh fenomena El-Nino [17].

Kurangnya curah hujan dan lebih hangatya air pendingin dapat berpotensi mengurangi output bahkan dapat menyebabkan berhentinya pembangkit listrik. Adanya curah hujan yang tinggi ini akan dapat menyebabkan bahaya banjir membawa bahan yang dapat menghalangi asupan air pendingin.

IAEA merekomendasikan adaptasi terhadap curah hujan dengan cara penggunaan kembali air dalam sistem resirkulasi, pembangunan kolam pendingin, peningkatan pendinginan basah, dan pembangunan pendinginan kering. Lebih lanjut Badan Pengawas agar melarang pembangunan PLTN di daerah banjir. Untuk mengantisipasi luapan air, maka disiapkan bendungan, reservoir, peningkatan sistem darinase, dan melindungi daerah resapan air.

### 3. Peningkatan permukaan air laut

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan jumlah pulau sebanyak 17.000 buah dan garis pantai yang panjang serta luas total daratan 1,9 juta km persegi. Besar kemungkinan PLTN pertama Indonesia akan dibangun di tepi pantai. PLTN tepi pantai rentan terhadap badai, kenaikan permukaan air laut, sedangkan PLTN daratan rentan terhadap banjir dari sungai. Masuknya air laut dan banjir dapat menyebabkan PLTN berhenti beroperasi, merusak sistem keselamatan dan sistem interkoneksi, dan menjadi ancaman bagi penyimpanan bahan bakar bekas. Adaptasi yang dilakukan dapat dilakukan mempertimbangkan resiko banjir dalam pemilihan tapak, peningkatan kualitas pintu penahan banjir, meninggikan generator diesel cadangan [1].

### 4. Kebakaran hutan

Indonesia mengalami kebakaran lahan dan hutan yang besar saat terjadinya El Nino dan musim kemarau di tahun 1997 dan 2015. Kebakaran terakhir tersebut berlangsung lebih besar dan telah menghancurkan lahan sebanyak 4.6 Juta Ha serta melepaskan emisi GRK ke atmosfer sebanyak 0.89 gigatons CO<sub>2</sub>e [19], [20]. Terjadinya kebakaran hutan di sekitar tapak PLTN akan mengganggu akses pengiriman personel dan petugas kedaruratan menuju PLTN. Pemilihan tapak pada lahan dengan potensi kebakaran hutan yang mungkin terjadi terjadi di luar tapak dan berimbas pada tapak memerlukan perhatian lebih lanjut. Adaptasi dapat dilakukan dengan mengembangkan akses darurat dalam program kesiapsiagaan nuklir.

Dalam menentukan nilai parameter dasar desain instalasi nuklir untuk aspek meteorologi dan hidrologi meliputi nilai ekstrem parameter meteorologi dan fenomena cuaca ekstrem. Evaluasi bahaya meteorologi maupun hidrologi merupakan kewajiban dalam program evaluasi tapak

## KESIMPULAN

Pada skenario emisi di tahun 2030, diperkirakan sektor energi akan menjadi kontributor utama penyumbang emisi GRK. Perubahan penggunaan energi fosil menjadi energi terbarukan menjadi upaya pengurangan emisi tersebut. Energi nuklir dapat menjadi bagian dari aksi mitigasi karena tidak berdampak pada emisi peningkatan GRK pada tahap pengoperasiannya. Namun, nuklir merupakan pilihan terakhir dalam upaya penurunan emisi GRK dan pengembangan energi di Indonesia.

Jika opsi nuklir terpilih dalam agenda perubahan iklim di Indonesia, diperlukan upaya adaptasi perubahan iklim dalam melakukan evaluasi dalam tahap perizinan tapak hingga operasi PLTN. Indonesia tidak memiliki aturan secara khusus untuk adaptasi perubahan iklim terkait pembanguan PLTN, akan tetapi aturan terkait evaluasi tapak instalasi nuklir dan ketentuan keselamatan evaluasi tapak instalasi nuklir untuk aspek meteorologi dan hidrologi yang ada sudah memadai dalam mengakomodasi proses adaptasi perubahan iklim melalui energi nuklir.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA, *Climate Change and Nuclear Power 2018*. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2018.
- [2] UNFCCC, *Paris Agreement – Decision 1/CP.21 – Report of the Report of the Conference of the Parties on its twenty-first session, held in Paris from 30 November*

- to 13 December 2015. Addendum Part two: Action taken by the Conference of the Parties at its twenty-first, vol. 01194, no. January. 2015, pp. 1–36.
- [3] Republik Indonesia, *Undang-Undang Republik Indonesia No. 16 tahun 2016 Tentang Pengesahan Paris Agreement To The United Nations Framework Convention On Climate Change (Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja PBB Mengenai Perubahan Iklim)*. Indonesia, 2016.
- [4] W. Y. Santoso, “Kebijakan Nasional Indonesia dalam Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim,” *Hasanuddin Law Rev.*, vol. 1, no. 3, p. 371, 2016.
- [5] N. Masripatin, E. Rachmawaty, Y. Suryanti, H. Setyawan, M. Farid, and N. Iskandar, *Strategi Implementasi NDC (Nationally Determined Contribution)*, vol. Kementerian. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017.
- [6] Republik Indonesia, *Nationally Determined Contribution (NDC) Pertama Republik Indonesia*. 2016, pp. 1–18.
- [7] Republik Indonesia, *Summary Nationally Determined Contribution (NDC) dan Progres*. 2017.
- [8] Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah Nomor 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional*. Indonesia, 2014.
- [9] Republik Indonesia, *Peraturan Presiden Nomor 22 tahun 2017 tentang rencana Umum Energi Nasional*. Indonesia, 2017.
- [10] Machfudh, *Istilah-istilah dalam REDD +dan perubahan iklim*. Jakarta: Kementerian Kehutanan RI, 2012.
- [11] IPCC, “Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of working Groups I, II and III to the Fifth Assess,” 2015.
- [12] NEA, *Nuclear Energy: Combating Climate Change*, NEA No. 72. Nuclear Energy Agency, 2015.
- [13] R. F. S. Budi and Suparman, “Perhitungan Faktor Emisi CO<sub>2</sub> PLTU Batubara dan PLTN,” *J. Pengemb. Energi Nukl.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–8, 2013.
- [14] R. F. S. Budi, Suparman, and D. H. Salimy, “Analisis Emisi CO<sub>2</sub> Pada Studi Perencanaan Pengembangan Pembangkitan Listrik Wilayah Bangka Belitung dengan Opsi Nuklir,” *J. Pengemb. Energi Nukl.*, vol. 13, no. 1, pp. 44–55, 2011.
- [15] Republik Indonesia, *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 6 tahun 2014 tentang Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Meteorologi dan Hidrologi*. Indonesia, 2014.
- [16] Republik Indonesia, *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 tahun 2018 tentang Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir*. Indonesia, 2018, pp. 1–58.
- [17] N. Masripatin *et al.*, *Perubahan Iklim , Perjanjian Paris , dan Nationally Determined Contribution*. Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2016.
- [18] N. Kopytko and J. Perkins, “Climate change, nuclear power, and the adaptation-mitigation dilemma,” *Energy Policy*, vol. 39, no. 1, pp. 318–333, 2011.
- [19] S. Lohberger, M. Stängel, E. C. Atwood, and F. Siegert, “Spatial evaluation of Indonesia’s 2015 fire-affected area and estimated carbon emissions using Sentinel-1,” *Glob. Chang. Biol.*, vol. 24, no. 2, pp. 644–654, 2018.
- [20] T. Fanin and G. R. Van Der Werf, “Precipitation – fire linkages in Indonesia ( 1997 – 2015 ),” *Biogeosciences*, vol. 14, pp. 3995–4008, 2017.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## KAJIAN PRAKELAYAKAN INFRASTRUKTUR PLTN WILAYAH NTB

Edwaren Liun, Daru Dewi, Arum Puni Riyanti dan Citra Candranurani

*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, BATAN  
Jl. Kuningan Barat, Jakarta 12710  
email: edwaren@batan.go.id*

### ABSTRAK

**KAJIAN PRAKELAYAKAN INFRASTRUKTUR PLTN WILAYAH NTB.** Introduksi tenaga nuklir membutuhkan komitmen jangka panjang, baik secara nasional maupun internasional. Kerangka waktu dalam 100 tahun harus dipertimbangkan pada sebuah PLTN, meliputi skema penempatan limbah yang dapat diperpanjang lebih lama. Periode implementasi awal berkisar 10-15 tahun, sehingga komitmen program jangka panjang harus dibuat. Ada 19 urusan infrastruktur pada program PLTN yang membutuhkan tindakan spesifik yang masing-masing berada dalam tiga fase. Tiga dari 19 infrastruktur PLTN tersebut yang dicakup dalam makalah ini adalah keterlibatan industri, keterlibatan pemangku kepentingan dan jaringan listrik. Makalah ini bertujuan untuk mendiskusikan perihal ketiga infrastruktur tersebut terkait wilayah interest calon tapak di NTB. Metode yang digunakan adalah pengumpulan data primer melalui survei lapangan yang diolah dengan hasil studi pustaka dan kajian aspek risiko. Sebagai hasil kajian diperoleh bahwa kemampuan industri nasional telah dapat mendukung partisipasi domestik pada level 30 persen atau lebih yang mendominasi pada komponen sipil, mekanik dan elektrik, sedangkan *nuclear island* didominasi oleh komponen import. Keterlibatan pemangku kepentingan memberikan hasil cukup positif yang siap mendukung program PLTN di wilayah NTB, sedangkan dari aspek jaringan listrik untuk tahun 2040 berdasarkan perkembangan saat ini akan dapat mendukung PLTN berskala 100 MWe.

**Kata kunci:** PLTN, infrastruktur, industry nasional, keterlibatan pemangku kepentingan, jaringan listrik.

### ABSTRACT

**PREFEASIBILITY ASSESSMENT OF NPP INFRASTRUCTURES OF NTB REGION.** The introduction of nuclear power requires long-term commitments, both nationally and internationally. The time frame in 100 years must be considered in a nuclear power plant, including a waste placement scheme that can be extended for longer. The initial implementation period ranges from 10-15 years, so long-term program commitments must be made. There are 19 infrastructure matters in the NPP program that require specific actions, each of which is in three phases. Three of the 19 NPP infrastructure covered in this paper are industry involvement, stakeholder involvement and electricity networks. This paper aims to discuss the three infrastructures related to the prospective site's area of interest in NTB. The method used is the collection of primary data through field surveys that are processed with the results of literature studies and studies of risk aspects. As a result of the study it was found that the ability of the national industry has been able to support domestic participation at a level of 30 percent or more that dominates the civil, mechanical and electrical components, while the nuclear island is dominated by import components. Stakeholder involvement gave quite positive results that are ready to support the NPP program in the NTB region, while from the aspect of the electricity network for 2040 based on current developments, it will be able to support 100 MWe scale of NPP.

**Keyword:** NPP, infrastructure, national industry, stakeholder involvement, electricity network.

### PENDAHULUAN

Program penerapan teknologi energi nuklir di sebuah negara membutuhkan dukungan infrastruktur yang terkait dalam berbagai aspek. Ada 19 infrastruktur yang diperlukan dalam mewujudkan pembangunan PLTN, tiga di antaranya yang termasuk dalam pembahasan di sini adalah: 1) keterlibatan industri nasional untuk mendukung program partisipasi industri nasional, 2) kesiapan jaringan listrik untuk menyalurkan energi listrik yang diproduksi dan 3) Keterlibatan pemangku kepentingan yang banyak berkaitan dukungan berbagai pihak pemangku dalam melancarkan akseptabilitas program PLTN di negara atau wilayah bersangkutan.

Untuk mendukung keterlibatan industri nasional, perlu ada kerangka infrastruktur umum di mana industri dapat beroperasi. Infrastruktur pendukung ini berpengaruh secara langsung pada respons kemampuan nasional dalam penerapan teknologi energi nuklir. Sektor industri tidak dapat berkembang jika tidak ada personil yang memenuhi syarat untuk menjalankan fungsi yang diperlukan. Dengan demikian, industri tidak dapat beroperasi tanpa kemampuan personil, kerangka hukum yang menetapkan peraturan, arahan, kode dan standar, perizinan, jaminan kualitas dan penegakan hukum. Selain itu, komunikasi dan transportasi sangat penting bagi industri, seperti halnya infrastruktur litbang dan kerangka hukum untuk mengatur semua sektor[1].

Jaringan listrik adalah sistem kelistrikan yang terkoneksi secara luas ke pusat-pusat konsumen, yang terdiri dari saluran transmisi dan saluran distribusi. Pembangkit listrik tenaga nuklir paling efisien dan aman dijalankan sebagai pembangkit beban dasar, dan sistem jaringan harus cukup besar. Selain itu, frekuensi sistem sulit dikendalikan jika lebih dari 10% dari kapasitas grid tiba-tiba lepas dari sistem, seperti yang mungkin terjadi jika ada operasi reaktor sebagai satuan pembangkit yang besar.[2] Akibatnya, jika reaktor nuklir baru bertanggung jawab untuk daya lebih dari 10% dari total kapasitas jaringan pada saat terhubung, maka kajian terperinci perlu menetapkan bahwa frekuensi sistem dapat dikontrol dengan andal setelah generator PLTN berputar. Selain ukurannya, keandalan grid juga penting, karena keluaran daya yang disediakannya untuk sistem keselamatan harus benar-bener andal[3]. Oleh karena itu, langkah awal dalam mempertimbangkan introduksi PLTN adalah penilaian terhadap ukuran dan keandalan jaringan listrik saat ini dan rencana ke depan adalah dengan membahas hal-hal berikut: [1][4]

- Kemampuan grid yang ada sehubungan dengan teknologi PLTN yang tersedia, termasuk kemampuannya untuk secara andal memikul beban dasar oleh PLTN, kemampuannya untuk menahan kehilangan output PLTN dan kemampuannya untuk secara andal memasok tenaga dalam keadaan darurat selama terjadi pemadaman PLTN;
- Pertumbuhan kapasitas grid untuk mengantisipasi masa depan;
- Riwayat keandalan dari jaringan listrik;
- Potensi interkoneksi lokal atau regional untuk meningkatkan karakteristik jaringan.

Pemangku kepentingan meliputi masyarakat umum, legislator, lembaga pemerintah dan pembuat keputusan, dan yang terpengaruh ketika program tenaga nuklir berlangsung, seperti pemilik / operator, badan pengawas, calon pemasok, pekerja, masyarakat di dekat lokasi yang mungkin, negara tetangga dan organisasi non-pemerintah.[5] Keterlibatan pemangku kepentingan sebaiknya dicapai melalui dialog terbuka antara pemerintah, pemilik / operator dan semua pemangku kepentingan lainnya. Para pemangku kepentingan yang paling berpengaruh dan para pemimpin opini masyarakat akan bervariasi di berbagai negara dan dapat mencakup pejabat pemerintah nasional dan lokal, pemimpin bisnis dan industri, media, dan pemimpin organisasi non-pemerintah. Namun, semua warga negara yang bersangkutan harus diberi informasi dan peluang yang relevan untuk terlibat[6]. Sementara program informasi terbuka penting, berkelanjutan, keterlibatan sosiopolitik yang berhasil akan tergantung pada kompetensi dan kredibilitas organisasi dan individu yang bertanggung jawab atas program tenaga nuklir. Kompetensi badan pengawas dan pemilik / operator sangat penting untuk menjaga kepercayaan publik.

## **POKOK BAHASAN**

Peluncuran program tenaga nuklir adalah komitmen utama bagi suatu negara yang harus direncanakan dengan cermat karena memerlukan investasi dan sumberdaya yang besar serta melibatkan banyak pemangku kepentingan, yakni: pemerintah, badan pengawas, utilitas listrik, operator jaringan listrik, lembaga penelitian, universitas dan masyarakat. IAEA telah mengembangkan proses pedoman tahapan (mendokumentasikan "Tahapan dalam Pengembangan Infrastruktur Nasional PLTN" No. NG-G-3.1) untuk membantu negara terkait bekerja secara sistematis menuju introduksi PLTN. Secara khusus ini berfungsi untuk menandai kemajuan selama tahap perencanaan, dan untuk menunjukkan kepada pemangku kepentingan nasional dan internasional komitmen mereka terhadap keselamatan nuklir dan kontrol bahan nuklir. [7].

Introduksi tenaga nuklir membutuhkan komitmen jangka panjang, baik secara nasional maupun internasional. Kerangka waktu dalam 100 tahun harus dipertimbangkan pada sebuah PLTN, meliputi skema penempatan limbah yang dapat diperpanjang lebih lama. Periode implementasi awal akan setidaknya 10-15 tahun, sehingga komitmen program

jangka panjang ini bahkan dibuat sebelum mempertimbangkan sebuah PLTN.[6] [Pub1704\_web-infrastructure]. Masing-masing dari 19 masalah infrastruktur yang disajikan dalam bagian ini membutuhkan tindakan spesifik selama masing-masing dari tiga fase. Penyelesaian tindakan untuk fase mewakili pencapaian tonggak terkait. Tindakan tersebut dijelaskan di sini pada tingkat yang relatif tinggi[6].

Penerapan energi nuklir tidak dapat dilepaskan masalah yang dihadapi di bidang energi, kebijakan kondisi lingkungan dan ekonomi negara yang juga merupakan bagian dalam menentukan posisi nasional. Posisi nasional di bidang energi nuklir adalah hasil dari proses yang menetapkan strategi dan komitmen pemerintah untuk mengembangkan, menerapkan, dan memelihara program tenaga nuklir yang aman, terjamin, dan berkelanjutan. Proses ini akan menghasilkan keputusan nasional yang dengan jelas mengomunikasikan kebijakan nasional Negara, serta komitmen Negara untuk melanjutkan sesuai dengan kewajiban internasional Negara dan norma dan standar internasional. Posisi nasional dapat mempertimbangkan:[8]

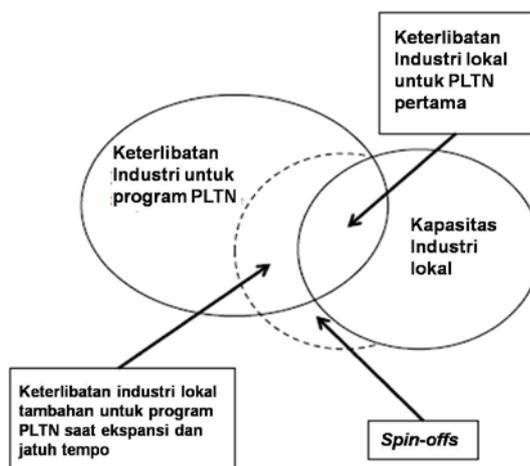
- Tujuan politik, ekonomi, sosial, lingkungan dan pembangunan Negara;
- Kebijakan energi nasional, termasuk peran potensial tenaga nuklir dalam bauran energi;
- Perlunya keterlibatan pemangku kepentingan nasional, dikomunikasikan di tingkat lokal, regional dan internasional;
- Infrastruktur nuklir nasional yang diperlukan, termasuk perjanjian dan konvensi hukum internasional yang relevan.

#### Pemetaan Industri untuk PLTN

Yang dimaksud dengan industri di sini adalah industri manufaktur yang merupakan kegiatan pengolahan bahan mentah atau barang setengah jadi menjadi barang jadi yang memiliki nilai tambah untuk mendapatkan keuntungan. Sedangkan yang dimaksud dengan industri local adalah perusahaan yang berlokasi di dalam lingkungan sistem hukum Negara Kesatuan Republik Indonesia yang menyediakan barang atau jasa. Industri local merujuk pada bisnis dalam lingkup milik lokal, yang dapat menggambarkan waralaba atau cabang perusahaan dari negara lain yang beroperasi didalam area lokal[9].

Gambar 1 menunjukkan hubungan industry local dengan industry energi nuklir. Ketika program tenaga nuklir cukup matang, keterlibatan industri local meluas untuk mengambil persentase yang lebih besar dari total keterlibatan industri (garis putus-putus). Perluasan ini akan tergantung pada sejumlah faktor, termasuk kebijakan pemerintah dalam mendukung program tenaga nuklir, jumlah unit pembangkit listrik tenaga nuklir yang sedang dibangun dan perjanjian transfer teknologi. Gambar 1 juga menunjukkan bahwa biasanya ada *spin-off* untuk industri local sebagai hasil dari partisipasi dalam program daya nuklir.

Visi pembangunan Industri Nasional sebagaimana yang tercantum dalam Peraturan Presiden Nomor 28 Tahun 2008 tentang Kebijakan Industri Nasional adalah Indonesia menjadi Negara Industri Tangguh pada tahun 2025, dengan visi antara pada tahun 2020 sebagai Negara Industri Maju Baru, karena sesuai dengan Deklarasi Bogor tahun 1995 antar kepala Negara APEC pada tahun tersebut liberalisasi di negara-negara APEC sudah harus terwujud[10].



Gambar 1: Keterlibatan industry local dalam industri

Untuk membangun dan mendukung pengoperasian fasilitas nuklir, banyak komoditas, komponen dan layanan diperlukan. Kegiatan pendukung dapat pula menjadi sumber pekerjaan dan pertumbuhan ekonomi bagi negara. Selain itu kegiatan ini juga dapat membantu upaya alih teknologi ke dalam negeri.

### **Pemetaan Jaringan Listrik**

PLTN paling efisien dijalankan sebagai pembangkit beban dasar, untuk itu kapasitas jaringan harus memadai. Frekuensi sistem sulit dikendalikan jika lebih dari 10% dari kapasitas grid jatuh secara tiba-tiba, seperti yang mungkin terjadi jika ada sistem di unit yang besar keluar sistem. Akibatnya, jika sistem nuklir baru bertanggung jawab lebih dari 10% dari total kapasitas jaringan pada saat terhubung, studi terperinci perlu menetapkan bahwa frekuensi sistem dapat dikontrol dengan andal setelah perjalanan sistem[6]. Selain ukurannya, keandalan grid juga penting, karena daya luar yang disediakan untuk sistem keselamatan harus sangat andal. Oleh karena itu, langkah awal dalam mempertimbangkan pengenalan tenaga nuklir adalah penilaian terhadap ukuran dan keandalan jaringan listrik saat ini dan yang direncanakan. Untuk sistem ini, operator grid harus diwakili dalam NEPIO. [11]. Studi NEPIO Tahap 1 harus membahas hal-hal berikut sehubungan dengan jaringan listrik:[6]

- Kemampuan dari grid yang ada sehubungan dengan teknologi pembangkit listrik tenaga nuklir yang tersedia, termasuk kemampuannya untuk secara andal mengambil output beban dasar pembangkit listrik tenaga nuklir, kemampuannya untuk menahan kehilangan output pabrik dan kemampuannya untuk secara andal memasok off-kekuatan situs selama pemadaman dan dalam keadaan darurat;
- Pertumbuhan kapasitas grid yang diantisipasi di masa depan;
- Ketepatan historis dari jaringan listrik;
- Potensi interkoneksi sistem atau regional untuk meningkatkan karakteristik grid[6].

### **Pemetaan Pemangku Kepentingan**

Untuk pembangunan PLTN terdapat 19 (sembilan belas) infrastruktur yang harus dipersiapkan. Metode yang diterapkan dalam kajian ini adalah dengan melaksanakan survei di wilayah terkait, yakni Pulau Lombok melalui kunjungan maupun mengundang berbagai pihak yang terkait sebagai Pemangku Kepentingan, yang nantinya berperan dalam pengambilan keputusan terhadap rencana pembangunan PLTN di Provinsi NTB. Survei diadakan antara lain untuk mendengarkan paparan terkait dengan PLTN serta Kondisi dan Rencana Kelistrikan kedepan dan dapat berdiskusi langsung dengan para narasumber dari berbagai pihak instansi di wilayah tersebut meliputi PT. PLN. Pelaksanaan survei ini bertempat di kantor Dinas ESDM Provinsi NTB.

Rencana pemenuhan kebutuhan listrik dimasa mendatang saat ini sedang dilakukan berbagai kajian mengenai energi baru dan terbarukan yang ramah lingkungan, baik energi Matahari, Panas Bumi, Ombak maupun Energi Nuklir. Energi nuklir saat ini dilirik karena kehandalan serta biaya O&M yang relatif lebih murah dibandingkan dengan energi lainnya, akan tetapi hal ini masih dalam taraf studi. Pengembangan energi baru dan terbarukan ini diharapkan dapat mendukung pertumbuhan industri di Provinsi NTB.

Keputusan tentang program PLTN dan fasilitas nuklir melibatkan pengeluaran besar dan melibatkan kepentingan masyarakat. Keputusan demikian adalah milik para pemimpin politik dan karena itu penting untuk memungkinkan mereka mencapai pemahaman yang seimbang dan masuk akal dari banyak masalah yang terlibat. Anggota masyarakat mencari perwakilan mereka untuk membuat penilaian yang baik berdasarkan informasi yang baik. Masyarakat juga ingin melihat bahwa keputusan yang dibuat oleh para pemimpin pemerintahan tersebut tanpa bias atau pengaruh yang tidak semestinya.

Introduksi tenaga nuklir membutuhkan komitmen jangka panjang, baik secara nasional maupun internasional. Kerangka waktu dalam 100 tahun harus dipertimbangkan pada sebuah PLTN, meliputi skema penempatan limbah yang dapat diperpanjang lebih lama. Periode implementasi awal akan setidaknya 10-15 tahun, sehingga komitmen program jangka panjang ini bahkan dibuat sebelum mempertimbangkan sebuah PLTN.

## **PEMBAHASAN HASIL**

### **Pemetaan Industri Nasional**

#### *Peran Industri Nasional*

Keterlibatan industri adalah segala hal yang meliputi subset keterlibatan industri lokal, yang disediakan oleh organisasi lokal atau nasional - mencakup beragam kegiatan teknik, konstruksi, komisioning, operasi, dan pemeliharaan yang khas dari program pengembangan infrastruktur bernilai tinggi, meliputi:[6]

- Semua layanan pendukung yang penting dalam desain, pengiriman, konstruksi, operasi, pemeliharaan, dan peningkatan ekuipmen sepanjang masa pakai fasilitas, dan pembongkaran akhirnya;
- Berbagai keterampilan teknik yang komprehensif, seperti mekanik, listrik, instrumentasi dan kontrol, teknologi informasi, teknik sipil, ilmu terapan, manajemen dan manajemen proyek, di mana semua tingkatan terwakili dari pengrajin, teknisi, hingga sarjana atau profesional;
- Perhatian khusus pada penerapan kode dan standar, manajemen kualitas dan pengendalian biaya dan jadwal untuk mencapai tingkat kualitas dan kinerja yang diperlukan dari industri nuklir;
- Sistem kontrol untuk mengintegrasikan desain dan konstruksi dengan benar yang mencakup penilaian kinerja, umpan balik peristiwa, dan analisis akar penyebab, dan yang mampu merekomendasikan tindakan korektif yang efektif dan tepat waktu.

#### *Kebijakan Industri Nasional*

Sebagai negara industri maju baru, sektor industri Indonesia harus mampu memenuhi beberapa kriteria dasar antara lain:

- 1) Memiliki peranan dan kontribusi tinggi bagi perekonomian Nasional,
- 2) IKM memiliki kemampuan yang seimbang dengan Industri Besar,
- 3) Memiliki struktur industri yang kuat (Pohon Industri lengkap dan dalam),
- 4) Teknologi maju telah menjadi ujung tombak pengembangan dan penciptaan pasar,
- 5) Telah memiliki jasa industri yang tangguh yang menjadi penunjang daya saing internasional industri, dan
- 6) Telah memiliki daya saing yang mampu menghadapi liberalisasi penuh dengan negara-negara APEC.

### **Pemetaan Industri untuk PLTN**

Meluncurkan program tenaga nuklir adalah komitmen utama bagi suatu negara; harus direncanakan dengan hati-hati karena memerlukan investasi sumber daya yang besar dan melibatkan banyak pemangku kepentingan: Perencanaan energi adalah analisis sistematis semua faktor yang memengaruhi evolusi sistem energi nasional dan akan menilai jenis, jumlah, dan kualitas kebutuhan layanan energi di masa depan. Setelah penilaian ini, kemudian akan menganalisis opsi pasokan, termasuk: (a) sumber daya energi asli suatu Negara; (b) tautan ke pasar energi eksternal; (c) *vintage* dan kinerja infrastruktur energi yang ada; (d) pembangkit listrik dan produksi bahan bakar; dan (e) sistem transmisi dan distribusi untuk penggunaan akhir dan teknologi layanan. Analisis ini mengeksplorasi hubungan sistem dan saling ketergantungan dan membandingkan risiko dan manfaat dari opsi pasokan energi alternatif. Ini khususnya mempertimbangkan pertukaran antara keamanan energi, pasokan energi paling murah, kesejahteraan[7].

Upaya untuk memasok peralatan dan layanan ke fasilitas nuklir memerlukan industri yang dapat mematuhi kode, standar dan persyaratan kualitas nuklir, dan mungkin memerlukan komitmen dan investasi pemerintah. Pada tahap awal pengembangan program tenaga nuklir di sebuah negara, harus mengarah pada rencana dan implementasi akhirnya untuk mengembangkan tingkat partisipasi industri yang diinginkan. Pemetaan potensi industri di sini meliputi:

- Mengidentifikasi kemampuan dan potensi industri nasional dan lokal, termasuk kebutuhan pelatihan dan pengembangan untuk merealisasikan potensi tersebut;
- Mengidentifikasi minat industri untuk berpartisipasi dalam program tenaga nuklir;
- Mengidentifikasi tingkat dan kemungkinan investasi yang diperlukan untuk meningkatkan fasilitas dan program industri;
- Merekomendasikan target untuk partisipasi dan kebijakan industri jangka pendek dan jangka panjang.

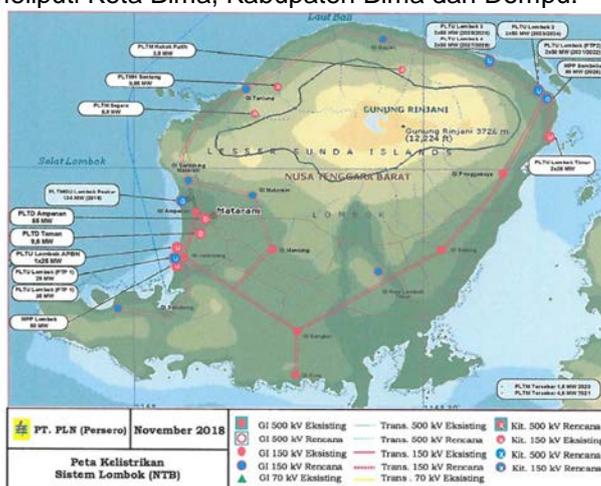
Kapasitas industry nasional telah tercatat sebagai tertinggi di kawasan ASEAN dengan berbagai jenis seperti manufaktur dan pengolahan. Berdasarkan penuturan Menteri Perindustrian, dilihat kontribusi kemampuan industri Indonesia jauh di atas negara-negara ASEAN lainnya. Bahkan ditambah industri turunannya, kontribusi manufaktur lebih dari 30%[12]. Kemampuan dukungan industry nasional untuk PLTN teridentifikasi dari kapasitas atas beragam jenis industry di dalam negeri yang telah mencapai hampir seluruh komponen PLTN selain *nuclear island*.

Untuk kasus wilayah NTB tersedia ragam industri dalam skala dan kapasitas terbatas tersebar pada kabupaten/kota di NTB. Kabupaten/kota yang ada di NTB ter di ri dari Kota Mataram, Lombok Barat, Lombok Utara, Lombok Tengah, Lombok Timur, Sumbawa Barat, Sumbawa, Dompu, Bima, dan Kota Bima. industri yang ada di provinsi NTB ter di ri dari industri besar dan industri kecil menengah. Data industry untuk tahun 2017 dan 2018 masih belum di peroleh, sehingga data terkini jumlah industry besar dalam hal ini tidak termasuk sentra industry kecil menengah untuk tahun 2016 maupun untuk data sampai dengan tahun 2016 termasuk hasil rekapitulasi industry provinsi NTB dapat di lihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

### Pemetaan Jaringan Listrik

Berdasarkan data RaRUPTL, sistem kelistrikan provinsi NTB meliputi: Sistem Lombok (150 kV), Sistem Sumbawa-Bima (70 kV) dan Sistem Skala Menengah (20 kV) serta beberapa sistem kecil terisolasi (PLN, 2019). Sistem kelistrikan di NTB, untuk sistem besar dipasok dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) dan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTM/PLTMH). Sedangkan sistem menengah dan sistem kecil dipasok dari PLTD dan sebagian kecil dari PLTMH. Sistem interkoneksi di NTB terdiri dari (Gambar 1 dan Gambar ):

- Sistem Lombok meliputi Kota Mataram, Kabupaten Lombok Barat, Lombok Tengah, Lombok Timur dan Kabupaten Lombok Utara.
- Sistem Sumbawa meliputi Kota Sumbawa Besar dan Kabupaten Sumbawa Barat.
- Sistem Bima meliputi Kota Bima, Kabupaten Bima dan Dompu.



Gambar 2: Peta Sistem Kelistrikan Pulau Lombok

Gambar 2 menunjukkan peta sistem kelistrikan di Pulau Lombok yang terdiri dari PLTU, PLTD dan PLTM, dengan jaringan transmisi 150 kV (eksisting dan rencana) dan 70 kV (eksisting). Sedangkan peta kelistrikan sistem Sumbawa dapat dilihat pada Gambar 3 Peta sistem kelistrikan Sumbawa terdiri dari PLTU, PLTMG dan PLTD dengan jaringan transmisi 150 kV (eksisting dan rencana) dan 70 kV (eksisting dan rencana). Pulau-pulau kecil yang terdapat di NTB memiliki sistem iinterkoneksi kecil terisolasi dan tersebar di seluruh wilayah NTB. Pulau-pulau kecil di provinsi ini juga memiliki pembangkit sendiri yang terhubung ke beban melalui jaringan 20 kV, dan sebagian langsung ke jaringan 220 kV.



Gambar 3: Peta Sistem Kelistrikan Pulau Sumbawa

Sebagai hasil dari forum dengar pendapat tersebut diperoleh berbagai masukan bahwa masyarakat Lombok menginginkan agar terus dilakukan sosialisasi mengingat dampak radioaktif dianggap sangat berbahaya apabila terjadi kecelakaan pada reaktor nuklir. Bagi masyarakat awam kata “nuklir” terdengar menyeramkan, sehingga mungkin perlu adanya penamaan untuk reaktor nuklir agar masyarakat dapat menerima. Dalam rencana pembangunan PLTN perlu mempersiapkan studi terkait limbah radioaktif.

Ada berbagai cara untuk mengidentifikasi dan memprioritaskan pemangku kepentingan. Para pemangku kepentingan yang berbeda yang telah diakui penting dalam program komunikasi PLTN akan berbeda dari satu negara ke negara lain dan dari tahap siklus umur ke tahap siklus umur PLTN, tetapi diharapkan untuk memasukkan mereka. Kelompok ini paling kurang adalah:

#### *Para pemimpin pemerintahan - lokal dan nasional*

Pembentukan komite lokal adalah cara yang efisien untuk berinteraksi dengan politisi dan pejabat pemerintah lokal. Hal ini memungkinkan komunikasi yang teratur dan tepat waktu mengenai masalah-masalah operasional. Dalam setiap forum terbuka perlu dipastikan bahwa informasi dipahami dengan baik oleh perwakilan para pemangku kepentingan, dan pada saat yang sama informasi tersebut disampaikan kepada pihak yang berwenang.[5]

#### *Media berita*

Dalam banyak kasus, masyarakat umum mengklaim kepercayaan yang lebih besar pada media daripada pejabat pemerintah atau yang disebut 'pakar'. Perlu diketahui bahwa di antara media mungkin memiliki pandangan tertentu untuk mereka komunikasikan, yang lain hanya mencerminkan informasi yang diberikan kepada mereka. Pentingnya siklus berita yang bergulir juga penting dalam merencanakan kegiatan komunikasi dengan audiens khusus ini. Adalah sangat penting untuk memiliki komunikator yang kredibel dan terampil untuk berinteraksi dalam waktu singkat dan menindaklanjutinya sesuai kebutuhan. Penting pula untuk membedakan antara media nasional dan media lokal, yang mungkin memiliki persyaratan dan harapan yang berbeda.

#### *Akademisi / peneliti*

Kelompok ini umumnya diidentifikasi memiliki tingkat kredibilitas yang tinggi dengan masyarakat, dan sering didekati oleh media karena saran dan komentar mereka dipandang independen dari regulator atau pemilik / operator. Mengembangkan metode komunikasi dua arah dengan kelompok pemangku kepentingan ini dapat menjadi cara yang berguna untuk menggabungkan diskusi berbasis ilmu yang diperdebatkan dengan baik ke dalam keputusan bisnis kebijakan energi praktis yang dibuat dan dipertimbangkan oleh kelompok pemangku kepentingan lainnya. Selain itu, hubungan dengan pendidik dapat memastikan bahwa program akademik mendukung basis pengetahuan yang dibutuhkan anggota angkatan kerja nuklir saat ini dan yang akan datang.

#### *Profesional medis dan kesehatan*

Kalangan profesional dan kesehatan adalah kelompok lain yang sering terlihat oleh masyarakat sebagai sumber informasi yang paling dapat diandalkan. Pada kenyataannya,

mereka sering tidak memiliki pengetahuan terperinci tentang dampak radiasi pada kesehatan; khususnya mengingat sifat alami kesimpulan ilmiah tentang pertanyaan ini. Karena itu penting untuk melibatkan kelompok ini agar mereka dapat mengembangkan pengetahuan informasi dan kepercayaan diri dalam dan individu yang menyediakannya. Profesional medis juga dapat memberi pemilik / operator wawasan tentang potensi kekhawatiran yang harus dikelola untuk mencegah mereka dilebih-lebihkan dalam pandangan masyarakat.

*Kelompok kepentingan khusus dan masyarakat, kelompok konsumen, organisasi non-pemerintah lainnya*

Melibatkan kelompok-kelompok tersebut dalam diskusi dan meneruskan komentar mereka untuk disebarluaskan. Hal tersebut menawarkan peluang yang baik untuk klarifikasi pernyataan dan asumsi yang salah sambil menunjukkan kesediaan mereka untuk mempertimbangkan pandangan yang berlawanan. Selama *exercise*, identifikasi pemangku kepentingan awal berguna untuk menentukan kelompok kepentingan khusus yang akan mendukung tema utama program PLTN, seperti lapangan kerja, pajak, kemandirian energi; dan terutama mereka yang menentang program PLTN berdasarkan tujuan mereka sendiri. Sementara organisasi lingkungan secara historis masuk dalam kategori yang terakhir ini dan dapat terus melakukannya. Dengan semakin banyaknya negara anggota yang prihatin terhadap perubahan iklim akan semakin menjadikan mereka pendukung pembangkit tenaga nuklir yang aman.

*Warga*

Sepanjang siklus umur PLTN, komunitas lokal dapat menjadi pemangku kepentingan yang paling penting. Anggota masyarakat setempat memberikan pengaruh pada politisi lokal dan nasional, dan dapat menjadi kelompok paling penting dalam hal dukungan untuk mengembangkan fasilitas baru atau memperluas yang sudah ada. Pembentukan kelompok penghubung lokal memungkinkan adanya perwakilan dari pemangku kepentingan lokal untuk diberikan informasi secara reguler.[13]

*Karyawan dan pemasok*

Karyawan biasanya adalah pemangku kepentingan yang sangat penting. Mereka tidak hanya membantu untuk memastikan keberhasilan proyek, tetapi juga sebagai juru bicara informal bagi proyek. Pemasok memiliki karakteristik yang sama dengan pemangku kepentingan lainnya.[3]

*Pembuat opini informal*

Pembuat opini informal meliputi otoritas lingkungan setempat, pemuka masyarakat, pengusaha, tukang cukur, penjaga warung, olahragawan, petugas pemadam kebakaran, dll dapat secara signifikan mempengaruhi pendapat masyarakat.

## KESIMPULAN

Kemampuan industri nasional telah dapat mendukung partisipasi domestik pada level 30 persen atau lebih yang mendominasi pada komponen sipil, mekanik dan elektrikal, sedangkan *nuclear island* didominasi oleh komponen import. Keterlibatan pemangku kepentingan memberikan hasil cukup positif yang siap mendukung program PLTN di wilayah NTB, sedangkan dari aspek jaringan listrik untuk tahun 2040 berdasarkan perkembangan saat ini akan dapat mendukung PLTN berskala 100 MWe. Perencanaan energi adalah analisis sistematis semua faktor yang memengaruhi evolusi sistem energi nasional dan akan menilai jenis, jumlah, dan kualitas kebutuhan layanan energi di masa depan. Dalam kajian keterlibatan pemangku kepentingan perlu penjelasan lebih mendalam mengenai teknologi PLTN kepada masyarakat lokal, Pemda, maupun institusi lain. Dalam rangka introduksi PLTN, kemampuan industri nasional untuk menyuplai kandungan lokal relatif cukup tinggi (berkisar 30%). Kemampuan industri lokal NTB sendiri masih terbatas pada industri sederhana seperti produk beton, pekerjaan, besi, atap bangunan dan sebagainya yang bersifat pekerjaan sipil kasar. Dari hasil analisis sistem kelistrikan diperoleh tahun keluaran PLTN di NTB pada tahun 2040 sejumlah 2 unit dengan kapasitas masing-masing 100 MW. Untuk keterlibatan pemangku kepentingan perlu adanya sosialisasi secara berkala dan adanya forum diskusi tentang rencana pembangunan PLTN di NTB. Perlu adanya koordinasi yang berkualitas dan berlanjut antara BATAN dengan selingkung PEMDA NTB.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA, "Iaea Nuclear Energy Series Publications," vol. 24, pp. 35–37, 2010.
- [2] E. Or, "Cooper Report on Nuclear Economics FINAL.pdf," 2009.

- [3] International Atomic Energy Agency (IAEA), "Workforce Planning for New Nuclear Power Programmes," *Tech. Reports*, vol. No. NG-T-3, p. 127, 2011.
- [4] N. Ng-t, *IAEA Nuclear Energy Series Electric Grid Reliability and Interface with Nuclear Power Plants*.
- [5] IAEA, "Stakeholder involvement throughout the life cycle of nuclear facilities," p. 42, 2011.
- [6] International Atomic Energy Agency (IAEA), "Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power," *IAEA Nucl. Energy Ser.*, vol. 1, p. 100, 2015.
- [7] A. Bugat, M. Lecomte, C. Panefresco, J.-M. Poimboeuf, and A. Vallee, "Newcomers To Nuclear Industry: Is the Iaea Milestones Process Adapted To the Challenges Facing Those Countries?," 2011.
- [8] International Atomic Energy Agency, "Building a National Position for a New Nuclear Power Programme, No. NG-T-3.14," *IAEA Nucl. Energy Ser.*, vol. NG-G-3.1, 2016.
- [9] M. Info, "PERUSAHAAN MANUFAKTUR : Pengertian , Contoh & Daftar," pp. 1–5, 2019.
- [10] R. Htp, J. Kemenperin, G. Id, P. S. Sitemap, and I. P. Informasi-publik, "HUBUNGI KAMI (/ Contact ) AGENDA PENTING KEMENPERIN Kebijakan Industri Nasional," pp. 3–7, 2020.
- [11] I. Crossland, "The economics of nuclear power," *Nucl. Fuel Cycle Sci. Eng.*, no. 5, pp. 100–126, 2012.
- [12] B. Pilihan, "Kemampuan Industri Nasional Tertinggi di ASEAN," pp. 1–6, 2019.
- [13] International Atomic Energy Agency, "Communication and Stakeholder Involvement in Environmental Remediation Projects," 2014.

**DISKUSI/TANYA JAWAB:**

**1. PERTANYAAN (Sufiana Solihat-PKSEN BATAN):**

Mengapa KLH masuk ke dalam kelompok keteknikan? Tidak masuk ke kelompok pemerhati atay kelompok yang lain?

**JAWABAN:**

KLH masuk ke dalam kelompok keteknikan berdasarkan peranannya sebagai Lembaga teknis pemerintah, bekerja sebagai pelaksana teknis di sektor lingkungan, perumus kebijakan dan pengawasan, pemeriksaan, penilaian dan pembinaan.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## IDENTIFIKASI TANGGUNG-JAWAB PENYIAPAN INFRASTRUKTUR PEMBANGUNAN PLTN DI INDONESIA

**Moch. Djoko Birmano**

*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN) - BATAN, Jl. Kuningan Barat, Mp. Prapatan,  
Jakarta Selatan 12710  
email: birmano@batan.go.id*

### ABSTRAK

**IDENTIFIKASI TANGGUNG-JAWAB PENYIAPAN INFRASTRUKTUR PEMBANGUNAN PLTN DI INDONESIA.** Saat ini Pemerintah Indonesia sedang berencana membangun Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) pertama di Kalimantan Barat. Negara-negara yang baru pertama kali akan membangun PLTN harus mempersiapkan berbagai infrastruktur pendukung sesuai dengan panduan yang diterbitkan oleh IAEA. Pendekatan Milestone IAEA (*IAEA Milestone Approach*) ini membantu negara-negara anggota yang sedang mempertimbangkan atau merencanakan PLTN pertamanya untuk memahami komitmen, kewajiban dan tanggungjawab pihak-pihak yang terkait dengan penyiapan program tenaga nuklir. Pendekatan Milestone membagi kegiatan yang diperlukan untuk membangun infrastruktur program tenaga nuklir menjadi tiga (3) fase, yaitu Fase 1: Pertimbangan sebelum keputusan untuk meluncurkan program tenaga nuklir diambil, Fase 2: Pekerjaan persiapan untuk pembuatan kontrak dan pembangunan PLTN setelah keputusan kebijakan *go nuklir* diambil, dan Fase 3: Kegiatan untuk kontrak, perizinan dan membangun PLTN pertama dilakukan. Penyelesaian setiap fase ditandai dengan "Milestone" tertentu di mana kemajuan dapat dinilai dan keputusan dapat dibuat tentang kesiapan untuk melanjutkan ke fase berikutnya. Milestone ini adalah Milestone 1: Siap membuat komitmen yang berpengetahuan luas terhadap program tenaga nuklir, Milestone 2: Siap mengundang penawaran (bid invitation)/ negosiasi/merundingkan kontrak untuk PLTN pertama, dan Milestone 3: Siap komisioning dan mengoperasikan PLTN pertama. Saat ini, Indonesia masih berada di Fase 1 dimana masih mempertimbangkan dan belum memutuskan untuk membangun PLTN. Makalah ini akan mengidentifikasi komitmen, kewajiban dan tanggungjawab pihak-pihak yang terkait dalam penyiapan dan pengembangan infrastruktur pembangunan PLTN pada Fase 1.

Kata Kunci: komitmen, kewajiban, tanggungjawab, penyiapan infrastruktur, PLTN, Fase 1

### ABSTRACT

**THE IDENTIFICATION OF RESPONSIBILITIES FOR PREPARATION OF NPP DEVELOPMENT INFRASTRUCTURE IN INDONESIA.** Currently the Indonesian government is planning to build the first Nuclear Power Plant (PLTN) in West Kalimantan. Countries that will first build nuclear power plants must prepare various supporting infrastructure in accordance with the guidelines issued by the IAEA. The IAEA Milestone Approach helps member countries that are considering or planning their first nuclear power plant to understand the commitments, obligations and responsibilities of the parties related to the development of a nuclear power program. The Milestone approach divides the activities needed to build a nuclear power program infrastructure into three (3) phases, namely Phase 1: Considerations before the decision to launch a nuclear power program is taken, Phase 2: Preparatory work for the construction of contracts and construction of nuclear power plants after a nuclear go policy decision is taken, and Phase 3: Activities for contracts, permits and building the first nuclear power plant are carried out. The completion of each phase is marked by a certain "milestone" in which progress can be assessed and decisions can be made about readiness to proceed to the next phase. This milestone is Milestone 1: Ready to make commitments that are knowledgeable about nuclear power programs, Milestone 2: Ready to invite bid / negotiation / negotiate contracts for the first nuclear power plant, and Milestone 3: Ready to commission and operate the first nuclear power plant. Currently, Indonesia is still in Phase 1, where it is still considering and has not yet decided to build a NPP. This paper will identify commitments, obligations and responsibilities of the parties involved in preparation and development of NPP infrastructure.

Keyword: commitments, obligations, responsibilities, infrastructure development, NPP, phase 1

## PENDAHULUAN

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di suatu negara tujuan utamanya adalah untuk memenuhi kebutuhan listrik untuk kesejahteraan masyarakat. Saat ini Pemerintah Indonesia sedang berencana membangun Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) pertama di Kalimantan Barat. Hal yang paling penting dalam introduksi PLTN pertama di suatu negara adalah kesiapan infrastruktur pendukungnya. Oleh karena itu, negara-negara yang baru pertama kali akan membangun PLTN seperti Indonesia harus mempersiapkan berbagai infrastruktur pendukung sesuai dengan panduan yang diterbitkan oleh IAEA. Pendekatan Milestone IAEA (*IAEA Milestone Approach*) ini membantu negara-negara yang sedang mempertimbangkan atau merencanakan PLTN pertamanya. Tujuannya adalah untuk membantu negara anggota IAEA memahami komitmen, kewajiban dan tanggungjawab pihak-pihak yang terkait (*stakeholder* atau pemangku kepentingan) dengan pengembangan program energi nuklir.

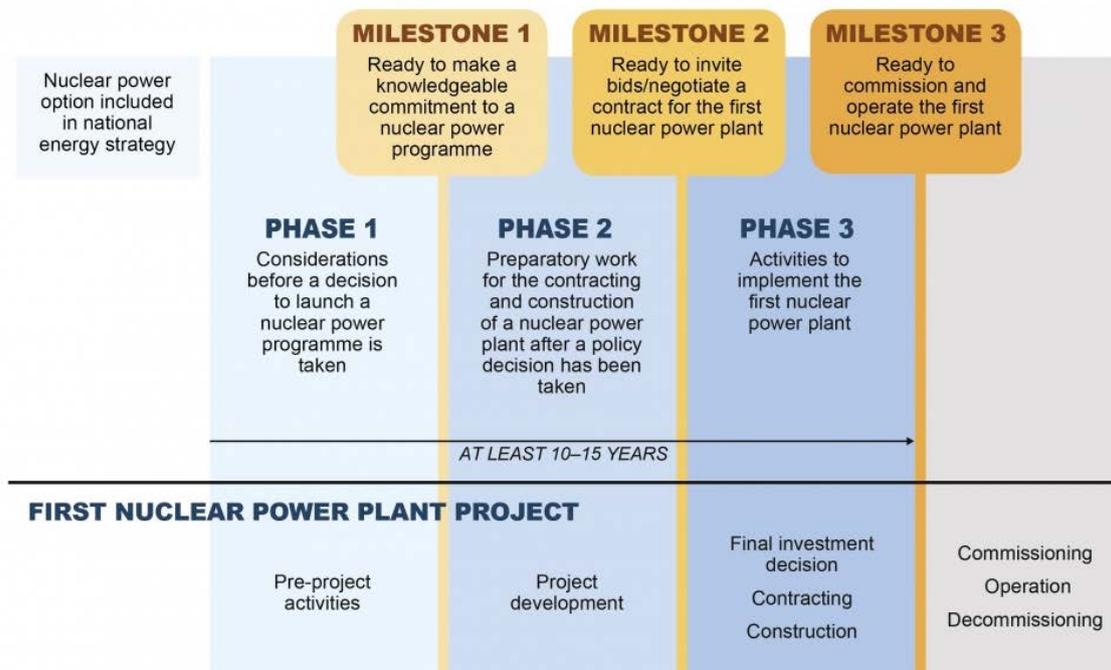
Pendekatan Milestone seperti pada **Gambar 1.**, membagi kegiatan yang diperlukan untuk membangun dan mengembangkan infrastruktur program tenaga nuklir menjadi tiga (3) Fase. Tiga (3) fase dalam mengembangkan infrastruktur yang diperlukan untuk mendukung program tenaga nuklir adalah:

**FASE 1:** Pertimbangan sebelum keputusan untuk meluncurkan program tenaga nuklir diambil.

Pada fase ini, studi Pra-Kelayakan akan membantu suatu negara membangun posisi nasional yang kuat dan menjawab pertanyaan kunci: mengapa harus tenaga nuklir/PLTN. Proses ini dimulai awal pada Tahap 1 setelah tenaga nuklir dimasukkan sebagai opsi dalam strategi energi nasional.

**FASE 2:** Pekerjaan persiapan untuk pembuatan kontrak dan pembangunan PLTN setelah keputusan kebijakan *go nuclear* diambil. Dalam fase ini, organisasi kunci serta kerangka kerja hukum dan peraturan ditetapkan.

**FASE 3:** Kegiatan untuk kontrak, perizinan dan pembangunan PLTN pertama dilakukan.



**Gambar 1.** Pendekatan Milestone Pengembangan Infrastruktur Tenaga Nuklir

Penyelesaian setiap fase ditandai dengan "Milestone" tertentu di mana kemajuan dapat dinilai dan keputusan dapat dibuat tentang kesiapan untuk melanjutkan ke fase berikutnya. Terdapat 3 Milestone, yaitu:

**Milestone 1:** Siap membuat komitmen yang berpengetahuan luas terhadap program tenaga nuklir atau adanya keputusan untuk membangun PLTN,

**Milestone 2:** Siap mengundang penawaran (*bid invitation*)/negosiasi/perundingan kontrak untuk PLTN pertama, dan

**Milestone 3:** Siap komisioning dan mengoperasikan PLTN pertama.

Pendekatan milestone mencakup 19 aspek infrastruktur (**Gambar 2**), yang membutuhkan penyiapan, pengembangan dan tindakan khusus selama masing-masing fase oleh pihak-pihak yang terkait (*stakeholder* atau pemangku kepentingan) yang mempunyai komitmen, kewajiban dan tanggungjawab yang berbeda. Penyelesaian tindakan untuk setiap fase mewakili pencapaian milestone yang terkait.



Gambar 2. 19 Aspek Infrastruktur PLTN

Kesiapan 19 infrastruktur pada setiap fase akan sangat menentukan keberhasilan program PLTN. Saat ini, Indonesia masih berada di Fase 1 dimana masih mempertimbangkan dan belum memutuskan untuk membangun PLTN. Makalah ini bertujuan untuk mengidentifikasi komitmen, kewajiban dan tanggungjawab dalam penyiapan infrastruktur pembangunan PLTN pada Fase 1, dan selanjutnya mengidentifikasi pihak-pihak yang terkait (*stakeholder* atau pemangku kepentingan) yang berkewajiban dan bertanggungjawab dalam menyiapkannya.

## METODOLOGI

Metode yang digunakan adalah kajian pustaka, dan selanjutnya dilakukan analisis deskriptif. Penyusunan makalah ini dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Mempelajari pendekatan Milestone IAEA (*IAEA Milestone Approach*)
- 2) Mengidentifikasi komitmen, kewajiban, tanggungjawab, tugas dan pekerjaan dalam penyiapan infrastruktur program PLTN
- 3) Mengidentifikasi pihak-pihak yang bertanggung jawab (*stakeholder*) dalam memenuhi dan menyiapkan infrastruktur program PLTN
- 4) Pembahasan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### ***Komitmen, Kewajiban, Tanggungjawab, Tugas dan Pekerjaan dalam penyiapan infrastruktur PLTN Pada Fase 1***

Untuk mencapai "*milestone*" Fase 1, yaitu siap membuat komitmen yang berpengetahuan luas terhadap program PLTN atau adanya keputusan untuk membangun PLTN, maka diidentifikasi komitmen, kewajiban, tanggungjawab, tugas dan pekerjaan apa saja yang harus dilakukan untuk penyiapan dan pengembangan 19 aspek infrastruktur dasar pembangunan PLTN sebagai berikut:

1. Aspek Posisi Nasional

Indonesia yang telah mempertimbangkan tenaga nuklir sebagai salah satu opsi pembangkitnya, perlu komitmen jangka panjang terhadap PLTN. Selain itu, Indonesia juga perlu membentuk organisasi pelaksana program energi nuklir atau NEPIO (*Nuclear Energy Program Implementation Organization*) yang fungsi utamanya meliputi:

- memastikan bahwa alasan keputusan nasional untuk berencana membangun PLTN dipahami dengan baik oleh semua pemangku kepentingan
- mempertahankan momentum dan menyediakan forum berkelanjutan untuk komunikasi dan kerja sama antar organisasi (mis. Pemilik / operator, operator jaringan, badan pengatur, instansi pemerintah terkait, legislator dan pembuat keputusan lainnya)
- memastikan peran dan tanggungjawab organisasi utama (yaitu pemerintah, badan pengatur dan pemilik / operator) didefinisikan dan dipahami dengan baik oleh semua pemangku kepentingan.

Untuk memutuskan bahwa suatu negara apakah perlu membangun PLTN, pada Fase 1 ini NEPIO perlu melakukan studi perencanaan energi.

## 2. Aspek Keselamatan Nuklir

Pada Fase 1, negara harus mempunyai komitmen jangka panjang terhadap pentingnya keselamatan dan berpartisipasi dalam kerangka kerja internasional tentang keselamatan nuklir. Pada Fase ini NEPIO melakukan studi dan menyusun laporan yang fokus pada:

- Standar keselamatan IAEA;
- Tanggung jawab utama dari badan regulasi;
- Kerangka hukum dan peraturan yang efektif untuk keselamatan, termasuk badan pengawas independen;
- Pembentukan kepemimpinan dan manajemen yang efektif untuk keselamatan;
- Pengelolaan jangka panjang bahan bakar bekas dan limbah radioaktif;
- Pengembangan budaya keselamatan dalam semua organisasi yang terlibat dalam program nuklir
- Upaya untuk mencegah dan mengurangi kecelakaan;
- Pengaturan untuk kesiapsiagaan dan tanggap darurat;
- Lokasi dan tapak
- Dan lain-lain

## 3. Aspek Manajemen

Pada Fase 1 NEPIO menyusun sistem manajemen program PLTN yang kompeten, kuat, efektif di semua tahap program/proyek PLTN, dan menyusun persyaratan manajemen program/proyek PLTN. Jika memungkinkan pada Fase 1 NEPIO sudah menentukan pemilik (*owner*) atau operator PLTN yang akan dibangun.

## 4. Aspek Pendanaan dan Pembiayaan

Pada Fase 1 NEPIO melakukan studi menyeluruh terkait pendanaan dan pembiayaan, mencakup tinjauan struktur pendanaan dan pembiayaan, tinjauan semua persyaratan pendanaan dan opsi pembiayaan yang relevan, dan rekomendasi pembiayaan untuk penyiapan dan pengembangan infrastruktur PLTN.

## 5. Aspek Kerangka Hukum

NEPIO dibantu lembaga lain bertugas menyiapkan infrastruktur kerangka hukum ketenaganukliran yang meliputi:

- mengembangkan pemahaman mendasar tentang kebutuhan kerangka hukum ketenaganukliran dan didiskusikan dengan lembaga pemerintah yang terkait
- memahami instrumen hukum internasional yang relevan dan implikasinya terhadap perundang-undangan nasional terkait ketenaganukliran
- membentuk badan pengawas nuklir independen dengan SDM dan keuangan yang memadai dan mempunyai kewenangan otorisasi, inspeksi dan penegakan
- menyusun dan menetapkan undang-undang nasional yang komprehensif yang secara jelas menggambarkan tanggung jawab semua organisasi/otoritas yang terlibat dalam program PLTN dan mencakup semua bidang hukum nuklir yaitu keselamatan nuklir, keamanan nuklir, perlindungan dan tanggung jawab atas kerusakan nuklir, kesiapsiagaan dan tanggap darurat, penambangan, transportasi, limbah radioaktif dan manajemen bahan bakar bekas, dekomisioning,

pertanggungjawaban nuklir dan cakupannya, perlindungan lingkungan, kesiapsiagaan dan tanggap darurat, kesehatan dan keselamatan kerja, investasi asing, kontrol ekspor dan impor jaminan keuangan atau undang-undang keuangan lainnya.

#### 6. Aspek Seifgard

Pada Fase 1 negara harus memiliki komitmen yang jelas terhadap kewajiban non-proliferasi internasional dan perjanjian pengamanan bahan bakar nuklir dengan IAEA. Selain itu, NEPIO harus menyusun laporan komprehensif yang memuat:

- Kerjasama antara negara, operator fasilitas dan IAEA dalam menerapkan seifgard;
- Kelengkapan dan kebenaran deklarasi negara untuk memastikan verifikasi independen yang efektif oleh IAEA;
- Persiapan oleh entitas yang kemungkinan akan terlibat dalam program tenaga nuklir untuk memenuhi kewajiban pelaporan penggunaan bahan bakar nuklirnya kepada badan pengawas yang terbentuk.

#### 7. Aspek Kerangka Regulasi

Pada Fase 1 NEPIO dibantu badan regulasi dan lainnya menyusun peraturan yang sesuai dengan program PLTN yang diusulkan, yang diantaranya:

- Desain badan pengawas independen yang kompeten dan efektif dengan otoritas yang jelas, SDM dan keuangan yang memadai, dan dukungan pemerintah yang kuat;
- Penugasan fungsi-fungsi inti keselamatan, keamanan dan kerangka pengaman untuk mengembangkan peraturan, tinjauan dan penilaian, otorisasi, inspeksi, penegakan, dan informasi publik;
- Definisi yang jelas tentang hubungan badan pengawas dengan organisasi lain;
- Kewenangan untuk melaksanakan kewajiban internasional, termasuk pengamanan IAEA;
- Kewenangan untuk terlibat dalam kerja sama internasional.
- Peraturan-peraturan terkait ketenaganukliran

#### 8. Aspek Proteksi Radiasi

Pada Fase 1 NEPIO bersama institusi terkait lainnya menyiapkan infrastruktur aspek proteksi radiasi diantaranya adalah:

- Mengembangkan pemahaman tentang bahaya tambahan yang ditimbulkan oleh operasi PLTN melebihi yang ditimbulkan oleh aplikasi medis, industri dan penelitian radiasi pengion
- Mengidentifikasi bagaimana program proteksi radiasi yang ada perlu ditingkatkan untuk mengatasi operasi PLTN, transportasi, penyimpanan dan pengelolaan limbah radioaktif.

#### 9. Aspek Jaringan Listrik

Pada Fase 1 NEPIO bersama institusi terkait seperti PT. PLN menyiapkan infrastruktur aspek jaringan listrik diantaranya adalah:

- Penilaian terhadap ukuran dan keandalan jaringan listrik saat ini dan yang direncanakan
- Studi terkait jaringan listrik, diantaranya:
  - Kemampuan jaringan/grid yang ada sehubungan dengan teknologi PLTN yang tersedia;
  - Pertumbuhan kapasitas grid yang diantisipasi di masa depan;
  - Ketepatan historis dari jaringan listrik;
  - Potensi interkoneksi lokal atau regional untuk meningkatkan karakteristik grid.

#### 10. Aspek Pengembangan SDM

Pada Fase 1 NEPIO dibantu institusi terkait seperti BATAN, BAPETEN, Perguruan Tinggi dll menyiapkan infrastruktur aspek pengembangan SDM diantaranya adalah:

- Mengidentifikasi pengetahuan dan keterampilan yang dibutuhkan untuk program tenaga nuklir, dari berbagai disiplin ilmu: teknis, manajerial dan administratif yang akan dibutuhkan, dan menilai ketersediaannya di dalam negeri
- Menyusun rencana pengembangan SDM nasional untuk program energi nuklir
- Menilai ketersediaan pendidikan dan pelatihan khusus di dalam dan luar negeri
- Menilai kemampuan penelitian dalam negeri yang mungkin perlu dikembangkan
- Merencanakan untuk mengembangkan atau mengimpor SDM yang dibutuhkan oleh pemilik / operator, badan pengawas, dan organisasi lain yang terlibat dalam mengimplementasikan program tenaga nuklir
- Menyelaraskan rekomendasi tentang pengembangan SDM dengan rekomendasi tentang kebijakan negara mengenai keterlibatan industri nuklir.

#### 11. Aspek Keterlibatan Pemangku Kepentingan

Pada Fase 1 NEPIO menyiapkan infrastruktur aspek keterlibatan pemangku kepentingan, diantaranya adalah:

- menyusun strategi dan rencana program pelibatan pemangku kepentingan (*stakeholder involvement*);
- melakukan survei untuk penerimaan publik terhadap PLTN;
- pelibatan pemangku kepentingan melalui dialog terbuka antara pemerintah, pemilik/operator dan semua pemangku kepentingan berdasarkan transparansi dan keterbukaan;
- menanggapi hasil survei dan menjelaskan minat pemerintah terhadap tenaga nuklir, dan potensi manfaat dari tenaga nuklir;
- mengembangkan dan mulai menerapkan rencana interaksi dengan semua pemangku kepentingan, termasuk negara tetangga, dunia dan lembaga internasional;

#### 12. Aspek Tapak dan Fasilitas Pendukung

Pada Fase 1 NEPIO dibantu pemilik/operator (jika sudah ada) menyiapkan infrastruktur aspek tapak dan fasilitas pendukung PLTN, diantaranya adalah:

- Survei tapak, menyelidiki wilayah dan tapak potensial dan menolak tapak yang tidak cocok melalui analisis penyaringan (*screening analysis*);
- Studi penentuan tapak dan lokasi untuk fasilitas lain, seperti penyimpanan bahan bakar bekas sementara dan fasilitas pemrosesan limbah;
- Pertimbangan pilihan transportasi antar fasilitas, infrastruktur fisik untuk rumah pekerja, akses untuk pengiriman peralatan, ketersediaan air dan listrik, akses evakuasi dan cara-cara untuk meminimalkan dampak pada masyarakat lokal
- Meneliti elemen penting dan karakterisasi lokasi tapak PLTN, yaitu:
  - Kemudahan integrasi ke dalam sistem listrik;
  - Demografi;
  - Penggunaan lahan;
  - Geologi dan tektonik;
  - Vulkanologi;
  - Bahaya alam eksternal lainnya;
  - Hidrologi;
  - Meteorologi;
  - Oceanografi;
  - Keselamatan nuklir dan perlindungan radiasi;
  - Keamanan nuklir;
  - Dampak lingkungan dan pemantauan lingkungan;
  - Risiko dari peristiwa yang disebabkan manusia;
  - Ketersediaan infrastruktur lokal;
  - Kemudahan akses;
  - Batasan hukum;
  - Interaksi publik;
  - Perencanaan kedaruratan.
  - Dan lain-lain

#### 13. Aspek Proteksi Lingkungan

Pada Fase 1 NEPIO bersama BATAN, Kementerian Lingkungan Hidup dan institusi terkait lainnya menyiapkan aspek proteksi lingkungan di daerah sekitar tapak PLTN, diantaranya adalah:

- membahas dampak pada manusia dan lingkungan dari pelepasan kecil limbah radioaktif padat, cair dan gas selama operasi normal;
- mempertimbangkan penggunaan lahan, penggunaan air, kualitas air, dan dampak terhadap manusia dan lingkungan dari limbah radioaktif tingkat rendah yang terkait dengan operasi normal dan pemeliharaan PLTN dan fasilitas terkait;
- Meninjau kesesuaian kerangka negara yang ada untuk perlindungan lingkungan dan kewajiban internasionalnya, dan harus mengumpulkan dan menganalisis informasi lingkungan awal sehubungan dengan survei lokasi.

#### 14. Aspek Rencana Kedaruratan

Pada Fase 1 NEPIO dibantu BATAN, BAPETEN, TNI/Polri dll menyiapkan aspek rencana kedaruratan yang mungkin timbul ketika terjadi hal-hal yang tidak diinginkan selama pengoperasian PLTN, diantaranya:

- menyusun dan mengembangkan program untuk rencana kedaruratan yang memastikan kemampuan untuk mengambil tindakan yang secara efektif akan mengurangi konsekuensi dari keadaan darurat;
- mengevaluasi status kesiapsiagaan dan tanggap kedaruratan (*Emergency Preparedness and Response, EPR*) dan memastikan bahwa pemerintah sadar akan:
  - Setiap peningkatan kemampuan EPR yang akan diperlukan untuk mendukung program tenaga nuklir
  - Sumber daya yang akan dibutuhkan untuk mengembangkan, memelihara dan menunjukkan kemampuan tanggap darurat
  - Tanggung jawab untuk EPR dan kebutuhan untuk mendefinisikan tanggung jawab yang jelas untuk semua organisasi yang terlibat.
- mengevaluasi rencana kedaruratan yang membahas setiap kebutuhan untuk pengaturan baru di tingkat internasional, termasuk partisipasi dalam instrumen hukum internasional dan kerjasama dengan negara-negara tetangga, IAEA dan organisasi internasional lainnya;
- survei lokasi untuk melihat karakteristik tapak yang penting untuk kesiapsiagaan dan tanggap kedaruratan.

#### 15. Aspek Keamanan Nuklir

Pada Fase 1 NEPIO bersama BATAN, BAPETEN dll menyiapkan dan mengembangkan aspek keamanan nuklir, diantaranya adalah:

- menyusun program keamanan nuklir, seperti pencegahan, deteksi, dan tanggapan terhadap tindakan disengaja maupun tidak disengaja terkait dengan bahan nuklir, bahan radioaktif lainnya, dan fasilitas serta kegiatan terkait;
- menyusun kerangka hukum dan peraturan serta tindakan administratif yang mengatur keamanan nuklir, organisasi yang bertanggung jawab untuk keamanan nuklir, dan lain lain;
- memberikan rekomendasi mengenai:
  - kebijakan dan strategi nasional untuk keamanan nuklir
  - peran dan tanggung jawab lembaga pemerintah untuk keamanan nuklir, dan
  - instrumen hukum internasional yang relevan dengan keamanan nuklir.

#### 16. Aspek Daur Bahan Bakar Nuklir

Pada Fase 1 NEPIO bersama BATAN, BAPETEN dan Perguruan Tinggi menyiapkan dan mengembangkan aspek daur bahan bakar nuklir (BBN), diantaranya adalah:

- mengembangkan pengetahuan yang luas tentang langkah-langkah dalam siklus BBN dan memilih strategi siklus bahan bakarnya relatif lebih awal, karena pilihan itu akan mempengaruhi pemilihan teknologi nuklir tertentu;
- menganalisis opsi alternatif yang memungkinkan untuk bahan bakar bekas dan pengelolaan limbah radioaktif sehingga keputusan yang diambil pada akhir Fase 1 mendapat informasi tentang tantangan yang dihasilkan bahan bakar dan limbah untuk program tenaga nuklir;
- menyusun kebutuhan & persyaratan SDM untuk penyiapan infrastruktur aspek ini.

#### 17. Aspek Pengelolaan Limbah Radioaktif

Pada Fase 1 NEPIO bersama BATAN, BAPETEN dan Perguruan Tinggi menyiapkan dan mengembangkan aspek pengelolaan limbah radioaktif, diantaranya adalah mengidentifikasi semua tanggung jawab untuk penanganan limbah radioaktif PLTN, dengan mempertimbangkan:

- Kemampuan negara saat ini, kerangka kerja regulasi dan pengalaman dalam penanganan, penyimpanan, pengangkutan, dan pembuangan limbah radioaktif;
- Volume tambahan limbah radioaktif tingkat rendah & menengah, dan variasi isotop yang diharapkan dari fasilitas tenaga nuklir;
- Pilihan teknologi dan pembuangan akhir bahan bakar bekas dari proses olah ulang;
- SDM dan pengembangan infrastruktur lainnya yang terkait dengan pengelolaan limbah radioaktif untuk program tenaga nuklir.

#### 18. Aspek Keterlibatan Industri

Pada Fase 1 NEPIO bersama BATAN, Kementerian Perindustrian dan Perguruan Tinggi menyiapkan dan mengembangkan aspek pengelolaan limbah radioaktif, diantaranya adalah:

- menilai peluang untuk keterlibatan industri nasional & lokal dalam program PLTN;
- menetapkan kebijakan tentang pengembangan kemampuan industri nasional dan alih teknologi;
- Meyakinkan pemasok (*vendor*) PLTN bahwa industri dalam negeri mampu memenuhi standar nuklir;
- Melakukan penilaian realistis atas kemampuan industri nasional;
- Mengkaji dan menilai kemampuan dan potensi industri nasional & lokal, termasuk pelatihan dan pengembangannya;
- Mengkaji minat industri untuk berpartisipasi dalam program PLTN;
- Menilai tingkat dan kemungkinan investasi yang diperlukan untuk meningkatkan fasilitas dan program industri;
- Merekomendasikan sasaran untuk partisipasi dan kebijakan industri jangka pendek dan jangka panjang untuk mencapai sasaran tersebut.

#### 19. Aspek Pengadaan

Pada Fase 1 NEPIO menyiapkan dan mengembangkan aspek pengadaan, diantaranya adalah:

- membahas mekanisme pengadaan peralatan khusus yang berbeda dengan pengadaan biasa, seperti pengadaan untuk PLTN dan fasilitas nuklir lainnya;
- Menentukan persyaratan kualitas dan memverifikasi bahwa pemasok memenuhi persyaratan tersebut;
- Menyusun dan merekomendasikan kebijakan pengadaan yang konsisten dengan strategi program PLTN dan kebijakan keterlibatan industrinya.

#### ***Pihak Terkait Yang Bertanggungjawab dalam Penyiapan Infrastruktur PLTN***

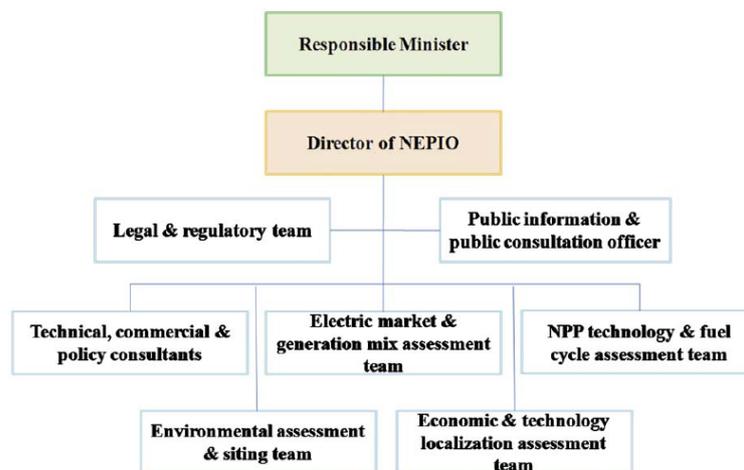
Setelah mengidentifikasi komitmen, kewajiban, tanggungjawab, tugas dan pekerjaan dalam penyiapan dan pengembangan infrastruktur program PLTN Fase 1, selanjutnya mengidentifikasi pihak-pihak terkait yang bertanggung jawab dalam melaksanakan tugas dan pekerjaan tersebut.

Kegiatan Fase 1 untuk mencapai Milestone 1, diasumsikan bahwa suatu negara telah menilai bahwa ia membutuhkan energi tambahan dan telah memasukkan tenaga nuklir sebagai opsi yang memungkinkan untuk memenuhi sebagian dari kebutuhan ini. Pada titik ini dalam proses pengambilan keputusan politik, ia akan memulai tahap pertama dari program, yang akan memuncak dalam pencapaian tonggak sejarah 1. Pada saat ini negara akan berada dalam posisi untuk membuat keputusan berdasarkan informasi apakah sesuai atau tidak untuk memperkenalkan program tenaga nuklir. Jika suatu Negara Anggota IAEA (*member state*) sedang mempertimbangkan pengenalan tenaga nuklir sebagai bagian dari portofolio pasokan energinya, seperti Indonesia, maka adalah penting bahwa Negara memperoleh pemahaman komprehensif tentang berbagai kewajiban dan komitmen yang terlibat, dan strategi nasional untuk melepaskannya, sebelum keputusan apa pun tentang implementasi diambil.

Negara Anggota IAEA yang mempertimbangkan program tenaga nuklir diharapkan memiliki kesiapan 19 aspek infrastruktur nasional yang sesuai dengan standar internasional. Fase awal dalam pengembangan program tenaga nuklir melibatkan pertimbangan dan perencanaan sebelum keputusan tegas untuk mengembangkan program tenaga nuklir diambil. Selama fase ini, organisasi yang bertanggung jawab adalah pemerintah dan NEPIO. NEPIO harus mengembangkan suatu pemahaman lengkap tentang komitmen yang terkait dengan penggunaan tenaga nuklir.

Untuk mencapai "milestone 1" Fase 1, yaitu siap membuat komitmen yang berpengetahuan luas terhadap program PLTN atau keputusan untuk membangun PLTN, secara garis besar ada tiga (3) pemangku kepentingan utama yang terlibat dalam menyiapkan infrastruktur pembangunan PLTN, yaitu pemerintah (NEPIO), badan regulator/pengawas dan pemilik/operator PLTN. Selain 3 pemangku kepentingan utama tersebut ada beberapa institusi yang berperan membantu NEPIO dalam menyiapkan dan mengembangkan infrastruktur dasar pembangunan PLTN, yaitu diantaranya BATAN, Kementerian Lingkungan Hidup, Kementerian Perindustrian, perguruan tinggi dsb. Masing-masing memiliki peran, tugas, tanggungjawab dan pekerjaan yang berubah seiring kemajuan program PLTN.

Sebagai komitmen yang kuat (*strong commitment*) terhadap keinginan atau kebutuhan membangun PLTN, maka Pemerintah harus membentuk organisasi pelaksana program energi nuklir atau NEPIO (Nuclear Energy Program Implementation Organization). NEPIO merupakan institusi/organisasi yang paling penting dalam implementasi PLTN, yang berfungsi sangat penting untuk mengkoordinasikan pekerjaan semua organisasi/pemangku kepentingan yang terlibat dalam persiapan dan pengembangan infrastruktur pembangunan PLTN. Dalam hal ini NEPIO mewakili pemerintah, dan tanggung jawab keseluruhan untuk keselamatan terletak pada Pemerintah. IAEA memberikan contoh struktur organisasi NEPIO seperti pada Gambar 3. berikut:



**Gambar 3.** Contoh Struktur Organisasi NEPIO

Saat ini Indonesia belum mempunyai NEPIO, akan tetapi sudah ada Tim Nasional PLTN yang berfungsi seperti NEPIO yang terdiri dari beberapa institusi yang terkait dengan program PLTN di Indonesia, yaitu Kementerian Energi & Sumber Daya Mineral (ESDM), Kementerian Perindustrian (Kemenperin), Kementerian Lingkungan Hidup (KLH), Kementerian Riset dan Teknologi (Kemenristek), Kementerian Keuangan (Kemenkeu), Bappenas, BATAN, BAPETEN, PT. PLN, Perguruan Tinggi, dan lain-lain.

Badan Regulator yang kompeten dan independen harus dikembangkan, karena badan regulator ini bertanggung jawab atas pengawasan keselamatan dan memastikan kepatuhan dengan kerangka kerja hukum dan peraturan baik nasional maupun internasional.

Pemilik/operator harus kompeten untuk mengoperasikan PLTN dengan cara yang aman dan andal dan memenuhi persyaratan peraturan.

## KESIMPULAN

Pendekatan Milestone IAEA (*IAEA Milestone Approach*) membantu negara-negara anggota yang sedang mempertimbangkan atau merencanakan PLTN pertamanya untuk memahami komitmen, kewajiban dan tanggungjawab pihak-pihak yang terkait dengan penyiapan program tenaga nuklir. Pendekatan Milestone membagi kegiatan yang diperlukan untuk membangun infrastruktur program tenaga nuklir menjadi tiga (3) fase, yaitu Fase 1: Pertimbangan sebelum keputusan untuk meluncurkan program tenaga nuklir diambil, Fase 2: Pekerjaan persiapan untuk pembuatan kontrak dan pembangunan PLTN setelah keputusan kebijakan *go nuklir* diambil, dan Fase 3: Kegiatan untuk kontrak, perizinan dan membangun PLTN pertama dilakukan. Saat ini Indonesia berada di Fase 1 dalam pembangunan infrastruktur program tenaga nuklir, dimana ada 3 (tiga) pemangku kepentingan utama yang sangat berperan dalam pembangunan infrastruktur tenaga nuklir, yaitu Pemerintah (NEPIO/Tim Nasional), Badan Regulator (BAPETEN) dan Pemilik/Operator (PT. PLN/lainnya). Sementara itu beberapa pemangku kepentingan pendukung diantaranya adalah BATAN, Kementerian Perindustrian, Kementerian Lingkungan Hidup, Perguruan Tinggi, Pemerintah Daerah dan lain-lain.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Bidang Kajian Infrastruktur yang telah mendukung dan membantu penulisan makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. BATAN & Kemenristekdikti, Cetak Biru Pembangunan Prototipe PLTN dan Komersialisasinya, Jakarta, 2019
- [2]. BATAN, Indonesia User Requirements Document for Light Water Cooled Small Modular Reactors, Jakarta, 2019
- [3]. IAEA, IAEA Nuclear Energy Series, No. NG-G-3.1 (Rev.1), Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power, Vienna, 2016
- [4]. IAEA, IAEA Nuclear Energy Series, No. NG-T-3.2 (Rev.1), Evaluation of the Status of National Nuclear Infrastructure Development, Vienna, 2016
- [5]. IAEA, IAEA Nuclear Energy Series, No. NG-T-3.6 (Rev.1), Responsibilities and Functions of a Nuclear Energy Programme Implementing Organization, Vienna, 2019
- [6]. IAEA, IAEA-TECDOC-1523, Basic Infrastructure for a Nuclear Power Project, Vienna, 2006
- [7]. Sungyeol C. *et.al*, *Fourteen Lessons Learned from the Successful Nuclear Power Program of The Republic of Korea*, Elsevier, Energy Policy 37, 5494-5508, 2009
- [8]. Seung H.L., *et.al*, *Human Resource Planning for Authorized Inspection Activity*, Elsevier, Nuclear Engineering and Technology 51, 618-625, 2019

## MONITORING LEPASAN NUKLIDA DALAM AIR PENDINGIN SEKUNDER DENGAN PENCACAHAN LANGSUNG DI REAKTOR RSG GAS

Elisabeth Ratnawati, Dicky Tri Jatmiko, M. Gading Permadi

*Pusat Reaktor Serba Guna G.A.Siwabessy*

*Kawasan Puspiptek Gedung 31 Serpong*

*Email: betty@batan.go.id*

### ABSTRAK

**MONITORING LEPASAN NUKLIDA DI DALAM AIR PENDINGIN SEKUNDER DENGAN PENCACAHAN LANGSUNG DI REAKTOR RSG GAS.** Pada operasi reaktor teras ke 98 telah terjadi gangguan pada sistem PA02 CR001 sehingga monitoring lepasan produk fisi pemancar gamma didalam air pendingin sekunder yang diakibatkan karena adanya kebocoran air pendingin primer ke sistem pendingin sekunder tidak dapat dilakukan. Sebagai pengganti fungsi monitoring lepasan nuklida dalam air pendingin sekunder perlu dilakukan dengan cara pencacahan langsung, yaitu dengan cara pengambilan sampel air pendingin sekunder pada titik yang telah ditentukan. Pencacahan menggunakan alat spektrometri gamma HPGe model GC2018. Pencacahan terhadap *background* perlu dilakukan juga sebagai informasi apabila dalam pencacahan air pendingin sekunder terdeteksi adanya nuklida. Sehingga dapat diperkirakan bahwa nuklida tersebut memang berasal dari kebocoran *tube* sistem penukar panas atau hanya merupakan cacah *background*. Hasil pencacahan terhadap *background* menunjukkan adanya  $^{60}\text{Co}$  sebesar 0,021 cacah per detik (cps). Sedangkan hasil pencacahan terhadap sampel air pendingin sekunder pada teras ke 98 operasi IV terdeteksi  $^{60}\text{Co}$  sebesar 0,019 cacah per detik (cps), operasi V sebesar 0,018 cacah per detik (cps), dan operasi IX sebesar 0,017 cacah per detik (cps). Monitoring terhadap air pendingin sekunder dilakukan pula sesaat setelah reaktor *shut down* pada operasi IX. Hasil pencacahan menunjukkan adanya nuklida yang sama yaitu  $^{60}\text{Co}$  sebesar 0,020 cacah per detik (cps). Tidak terdeteksi nuklida lain dalam air pendingin sekunder. Jenis nuklida yang sama dengan cacah *background* serta nilai cacah per detik yang tidak jauh berbeda menunjukkan bahwa nuklida yang terdeteksi dalam air pendingin sekunder berasal dari cacah *background*, bukan berasal dari kebocoran sistem penukar panas.

Kata kunci: monitoring gamma, air pendingin sekunder

### ABSTRACT

**NUCLIDE MONITORING REMOVED IN SECONDARY COOLING WATER SYSTEM WITH DIRECT COUNTING METHODS IN REACTOR RSG GAS.** At the 98<sup>th</sup> core reactor operation there was a trouble in the PA02 CR001 system so that monitoring of the release of the fission product of gamma transmitters in the secondary cooling water caused by the leakage of primary cooling water to the secondary cooling system could not be carried out. So monitoring the release of nuclide in secondary cooling water by direct counting, namely by taking a secondary cooling water sample at a predetermined point and then counting using the gamma spectrometry HPGe model GC2018. So that it can be estimated that the nuclide indeed originated from the leakage tube of the heat exchanger system or is only a background count. The results of background count showed the presence of  $^{60}\text{Co}$  0.021 counts per second (cps). While the results of count from secondary cooling water on the 98<sup>th</sup> terrace of operation IV showed  $^{60}\text{Co}$  of 0.019 counts per second (cps), operation V of 0.018 counts per second (cps), and operation IX of 0.017 counts per second (cps). Monitoring of secondary cooling system is also carried out after the reactor shutdown in operation IX. The result of counting show th same nuclide which is  $^{60}\text{Co}$  of 0.020 counts per second (cps). The same types of nuclides with background counts and the number of counts per second that aren't much different indicate that the nuclides detected in secondary cooling water system come from background counts, not from leakage system heat exchangers.

**Keywords:** monitoring gamma, cooling water system

## PENDAHULUAN

Reaktor RSG-GAS dilengkapi dengan dua sistem pendingin, yaitu pendingin primer dan sekunder. Sistem pendingin primer berguna sebagai pendingin teras reaktor, sebagai moderator dan dikondisikan terkungkung, sedangkan pendingin sekunder berfungsi untuk menyerap panas dari pendingin primer hingga pelepasan panas ke lingkungan. Perpindahan panas terjadi pada alat penukar panas jenis sel dan pipa (*shell and tube*). Air pendingin sekunder mengalir melalui pipa (*tube*) dan air pendingin primer mengalir disekeliling pipa (*shell*) dengan arah yang berlawanan [1].

Salah satu kriteria pencapaian keselamatan reaktor yaitu apabila energi panas yang timbul baik operasi normal maupun akibat kecelakaan dapat dibuang secara selamat [2]. Dengan demikian keselamatan dalam pengoperasian reaktor nuklir menjadi hal yang sangat penting karena bertujuan untuk melindungi personil, masyarakat dan lingkungan sekitarnya dari bahaya radiasi maupun zat radioaktif. Reaktor RSG GAS memiliki beberapa alat pemantau radiasi yang dipasang dalam gedung reaktor maupun di cerobong reaktor [3]. Dengan peralatan radiasi terpasang tersebut maka informasi berupa besaran radiasi, peringatan batas paparan radiasi, dan otomatisasi pengendaliannya akan menjamin keselamatan operasi reaktor RSG-GAS. Salah satu dari sistem proteksi radiasi yang dimiliki reaktor RSG GAS adalah sistem PA01 CR001 dan PA02 CR001. Sistem ini dirancang khusus untuk untuk pengendalian keamanan sistem pendingin sekunder. Berfungsi untuk memonitor lepasan produk fisi pemancar gamma didalam air pendingin sekunder yang diakibatkan karena adanya kebocoran air pendingin primer ke sistem pendingin sekunder apabila terjadi kebocoran pada alat penukar panas (HE) [3]. Sehingga dapat mencegah pelepasan zat radioaktif ke lingkungan.

Pada operasi reaktor teras 98 telah terjadi gangguan pada sistem PA02 CR001. Gangguan yang terjadi yaitu laju alir berada dibawah batasan yang ditetapkan ( $0,25\text{m}^3/\text{jam}$ ) sehingga menyebabkan pompa PA02 CR001 mati secara otomatis, dan dengan demikian tidak ada aliran dari sistem pendingin sekunder yang masuk dalam sistem PA02 CR001. Sehingga sistem pemantau radiasi hanya melakukan pencacahan pada air yang tertampung, bukan aliran air pendingin sekunder yang keluar dari sistem penukar panas. Hal ini menyebabkan hasil pemantauan aktivitas gamma dalam air pendingin sekunder menjadi tidak relevan. Berdasarkan situasi dan kondisi dimana sistem pemantau aktivitas gamma sedang mengalami gangguan sementara reaktor harus tetap beroperasi maka diputuskan untuk melakukan pemantaun langsung terhadap kondisi air pendingin sekunder. Pemantauan terhadap aktivitas air pendingin sekunder dianggap penting dari sisi keselamatan operasi reaktor. Karena air pendingin sekunder akan melepaskan panas dari sistem pendingin primer ke lingkungan.

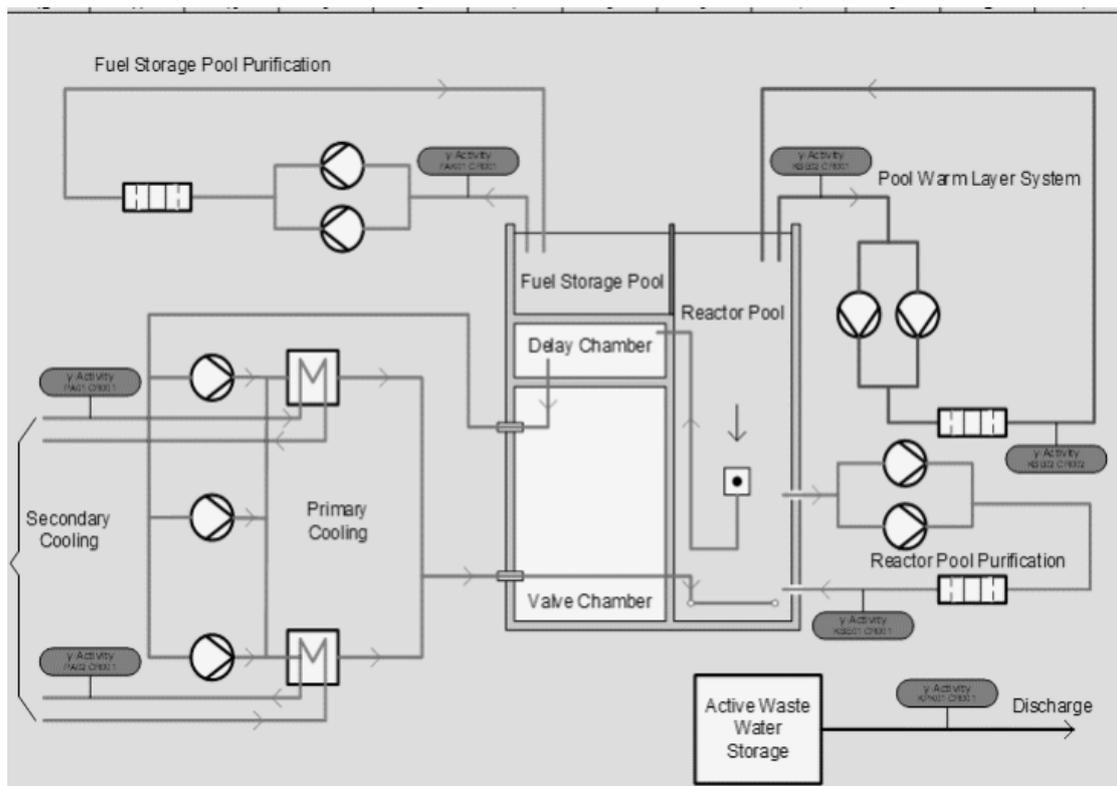
Pemantauan dilakukan dengan cara mengambil sampel air pendingin sekunder pada titik yang telah ditentukan dalam waktu beberapa kali masa operasi ketika sistem pemantau aktivitas gamma pada pendingin sekunder (PA02 CR001) tidak berfungsi, kemudian dilakukan pencacahan sehingga dapat diketahui secara langsung apabila ada cemaran radionuklida yang menandakan kebocoran dalam *tube* alat penukar panas. Gangguan pada sistem PA02 CR001 terjadi pada saat operasi reaktor Teras 98 tahap 4, 5 dan 9. Pengambilan sampel dan pencacahan dilakukan pada saat itu dan setelah reaktor *shut down* operasi tahap 9. Pencacahan terhadap *background* juga dilakukan untuk mengetahui jika nanti dalam pencacahan air pendingin sekunder terdeteksi nuklida maka hasil cacah *background* dapat memberi petunjuk apakah nuklida tersebut sungguh berasal dari air pendingin sekunder atau hanya dari cacah *background*. Pencacahan dengan menggunakan peralatan spektrometri HPGe model GC2018 yang memiliki relative efisiensi  $\geq 20\%$  dan resolusi  $\leq 1,8$  keV pada energy  $1,33\text{MeV}$ . Data hasil pencacahan akan menjadi pengganti fungsi dari sistem pemantau aktivitas gamma ( $\gamma$ ) PA02 CR001 yang sedang mengalami gangguan, sehingga apabila terdeteksi adanya nuklida pada air pendingin sekunder yang merupakan indikasi adanya kebocoran pada *tube* penukar panas dapat segera diambil tindakan selanjutnya, sesuai dengan prosedur keselamatan yang telah ditetapkan.

## DISKRIPSI SISTEM

### Sistem pemantau aktivitas gamma ( $\gamma$ )

Sistem pemantau aktivitas gamma ( $\gamma$ ) PA01 CR001 dan PA02 CR001 yang dipasang pada jalur sistem pendingin sekunder di sisi aliran balik alat penukar panas berfungsi sebagai alat monitor lepasan produk fisi pemancar gamma di dalam air pendingin sekunder yang diakibatkan karena adanya kebocoran air pendingin primer ke sistem pendingin sekunder.

Sistem ini akan memberikan perintah kepada katup isolasi sistem pendingin sekunder PA01 AA14 dan PA01 AA16 serta katup PA02 AA14 dan PA02 AA16 untuk menutup apabila aktivitas  $\gamma$  pada air pendingin sekunder melampaui batas  $5 \times 10^{-6}$  Ci/m<sup>3</sup> [4]. Dengan menutupnya katub isolasi secara otomatis maka pompa pendingin sekunder mati dan suhu air pendingin primer akan meningkat sehingga memicu reaktor scram ( $\geq 42^{\circ}\text{C}$ ) [5]. Mekanisme aliran sistem pendingin ditunjukkan pada gambar 1. Monitoring kebocoran pada *tube* penukar panas akan segera diantisipasi dan penukar panas akan diisolasi dari rangkaian sistem pendingin. Hal ini untuk mencegah kemungkinan terlepasnya zat radioaktif dari reaktor melalui penukar panas yang rusak ke lingkungan. Dan untuk menjamin keakuratan hasil pengukuran aktivitas  $\gamma$ , maka peralatan ukur selalu dikalibrasi enam bulan sekali menggunakan sumber radioaktif. Sistem PA01 CR001 dan PA02 CR001 dipasang pada posisi vertical dengan sambungan untuk air primer dan sekunder pada ujung atas. Berikut adalah gambar Sistem Pemantau Radioaktivitas Air Pendingin.



Gambar 1: Sistem Pemantau Radioaktivitas Air Pendingin

### Sistem Pendingin Sekunder

Sistem pendingin reaktor adalah suatu sistem penyerapan panas/kalor melalui media fluida pendingin dari tempat terjadinya reaksi fisi yaitu didalam teras reaktor hingga pelepasan panas ke lingkungan. Secara umum sistem pendingin di RSG-GAS dibagi menjadi dua bagian besar yaitu sistem pendingin primer dan sistim pendingin sekunder. Sebagai medium pembawa panas, pada sistem pendingin sekunder digunakan air yang berasal dari penyedia air setempat (PAM Puspipstek) tanpa pengolahan lebih lanjut. Pipa dan katup sistem pendingin sekunder RSG-GAS yang berada di luar gedung reaktor, terbuat dari baja karbon. Baja karbon adalah salah satu jenis logam yang relatif lebih mudah terkorosi dibandingkan logam lain. Dalam sistem pendingin sekunder, kerak terbentuk oleh unsur-unsur yang larut dalam air pendingin dan unsur kimia dari material pipa. Komponen khas kerak yang dijumpai pada sistem air pendingin sekunder adalah Kalsium karbonat, Kalsium dan Seng Fosfat, Kalsium Sulfat, Silika dan Magnesim Silikat [4]. Berikut adalah spesifikasi kualitas air pendingin sekunder.

**Tabel 1: Spesifikasi Air Pendingin Sekunder**

Spesifikasi Kualitas Air Pendingin Sekunder [4]		Spesifikasi Kualitas Air Proses (Puspipstek)	
PH	6,5 – 8	PH	7 – 7,5
Konduktivitas normal	950 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Konduktivitas normal	-
Konduktivitas maks	1500 $\mu\text{s}/\text{cm}$	Konduktivitas maks	150 $\mu\text{s}/\text{cm}$
Kalsium sebagai $\text{CaCO}_3$ maks	280 ppm	Kalsium sebagai $\text{CaCO}_3$ maks	34 ppm
$\text{SO}_4^{2-}$ maks	320 ppm	$\text{SO}_4^{2-}$ maks	67,8 ppm
Hardness total maks	480 ppm	Hardness total maks	40 ppm
Fe total maks	1 ppm	Fe total maks	1 ppm
Cl- maks	1775,5 ppm	Cl- maks	7,1 ppm
Laju korosi maks	3 mpy		

## METODOLOGI

Pengambilan dan pencacahan sampel air sekunder dilakukan pada operasi Teras 98 tahap 4, 5 dan 9 dan pada saat reaktor shut down, dimana pada saat itu sistim pemantau radiasi gamma PA02 CR001 mengalami gangguan. Waktu pengambilan adalah tanggal 1 April 2019 pada operasi Teras 98 tahap 4, tanggal 9 April 2019 pada operasi Teras 98 tahap 5, tanggal 14 Mei 2019 pada operasi Teras 98 tahap 9, dan pada tanggal 15 Mei 2019 saat reaktor *shutdown* setelah selesai operasi teras 98 tahap 9. Pencacahan terhadap back *ground* dilakukan untuk memastikan seandainya terdapat nuklida yang terdeteksi dalam air pendingin sekunder maka dapat diketahui bahwa nuklida tersebut memang berasal dari kebocoran *tube* alat penukar panas, atau hanya berasal dari cacah *background*.

Pencacahan dilakukan dengan menggunakan peralatan spektrometri HPGe model GC2018 yang memiliki relatif efisiensi  $\geq 20\%$  dan resolusi  $\leq 1,8$  keV pada energy 1,33MeV. Waktu pencacahan terhadap background dilakukan selama 66.698 detik (18,5 jam), sedangkan pencacahan sampel air sekunder dilakukan dengan waktu sekitar 4-5 jam. Berikut adalah gambar tempat pengambilan sampel air pendingin sekunder dan seperangkat alat spektrometri gamma.



Gambar 2: Pengambilan sampel air pendingin sekunder



Gambar 3: Spektrometri gamma

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pencacahan yang dilakukan terhadap sampel air pendingin sekunder dan background diperoleh data hasil pencacahan seperti yang tersaji dalam tabel dibawah ini.

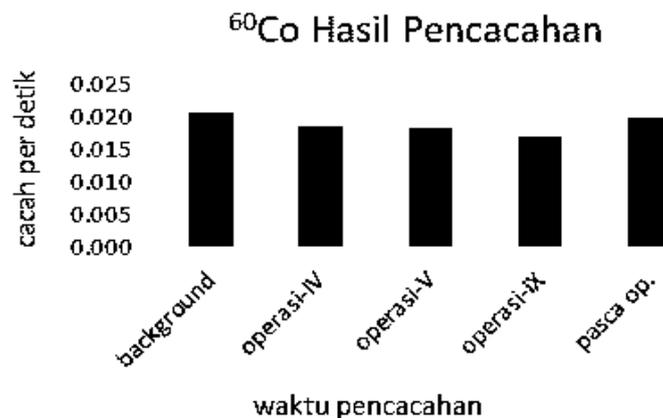
Hasil pengukuran menunjukkan bahwa cacah background yang dilakukan selama 66.698 detik (18,5 jam) mengandung  $^{60}\text{Co}$  dengan 0,021 cacah per detik (cps). Pencacahan sampel yang dilakukan pada operasi teras ke 98 operasi IV (1 April 2019) menunjukkan adanya  $^{60}\text{Co}$  dengan 0,019 cps, sedangkan pada operasi V (9 April 2019) terdeteksi  $^{60}\text{Co}$  dengan 0,17 cacah per detik (cps). Pada operasi teras 98 operasi IX (14 Mei 2019) dilakukan

pengambilan sampel dan pencacahan karena sistem PA02 CR001 kembali mengalami gangguan. Hasil pencacahan menunjukkan adanya  $^{60}\text{Co}$  dengan dengan 0,017 cps.

**Tabel 2: Hasil Pencacahan background dan air pendingin sekunder**

No	Sampel	Waktu cacah (detik)	Nuklida	Energi	Net area	Cacah per detik (cps)
1	Background	66.698	$^{60}\text{Co}$	1173,24	1.391E+03	0,021
2	Teras 98-4 1 April 2019	19.194	$^{60}\text{Co}$	1173,24	3.590E+02	0,019
3	Teras 98-5 9 April 2019	17.774	$^{60}\text{Co}$	1173,24	3.520E+02	0.018
4	Teras 98-9 14 Mei 2019	14.400	$^{60}\text{Co}$	1173,24	2.477E+02	0,017
5	Paska operasi 15 Mei 2019	14.400	$^{60}\text{Co}$	1173,24	2.883E+02	0,020

Sesaat setelah reaktor *shut down* pada operasi IX, dilakukan pengambilan sampel air pendingin sekunder dan dilakukan pencacahan (tanggal 15 Mei 2019). Hasil pencacahan menunjukkan adanya  $^{60}\text{Co}$  dengan 0,020 cps. Nuklida hasil pencacahan ditampilkan dalam tabel dibawah ini.



Grafik 1: Hasil Pencacahan

Grafik. 1 menunjukkan bahwa nuklida yang terdeteksi daeri hasil pencacahan keempat sampel air pendingin sekunder memiliki kesamaan dengan nuklida yang terdeteksi dalam cacah *background*. Jumlah cacah per detik dari setiap sampel air pendingin sistem sekunder memiliki nilai yang tidak melebihi dari cacah *background*, dan tidak terdeteksi nuklida lain dalam pencacahan sampel air pendingin sekunder. Hal ini menunjukkan bahwa  $^{60}\text{Co}$  yang terdeteksi dalam air pendingin sekunder merupakan cacah *background*, dan bukan merupakan indikasi adanya kebocoran pada *tube* alat penukar panas.

Pada operasi teras berikutnya diharapkan sistem monitoring gamma PA02 CR001 sudah dapat berfungsi kembali sehingga pemantaun radiasi gamma dapat dilakukan secara otomatis melalui sistem yang telah terpasang untuk menjamin keselamatan operasi reaktor.

## KESIMPULAN

Nuklida yang terdeteksi dalam air pendingin sekunder sama dengan nuklida yang terdeteksi dalam cacah *background*, dan jumlah cacah per detik tidak melebihi dari cacah *background*. Tidak terdeteksi nuklida lain dalam sampel air pendingin sekunder. Dengan demikian dapat dinyatakan bahwa  $^{60}\text{Co}$  yang terdeteksi dalam air pendingin sekunder merupakan cacah *background*, bukan indikasi adanya kebocoran pada *tube* alat penukar panas.

## SARAN

Perbaiki pompa sistem pemantau aktivitas gamma pada pendingin sekunder (PA02 CR01) harus segera diselesaikan untuk menunjang operasi reaktor pada teras berikutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Santosa Pujiarta, Kajian Pengujian Kebocoran Air Pendingin Reaktor Pada Alat Penukar Panas Reaktor GA.Siwabessy, Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir. Vol. X No.2, Oktober 2013
- [2]. Iman Kuntoro, Evaluasi Kinerja Sistem Keselamatan Reaktor RSG GAS Selama Beroperasi 25 tahun, Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir. Vol. XI, No. 1, April 2014
- [3]. Pudjijanto MS, Sistem Proteksi Radiasi dan Peralatan yang Terpasang Menetap, Portabel & Perorangan di RSG-GAS, BK-PRSG, Batan, Juni 1991.
- [4]. Laporan Analisis Keselamatan RSG GAS, revisi 10.1, Bab V, Desember 2011
- [5]. Pardi dkk, Evaluasi Pengoperasian Pompa Sistem Pendingin Sekunder Untuk menunjang operasi Reaktor RSG GAS, Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir Vol XIV no 1, April 2017

## DISKUSI/TANYA JAWAB:

### 1. PERTANYAAN (Ade Awalludin-BAPETEN):

Apakah sampel air pendingin tsb juga dianalisis di laboratorium yang lain sebagai perbandingan?

#### JAWABAN:

Tidak, karena nuklida hasil pencacahan masih dibawah cacah *background*

### 2. PERTANYAAN (Edwaren Liun-PKSEN BATAN):

Apakah sistem pendingin RSG GAS dapat mendukung operasi reaktor secara kontinyu?

#### JAWABAN:

Sistem pendingin RSG GAS mampu mendukung operasi reaktor secara kontinyu. RSG GAS memiliki dua alat penukar panas yaitu JE-01 BC-01 dan JE01 BC-02. Kedua penukar panas ini berjenis sel dan pipa (*shell and tube*). Air sekunder mengalir melalui pipa-pipa dan air pendingin primer mengalir di sekeliling pipa-pipa pada sisi sel dengan arah berlawanan. Masing-masing penukar panas ini disiapkan untuk memindahkan panas sebesar 16,2 MW. Sehingga dengan dua alat penukar panas, mampu memindahkan panas sebesar 2x16,2 MW.

### 3. PERTANYAAN:

Bagaimana rancangan sistem pendingin di RSG GAS tersebut?

#### JAWABAN:

Disain Penukar Panas RSG-GAS adalah sebagai berikut:

Sisi shell: Air panas primer

Sisi tube: Air dingin sekunder

Fasa pendingin: Air- air

Diameter pipa ID/OD: 20mm, 22 mm

Jumlah pipa per pass: 816 batang pipa

Panjang pipa: 7410 mm

Kapasitas tiap penukar panas: 16200 kW

Luas perpindahan panas: 780 m<sup>2</sup>

Diameter luas sel: 1.300 mm

Panjang keseluruhan: ± 9.000 mm

## **IDENTIFIKASI POTENSI BAHAYA KEJADIAN AKIBAT ULAH MANUSIA DI DAERAH INTERES PLTN DI PROVINSI NTB**

**Siti Alimah, Heni Susiati, Hadi Suntoko, Eko Rudi Iswanto, Euis Etty A., Mudjiono**

*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir-BATAN  
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan Jakarta 12710,  
E-mail: alimahs@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

**IDENTIFIKASI POTENSI BAHAYA KEJADIAN AKIBAT ULAH MANUSIA DI DAERAH INTERES PLTN DI PROVINSI NTB.** Kejadian akibat ulah manusia (KAUM) di sekitar lokasi dimana PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) akan dibangun, merupakan salah satu aspek yang perlu dipertimbangkan dalam evaluasi tapak karena dapat membahayakan keselamatan reaktor nuklir. Sumber potensi bahaya KAUM dapat diklasifikasikan sebagai sumber bergerak dan tidak bergerak. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi potensi bahaya KAUM tahap pra-survei untuk mendukung pemilihan tapak PLTN di Provinsi NTB (Nusa Tenggara Barat). Metodologi meliputi pengumpulan data sekunder dengan sumber bahaya KAUM, kajian pustaka dan selanjutnya dilakukan identifikasi. Berdasar kajian awal tahap pra survei untuk aspek geologi dan kegunungapian di wilayah pesisir NTB, diperoleh 4 daerah interes: Pulau Rakit, Pulau Ngali, Kecamatan Plampang dan Kecamatan Soromandi. Hasil penelitian pada tahap pra-survei memperlihatkan bahwa di wilayah Provinsi NTB tidak terdapat potensi bahaya yang berasal dari sumber tidak bergerak seperti kilang minyak, industri kimia, fasilitas nuklir lain dan sumber bergerak seperti jalur kereta api dan jaringan/jalur pipa gas. Beberapa sumber bergerak dan tidak bergerak lainnya memerlukan identifikasi lebih lanjut seperti potensi bahaya jatuhnya pesawat di daerah interes di Kecamatan Soromandi, yang hanya berjarak 14,5 km dari bandara Sultan Muhammad Salahuddin.

**Kata kunci:** potensi bahaya KAUM, pra-survei, pemilihan tapak, keselamatan, PLTN.

### **ABSTRACT**

**IDENTIFICATION OF THE POTENTIAL HUMAN INDUCED EVENT HAZARDS IN NPP INTEREST AREAS IN NTB PROVINCE.** Human induced event (HIE) around the site where nuclear power plants will be built is one of the aspects to consider in site evaluation as it may pose a threat to the safety of nuclear reactors. Sources of potential hazard of the HIE can be classified as mobile and stationary sources. The objective of the study was to identify the potential hazards to HIE in the pre-survey stage to support the selection of NPP sites in NTB Province. The methodology used include secondary data collection related to the HIE hazard source, literature review, and further identification. Based on the results of preliminary studies in the pre-survey stage for aspects such as geology and vulcanology in the coastal area of NTB, 4 interes areas were identified: Rakit Island, Ngali Islands, Plampang and Soromandi districts. The results of the research in the pre-survey stage showed that in the NTB Province area there were no potential hazard of stationary sources such as oil refinery, chemical industry, other nuclear facilities, as well as mobile source such as railways and gas pipelines. However, some other mobile and stationary sources require further identification. There is a hazard potential from plane crash in the interes area in Soromandi District, where the distance to Sultan Muhammad Salahuddin airport is only 14.5 km.

**Keyword:** potential hazard from HIE, pre-survei, site selection, safety, NPP.

### **PENDAHULUAN**

Kegiatan pemilihan tapak merupakan salah satu langkah penting dalam rencana pembangunan PLTN. Terdapat dua tujuan utama dalam penentuan tapak PLTN; yaitu memastikan kelayakan secara teknis dan ekonomi instalasi, dan meminimalkan potensi dampak buruk pada masyarakat dan lingkungan hidup [1]. Berdasar perjanjian kerjasama antara BATAN dan Dinas ESDM Pemerintah Provinsi NTB No. B-1970/BATAN/SEN/KS0001/02/2018-415.4/404/DESDM/ 2018 tentang kajian pengembangan energi nuklir dan tapak PLTN untuk memenuhi kebutuhan listrik di wilayah Provinsi NTB, maka perlu dilakukan survei awal (pra-survei) pengembangan energi nuklir meliputi pengumpulan

dan kajian data tapak serta non tapak di wilayah Provinsi NTB. Pra-survei merupakan tahap awal dalam pemilihan tapak dan dalam pra-survei ini akan diperoleh daerah-daerah interes. Terdapat berbagai aspek dalam pra survei, survei dan evaluasi tapak, dan aspek kejadian akibat ulah manusia (KAUM) merupakan salah satu aspek yang dapat mempengaruhi keselamatandalam pemilihan tapak PLTN. KAUM adalah kecelakaan yang disebabkan oleh aktivitas manusia, yang dapat mengubah geosfer, biosfer dan lanskap (bentangan daratan) yang memicu bahaya tertentu dan meningkatkan bahaya lingkungan [2]. KAUM merupakan salah satu kejadian eksternal, yang berasal dari sumber di sekitar tapak, yang tidak secara langsung terkait dengan status operasi di instalasi nuklir [3].

Berkaitan dengan ketentuan keselamatan tapak reaktor nuklir, Bapeten menetapkan peraturan tentang aspek KAUM dalam evaluasi tapak reaktor daya, sehingga potensi sumber KAUM terhadap reaktor harus diidentifikasi dan kemungkinan yang menghasilkan fenomena bahaya harus dievaluasi [3,4,5]. Hasil evaluasi digunakan dalam desain dasar instalasi nuklir, berdasar standar keamanan dengan mempertimbangkan karakteristik lokasi, risiko yang diakibatkan bahaya eksternal dan dampak pada lingkungan yang mungkin timbul. Pengukuran yang tepat harus dilakukan untuk menjamin bahwa risiko keseluruhan masih dapat diterima dan sekecil mungkin. Oleh karena itu, secara langsung atau tidak langsung, fasilitas dan aktivitas manusia di sekitar lokasi reaktor nuklir dibangun, pada kondisi tertentu dapat mempengaruhi keselamatan reaktor tersebut. Jadi, semua kegiatan manusia yang berada di lokasi sekitar reaktor nuklir dan kegiatan yang akan berkembang di masa yang akan datang harus dikaji potensinya terhadap keselamatan reaktor nuklir [6].

Pada pemilihan tapak reaktor memerlukan kajian aspek kejadian akibat ulah manusia, yang diperkirakan dapat membahayakan keselamatan reaktor nuklir. Dalam mengidentifikasi berbagai aktivitas dan fasilitas manusia yang memberikan potensi bahaya terhadap keselamatan PLTN, didasarkan pada nilai *Screening Distance Value* (SDV). Jika dalam kajian mengindikasikan adanya bahaya yang tidak dapat diterima dan tidak tersedia solusi, maka tapak dianggap tidak layak [7]. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi potensi bahaya KAUM tahap pra-survei untuk pemilihan tapak PLTN di Provinsi NTB. Metode yang digunakan adalah kajian pustaka, pengumpulan data sekunder, konfirmasi dan identifikasi berbagai jenis bahaya eksternal akibat ulah manusia. Hasil studi diharap dapat memberi masukan bagi pengambil kebijakan, dalam penentuan lokasi tapak PLTN di Provinsi NTB.

### **POTENSI BAHAYA KEJADIAN AKIBAT ULAH MANUSIA**

Sumber kejadian eksternal akibat ulah manusia dapat diklasifikasikan sebagai sumber bergerak dan tidak bergerak [3,4,5,8]. Sumber tidak bergerak adalah sumber yang lokasi mekanisme pemicunya tetap, meliputi kilang minyak, industri kimia, stasiun/depo penyimpanan bahan bakar minyak, stasiun/depo penyimpanan bahan bakar gas, jaringan transmisi penyiaran dan telekomunikasi, penambangan/penggalan, keberadaan hutan, fasilitas nuklir lain, peralatan berputar dengan energi tinggi, dan fasilitas militer. Sedangkan sumber bergerak meliputi keberadaan jalur kereta api, transportasi darat, jalur pelayaran, jalur pipa (gas/minyak), bandar udara (pergerakan pesawat dan frekuensi penerbangan), koridor lalu lintas udara dan jalur penerbangan (militer/sipil) [3,9,10,11,12].

Salah satu langkah awal dalam evaluasi kejadian eksternal akibat ulah manusia adalah identifikasi sumber kejadian [13]. Setiap sumber yang mempunyai potensi bahaya harus diidentifikasi [14]. Berdasar identifikasi sumber kejadian, maka potensi bahaya terhadap PLTN dari masing-masing sumber didefinisikan.

Kilang minyak, industri kimia, stasiun bahan bakar minyak dan stasiun bahan bakar gas memberikan kejadian yang sama yaitu ledakan, kebakaran, lepasan bahan beracun dan korosif [3-5,15]. Perkembangan kejadian ledakan, memberikan potensi bahaya berupa gelombang tekanan ledakan, proyektil, asap, gas dan debu yang dihasilkan dalam ledakan yang dapat melayang menuju instalasi nuklir, yang biasanya disertai kebakaran dan kobaran api. Sedangkan perkembangan kejadian kebakaran adalah percikan api yang memicu kebakaran lainnya, asap dan gas pembakaran yang bisa melayang ke arah instalasi nuklir, selain itu juga fluks panas dari kebakaran. Pelepasan bahan mudah terbakar atau mudah meledak, awan uap atau cairan dapat berpindah menuju instalasi dan membakar atau meledak sebelum atau sesudah mencapainya, di luar atau di dalam instalasi. Awan uap atau cairan juga bisa bermigrasi ke daerah operator atau peralatan sehingga sistem keselamatan terhambat fungsinya [15]. Lepasn bahan beracun dan korosif memberikan potensi bahaya efek fisik terhadap personil operasi atau komponen alat. Efek fisik terhadap personil operasi dapat berupa efek kematian, kelumpuhan, efek kesehatan dalam jangka panjang atau pendek

[16]. Sebagai contoh, paparan LPG dalam jumlah besar dapat mengurangi jumlah oksigen dalam udara, sehingga menyebabkan lemas pada manusia disekitarnya dengan gejala sakit kepala, pusing, mual, muntah [17]. Bahan berbahaya tersebut bermigrasi ke gedung melalui jalur aliran, termasuk sistem pemanas, ventilasi dan sistem pendingin udara, atau hanya di halaman instalasi.

Sedangkan potensi bahaya dari jaringan transmisi penyiaran dan telekomunikasi adalah interferensi antar jaringan satelit, terrestrial, *cross polarisasi*, *co channel* (antar kanal) retransmit dan intermodulasi antara *carrier* [18]. Penggunaan pita frekuensi yang sama pada dua sistem yang berbeda dapat menyebabkan potensi bahaya yaitu terjadinya interferensi [19].

Kejadian yang dapat terjadi pada penambangan/penggalian adalah runtuh atau amblesnya permukaan tanah, sehingga dapat menyebabkan potensi bahaya amblesnya bangunan atau bagian dari bangunan. Keberadaan hutan dapat memberikan kejadian kebakaran, sedangkan fasilitas nuklir lain dapat memberikan kejadian lepasan zat radioaktif, yang mana memberikan potensi bahaya efek fisik terhadap personil operasi. Peralatan berputar dengan energi tinggi yang dimaksud adalah turbin dari peralatan pembangkit listrik yang kemungkinan dapat menyebabkan lontaran missil dari bagian peralatan turbin ke instalasi nuklir [3,5]. Guna menghindari gangguan oleh mesin yang berputar dengan energi tinggi, maka semua peralatan diletakkan jauh dari sistem instrumentasi (*electronic devices*). Potensi bahaya dari fasilitas militer dapat berasal dari lontaran proyektil, ledakan, kebakaran, lepasan bahan beracun dan lepasan bahan radioaktif [3,5].

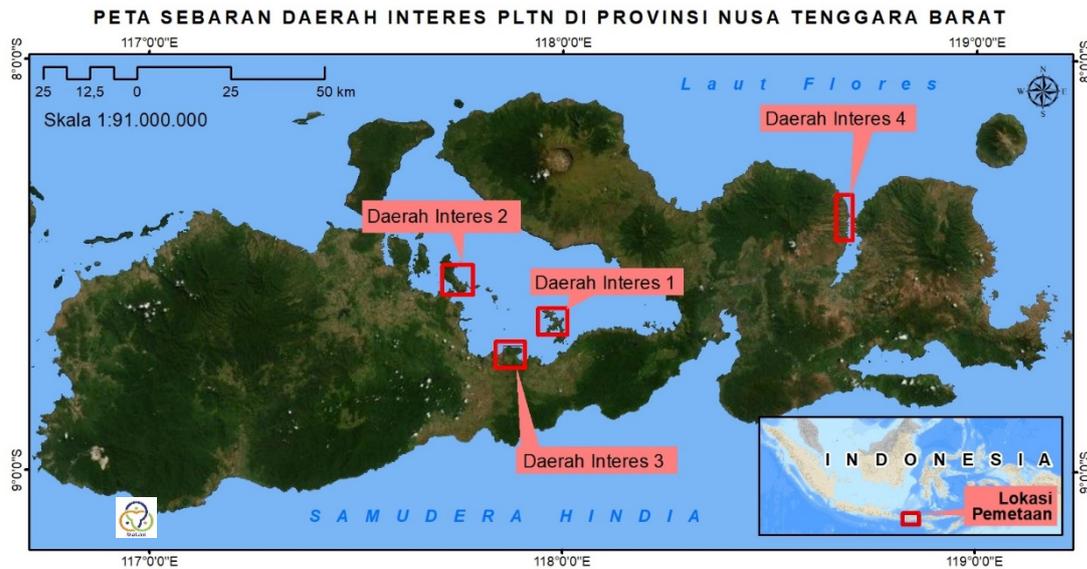
Sedangkan potensi bahaya yang mungkin ditimbulkan dari sumber bergerak seperti kereta penumpang/barang, sarana transportasi darat, sarana transportasi pelayaran, selain berasal dari ledakan, kebakaran, lepasan bahan beracun dan korosif adalah lepasan bahan radioaktif, penyumbatan kontaminan (dari tumpahan minyak) atau kerusakan struktur penghisap air, serta dampak kendaraan tergelincir [3,5]. Bandara dan koridor lalu lintas udara dan jalur penerbangan (militer maupun sipil) dapat menjadi sumber kejadian penerbangan abnormal yang mengakibatkan jatuhnya pesawat. Proyektil, kebakaran dan ledakan dari tangki bahan bakar adalah potensi bahaya dari perkembangan kejadian jatuhnya pesawat. Koridor lalu lintas udara adalah suatu wilayah udara khusus tempat sebuah pesawat terbang harus tetap berada di tempatnya selama melintasi daerah tertentu, sedangkan jalur penerbangan adalah suatu daerah penerbangan yang diperbolehkan dilalui oleh pesawat udara negara manapun setelah mendapatkan ijin terbang.

Disebutkan bahwa, dalam mengidentifikasi berbagai aktivitas dan fasilitas manusia yang memberikan potensi bahaya terhadap keselamatan PLTN, didasarkan pada nilai *Screening Distance Value* (SDV). SDN yaitu jarak dari fasilitas untuk penapisan potensi sumber bahaya suatu Kejadian Eksternal yang dapat diabaikan [3,20]. Masing-masing sumber yang memberikan potensi bahaya mempunyai pertimbangan nilai SDV yang berbeda. Nilai SDV untuk industri kimia, stasiun bahan bakar minyak dan stasiun bahan bakar gas adalah 5 km, penambangan atau penggalian 10 km [5,11], kebakaran karena keberadaan hutan 2 km [4,5], instalasi militer 30 km [4,5], sarana kereta api 1,8 km, sarana transportasi darat 5 km, jalur pelayaran 10 km, jalur pipa 8-10 km, bandara besar 16 km dan bandara kecil 10 km [4,12]. Sedangkan untuk koridor lalu lintas udara dan zona penerbangan 8 km [5,11].

## **METODOLOGI**

Metodologi meliputi kajian pustaka, pengumpulan data sekunder terkait dengan sumber bahaya eksternal akibat ulah manusiadan selanjutnya dilakukan konfirmasi dan identifikasi berbagai jenis bahaya eksternal akibat ulah manusia yang berpotensi membahayakan reaktor PLTN yang direncanakan di Provinsi NTB.

Kajian awal berdasar aspek geologi dan kegunungapian di wilayah pesisir Provinsi NTB, diperoleh lokasi daerah interes yaitu Pulau Rakit (Kabupaten Sumbawa), Pulau Ngali (Kabupaten Sumbawa), Kecamatan Plampang (Kabupaten Sumbawa), Soromandi (Kabupaten Bima) [21]. Peta sebaran daerah interes PLTN diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Sebaran Daerah Interes PLTN di Provinsi NTB [21]

Keterangan:

Daerah Interes 1: Pulau Rakit  
Daerah Interes 2: Pulau Ngali

Daerah Interes 3: Kecamatan Plampang  
Daerah Interes 4: Kecamatan Soromandi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada studi ini, terkait dengan potensi bahaya dari peralatan berputar dengan energi tinggi yang berupa lontaran missil dari bagian peralatan turbin, identifikasi akan dilakukan pada tahap survei setelah penentuan tapak terpilih. Sebagaimana peralatan berputar dengan energi tinggi, keberadaan hutan yang memberikan potensi bahaya kebakaran yang dikhawatirkan mencapai lokasi tapak, maka identifikasi jagan akan dilakukan pada tahap survei.

### Hasil Identifikasi Sumber Tidak Bergerak di Wilayah Provinsi NTB

Hasil penelitian menunjukkan bahwa di wilayah Provinsi NTB saat ini tidak terdapat kilang minyak, industri kimia dan fasilitas nuklir lain sehingga tidak terdapat potensi bahaya dari sumber tersebut dan tidak perlu dilakukan analisis lebih lanjut. Sentra industri yang ada adalah industri makanan dan minuman, pengolahan tembakau, tekstil dan pakaian jadi, kayu dan kerajinan/anyaman, percetakan dan reproduksi media, bahan galian bukan logam, serta furniture [22].

Di wilayah provinsi NTB saat ini telah terdapat sistem jaringan telekomunikasi. Akan dilakukan pengembangan jaringan saluran tetap telekomunikasi dan jaringan telekomunikasi khusus provinsi di perkotaan dalam wilayah Kabupaten/Kota se-Nusa Tenggara Barat. Namun, potensi bahaya dari sistem jaringan transmisi telekomunikasi tersebut dapat diatasi yaitudengan mengatur sinyal level harus lebih besar dari noise yang diterima ( $SNR = \text{Sinyal to Noise Ratio}$ ), memaksimalkan level sinyal yang diterima, memilih frekuensi yang tidak banyak digunakan oleh stasiun lainnya, mengubah lokasi peralatan (termasuk antena), dan menggunakan jalur pendek atau tidak membangun sambungan jarak jauh [5].

Hasil Identifikasi stasiun bahan bakar minyak di wilayah Provinsi NTB diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah SPBU/SPBN/SPDN di Provinsi NTB [23]

No.	Kabupaten/Kota	Jumlah Stasiun			Jumlah Total
		SPBU	SPBN	SPDN	
1.	Kota Mataram	11	-	1	12
2.	Lombok Barat	9	1	-	10
3.	Lombok Tengah	10	-	-	10
4.	Lombok Timur	12	1	1	14

5.	Lombok Utara	2	1	-	3
6.	Sumbawa Barat	3	-	-	3
7.	Sumbawa	8	-	1	9
8.	Dompu	4	-	-	4
9.	Bima	3	-	3	6
10.	Kota Bima	4	-	-	4

Keterangan:

SPBU: Stasiun Bahan Bakar Untuk Umum

SPBN: Stasiun Pengisian Bahan Bakar Nelayan

SPDN: *Solar Packed Dealer* Nelayan

Perlu dilakukan identifikasi lebih lanjut pada tahap survei untuk detail lokasi, sehingga dapat diketahui jarak stasiun bahan bakar minyak terhadap tapak terpilih. Jika jarak lebih kecil SDV maka perlu dilakukan evaluasi detail, untuk memastikan dampak kebakaran, ledakan dan lepasan gas berbahaya/beracun dari kecelakaan lepasan bahan bakar minyak tersebut.

Saat ini baru terdapat 5 stasiun pengisian bahan bakar gas di Pulau Lombok, yang mana 3 stasiun ada di Kota Mataram. Sebagaimana pada stasiun BBM, perlu dilakukan identifikasi lebih lanjut, sehingga dapat diketahui jarak stasiun bahan bakar gas terhadap tapak terpilih.

Terkait dengan potensi bahaya dari peralatan berputar dengan energi tinggi yang berupa lontaran missil dari bagian peralatan turbin, maka identifikasi akan dilakukan pada tahap survei setelah penentuan tapak terpilih. Sebagaimana peralatan berputar dengan energi tinggi, keberadaan hutan yang memberikan potensi bahaya kebakaran yang dikhawatirkan mencapai lokasi tapak, maka diidentifikasi akan dilakukan pada tahap survei.

Potensi pertambangan mineral di NTB cukup besar. Setidaknya ada 60 lokasi potensi mineral logam yang tersebar di 23 Kawasan Andalan (KA) di Pulau Lombok dan 25 lokasi di Pulau Sumbawa. Di pulau Lombok tersebar di dua lokasi yaitu di Kabupaten Lombok Timur, 6 lokasi di Kabupaten Lombok Tengah dan 15 lokasi di Kabupaten Lombok Barat. Sementara di Pulau Sumbawa tersebar yaitu 11 lokasi di Kabupaten Sumbawa Barat (termasuk PT. Newmont Nusa Tenggara), 14 lokasi di Kabupaten Sumbawa. 5 lokasi di Kabupaten Dompu serta 7 lokasi di Kabupaten Bima [24]. Usulan wilayah pertambangan (WP) di Provinsi NTB adalah 891.590 ha (44,24% dari total luas daratan NTB) [25]. Wilayah pertambangan adalah wilayah yang memiliki potensi mineral dan atau batubara dan tidak terikat dengan batas administrasi pemerintahan yang merupakan bagian tata ruang nasional. Pada bulan Juni 2015, total luas wilayah ijin usaha pertambangan mineral logam 324.108,35 ha (39 IUP), mineral bukan logam 4.118 ha (1 IUP), batuan 2.488,01 ha (138 IUP) dan ijin pertambangan rakyat 1.385,24 ha (72 IPR). Jumlah lokasi galian batuan tersebar di beberapa tempat, yaitu di Lombok Barat terdapat 36 lokasi, Lombok Tengah 11 lokasi, Lombok Timur 8 lokasi, Sumbawa 4 lokasi, Dompu 9 lokasi, Bima 12 lokasi, Sumbawa Barat 7 lokasi dan kota Bima 4 lokasi [21]. Kegiatan penambangan/penggalian dapat menyebabkan runtuh atau amblesnya permukaan tanah, namun jika dalam kegiatan tersebut menggunakan bahan peledak juga dapat menghasilkan gelombang tekanan, proyektil dan shock tanah [7]. Perlu dilakukan identifikasi lebih lanjut pada tahap survei, untuk mengetahui detail lokasi penambangan/penggalian baik yang menggunakan bahan peledak atau tidak, jumlah maksimum bahan peledak, karakteristik geologi dan geofisika bawah permukaan di daerah penambangan, sehingga dapat dipastikan PLTN yang direncanakan aman dari potensi bahaya penambangan/penggalian.

Fasilitas militer yang terdapat di wilayah provinsi NTB Komando Resort Militer 162/Wirabhakti, di Kota Mataram. Pada tanggal 1 April 1985, Korem 162/Wira Bhakti telah melaksanakan reorganisasi sesuai Keputusan Kasad nomor : Kep/14/XII/1984 tanggal 26 Desember 1984 hingga saat ini, Korem 162/Wira Bhakti membawahi 6 Kodim, yaitu [26]: Kodim 1606 di Lombok Barat, Kodim 1607 di Sumbawa, Kodim 1608 di Bima, Kodim 1614 di Dompu, Kodim 1615 di Lombok Timur, Kodim 1620 di Lombok Tengah, Yonif (Batalyon Infanteri) 742Satya Wira Yudha di Kota Mataram. Perlu identifikasi lebih lanjut untuk mengetahui jarak sumber dengan calon tapak PLTN dan konfirmasi untuk mengetahui latihan instalasi militer dan amunisi yang ada.

#### **Hasil Identifikasi Sumber Bergerak di Wilayah Provinsi NTB:**

Penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat jenis transportasi darat melalui jalur kereta api sehingga tidak terdapat potensi bahaya. Terkait dengan potensi bahaya dari

kendaraan yang mengangkut BBM, BBG dan bahan berbahaya & beracun, maka sarana transportasi darat yang melalui jalan raya adalah jalan raya yang terdekat dengan calon tapak, sehingga perlu identifikasi lebih lanjut.

Di wilayah Provinsi NTB terdapat jaringan pelayanan Transportasi Laut (pelayaran) berupa pelabuhan, yang terdiri dari 6 (enam) Pelabuhan Pengumpul, 5 (lima) Pelabuhan Pengumpan Regional, dan 8 (delapan) Pelabuhan Pengumpan Lokal [19].

#### **A) Pelabuhan Pengumpul**

Pelabuhan Pengumpul berfungsi melayani kegiatan dan alih muat penumpang dan barang secara nasional, mampu menangani kontainer dengan volume kegiatan bongkar muat sedang.

Dilihat dari pengelolaannya pelabuhan diklasifikasikan menjadi dua yaitu:

- 1) Pelabuhan diusahakan, dikelola oleh Badan Usaha Pelabuhan yaitu PT. (Persero) Pelabuhan Indonesia III (Pelindo III) :
  - I. Pelabuhan Lembar di Kabupaten Lombok Barat
  - II. Pelabuhan Badas di Kabupaten Sumbawa
  - III. Pelabuhan Bima di Kota Bima
- 2) Pelabuhan tidak diusahakan, diselenggarakan oleh Pemerintah/Ditjen Perhubungan Laut (UPT. Ditjen Hubla) :
  - I. Pelabuhan Labuan Lombok di Kabupaten Lombok Timur,
  - II. Pelabuhan Benete di Kabupaten Sumbawa Barat, dan
  - III. Pelabuhan Sape Kabupaten Bima

#### **B) Pelabuhan Pengumpan Regional**

Pelabuhan Pengumpan Regional berfungsi melayani kegiatan Angkutan Laut dalam jumlah kecil dengan jangkauan pelayanan antar Kabupaten/Kota. Yang termasuk Pelabuhan Regional antara lain :

- 1) Pelabuhan Pemenang/Tanjung di Kabupaten Lombok Barat
- 2) Pelabuhan Carik di Kabupaten Lombok Utara
- 3) Pelabuhan Labuhan Haji di Kabupaten Lombok Timur
- 4) Pelabuhan Waworada di Kabupaten Bima
- 5) Pelabuhan Telong Elong

#### **C) Pelabuhan Pengumpan Lokal**

Pelabuhan Pengumpan Lokal berfungsi melayani kegiatan Angkutan Laut dalam jumlah kecil dengan jangkauan pelayanan antar kecamatan dalam Kabupaten/Kota. Yang termasuk Pelabuhan Lokal antara lain:

- 1) Pelabuhan Kempo di Kabupaten Dompu,
- 2) Pelabuhan Senggigi di Kabupaten Lombok Barat,
- 3) Pelabuhan Labuan Lalar di Kabupaten Sumbawa,
- 4) Pelabuhan Tanjung Luar di Kabupaten Lombok Timur, dan
- 5) Pelabuhan Alas di Kabupaten Sumbawa Barat.
- 6) Pelabuhan Calabai
- 7) Pelabuhan Cempi
- 8) Pelabuhan Bangko Kabupaten Lombok Barat

Perlu identifikasi lebih lanjut terhadap jalur pelayaran dan kapal/tongkang yang melewati/bersandar di pelabuhan-pelabuhan yang menjadi distribusi barang tersebut.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa saat ini tidak terdapat jaringan/jalur pipa gas. Namun dalam lampiran rencana pengembangan kawasan strategis SAMOTA [19], kebijakan RPJMN merencanakan jaringan gas rumah tangga. Jaringan pipa minyak dan gas (depo minyak dan gas) direncanakan di daerah Badas, Manggalewa, Kempo dan Pekat. Diperlukan identifikasi lebih lanjut mengenai lokasi detail jaringan pipa minyak dan gas tersebut, pada tahap survei.

Di Provinsi NTB telah beroperasi 3 (tiga) bandara udara (bandara). 1(satu) bandara dikelola oleh Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dalam hal ini PT. Angkasa Pura I (Persero) yaitu Bandara Internasional Lombok / Lombok *International Airport* (BIL/LIA) di Praya, Kabupaten Lombok Tengah. Bandara ini menggantikan fungsi dari Bandara Selaparang, Kota Mataram. Selain BIL, 2 (dua) bandara lainnya yaitu Bandara "Sultan Muhammad Kaharuddin" di Brang Biji – Sumbawa Besar (Kabupaten Sumbawa) dan Bandara "Sultan Muhammad

Salahuddin” di Bima, Kabupaten Bima. Kedua bandara tersebut merupakan bandara domestic yang dikelola oleh UPT Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. Selain itu, terdapat 1 (satu) bandara khusus berupa “*airstrip*” di Benete, Kabupaten Sumbawa Barat yang dioperasikan oleh PT. Newmont Nusa Tenggara (PT.NNT). Dengan menggunakan analisis GIS diperoleh jarak masing-masing 4 daerah interest terhadap bandara tersebut, seperti diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Jarak Bandara di Wilayah Provinsi NTB dengan Daerah Interest

No.	Daerah Interest	Jarak terhadap Bandara (km)			
		Internasional Lombok	Sultan Muhammad Kaharuddin	Sultan Muhammad Salahuddin	<i>Air Strip</i> PT. NNT
1	P. Rakit	189,9	65,7	78,7	139,6
2	P. Ngali	164,2	35,9	105,9	118,4
3	Kec. Plampang	177,1	57,6	92,5	125,9
4	Kec. Soromandi	269,6	141,0	14,5	220,5

Berdasar SDV 16 km untuk bandara besar dan 10 km untuk bandara kecil maka 3 daerah interest tersebut aman terhadap potensi bahaya jatuhnya pesawat, kecuali daerah interest di Kecamatan Soromandi, yang jaraknya terhadap bandara Sultan Muhammad Salahuddin 14,5 km. Perlu dilakukan evaluasi lebih lanjut jika kecamatan Soromandi menjadi tapak terpilih. Berkaitan dengan potensi bahaya dari koridor udara dan jalur penerbangan, perlu identifikasi dan konfirmasi lebih lanjut untuk memastikan apakah daerah interest tersebut berada di luar koridor penerbangan.

## KESIMPULAN

Berdasar hasil kajian awaltahap pra survei di wilayah pesisir NTB untuk aspek geologi dan kegunungapian, diperoleh 4 lokasi daerah interest yaitu Pulau Rakit, Pulau Ngali, Kecamatan Plampang dan Kecamatan Soromandi. Hasil penelitian pada tahap pra-survei untuk aspek kejadian akibat ulah manusia (KAUM) diperoleh bahwa di wilayah Provinsi NTB saat ini tidak terdapat kilang minyak, industri kimia dan fasilitas nuklir lain sehingga daerah interest aman dari potensi bahayayang berasal dari sumber tidak bergerak tersebut. Potensi bahaya dari sumber tidak bergerak lain yaitu stasiun bahan bakar minyak, stasiun bahan bakar gas, peralatan berputar dengan energi tinggi, hutan, penambangan/penggalian dan fasilitas militer, diperlukan identifikasi lebih lanjut untuk dapat dipastikan lokasi tapak aman dari potensi bahaya sumber-sumber tersebut.

Pada tahap pra-survei ini tidak terdapat jenis transportasi darat melalui jalur kereta api sehingga tidak terdapat potensi bahaya dari jenis sumber bergerak ini. Terkait dengan jenis sumber bergerak lain yaitu transportasi darat dan transportasi pelayaran, diperlukan identifikasi lokasi detail. Tidak terdapat potensi bahaya dari jaringan/jalur pipa gas yang juga merupakan jenis sumber bergerak. Berdasar potensi bahaya dari keberadaan bandara, ke tiga daerah interest aman terhadap jatuhnya pesawat, kecuali daerah interest di Kecamatan Soromandi, yang jaraknya terhadap bandara Sultan Muhammad Salahuddin 14,5 km.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Kepala Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN)-BATAN yang telah memberi kesempatan untuk melakukan penelitian ini, Pemerintah Provinsi NTB yang telah membantu perolehan data dan Kepala Bidang Kajian Data Tapak yang telah mengarahkan dan memberi masukan dalam penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. M.A. KHATTAK, et.al., “Siting Consideration for Nuclear Power Plant: A Review”, Open Science Journal, 29 July 2017.
- [2]. EKO SUSANTO, “The Effectiveness of Environmental Impact Assessment for Nuclear Power Plant”, Applied Ecology and Environmental Sciences, Vo. 1, No. 4, 2013.
- [3]. BAPETEN. Peraturan Kepala BAPETEN No. 6 Tahun 2008 Tentang Evaluasi Tapak Reaktor Daya Untuk Aspek Kejadian Eksternal Akibat Ulah Manusia. Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jakarta 2008.
- [4]. IAEA. NS-G-3.1 "External Human Induced Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants, IAEA, Vienna, 2002.

- [5]. BATAN, "Kejadian Eksternal Akibat Ulah Manusia", Dokumen Laporan Evaluasi Tapak RDE, Kawasan Puspipstek Serpong, Rev.02, September, 2016.
- [6]. KRISHNA S, dkk., "Dampak Kegiatan Manusia Dalam Evaluasi Tapak Reaktor Daya", Final Report Proyek Pengembangan Pengkajian Keselamatan Nuklir (P2KNR-Bapeten), Bandung, Desember 2014.
- [7]. IAEA. "Site Evaluation for Nuclear Installations". Safety Standards Series No. NS-R-3 International Atomic Energy Agency. Vienna, Austria, 2003.
- [8]. JUNE MELLAWATI, dkk., "Identifikasi Sumber Kejadian Akibat Kegiatan Manusia pada Pra Survei Tapak PLTN di Pulau Bangka", Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV, 2011, PPE, BATAN.
- [9]. SITI ALIMAH, DEDY PRIAMBODO, JUNE MELLAWATI, "Analisis Potensi Bahaya Ledakan SPPBE di Sekitar Calon Tapak RDE", Majalah Ilmiah Pengkajian Industri BPPT, Vol. 11 No. 1, April, 2017.
- [10]. JUNE MELLAWATI, YARIANTO. SBS., HADI SUNTOKO. "Sumber Potensial Bahaya Eksternal Akibat Manusia Pada Survei Tapak PLTN" Jurnal Pengembangan Energi Nuklir. Vol. 12. No.1, Juni 2010. Hal 28-37.
- [11]. IAEA, "Extreme External Events in The Design and Assessment of Nuclear Power Plants", IAEA-TECDOC-1341, 2013.
- [12]. AEC, "Guidelines on Criteria for Site Selection and Evaluation for Nuclear Installations", Atomic Energy Council, Uganda, August 2016.
- [13]. IAEA. Safety Series No. 050 - SG - S5. IAEA Safety Guides. External Man - Induced Events in Relation to Nuclear Power Plant Siting. IAEA. Vienna, 1981.
- [14]. SALEM, W., "Basic safety Consideration for Nuclear Power Plant Dealing with External Human Induced Events", Proceedings of an International Conference Held in Vienna, Austria, 21-24 October 2013.
- [15]. IAEA, "Safety Aspects of Nuclear Power Plants in Human Induced Events: General Considerations", Safety Reports Series No.86, IAEA Safety Standards and Related Publications, 2017.
- [16]. SITI ALIMAH, JUNE MELLAWATI, "Study of Dispersion Hazard Potential of The LPG Stations Around the RDE Site in Rainy and Dry Season", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 20, No 1, 2018.
- [17]. SIRDAN, M.M, et.al., Possible Health Effects of Liquefied Petroleum Gas on Workers at Filling and Distribution Stations of Gaza Governorates, Eastern Mediterranean Health Journal, March, 2013
- [18]. DTC NETCONNECT, "Gangguan Pada Sistem Transmisi Sinyal Data", <http://www.dtcnetconnect.com/AMP/index.php/blogs/305-gangguan-pada-sistem-transmisi-sinyal-data>, diakses Juni 2018.
- [19]. KARLO JULIANO AER, "Analisis Perhitungan Interferensi Sistem Terrestrial Terhadap Sistem GMPCS Satelit Globalstar", Tugas Akhir Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, 2006.
- [20]. SAFETY GUIDE, "Site Survey for Nuclear Power Plants", Safety Series No. 50-SG-59, IAEA, 1984.
- [21]. PKSEN-BATAN, "Pemetaan Potensial Tapak PLTN di Indonesia", Laporan Teknis Bidang Kajian Data Tapak, PKSEN, BATAN, 2018.
- [22]. BPS PROVINSI NTB, "Provinsi Nusa Tenggara Barat Dalam Angka 2017", ISSN: 0215-2215, BPS NTB, 2017.
- [23]. ESDM, "Jumlah SPBU/SPBN/SPDN di Provinsi NTB", Pemerintah provinsi NTB, DESDM, 2016, [http://desdm.ntbprov.go.id/index.php?option=com\\_content&view=article&id=305:jumlah-spbuspbnspdndi-provinsi-ntb-sampai-tahun-2016&catid=20:energi&Itemid=49](http://desdm.ntbprov.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=305:jumlah-spbuspbnspdndi-provinsi-ntb-sampai-tahun-2016&catid=20:energi&Itemid=49), akses Juli 2017.
- [24]. <http://potensi-ntb.blogspot.com/2016/12/potensi-mineral-ntb-besar.html>, "Potensi Mineral NTB Besar", diakses Juli 2017.
- [25]. TGH. M.ZAINUL MAJDI, "Pengelolaan Pertambangan Mineral Di Provinsi Nusa Tenggara Barat", Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan Usaha Pertambangan di Provinsi NTB, Kupang 4 Juni 2014.
- [26]. [https://id.wikipedia.org/wiki/Komando\\_Resor\\_Militer\\_162](https://id.wikipedia.org/wiki/Komando_Resor_Militer_162), Komando Resor Militer162.

## KAJIAN KELAS STABILITAS UDARA PADA TAPAK PLTN DI PULAU BANGKA

**Denissa Beauty Syahna, Sunarko, Dedy Priambodo, Imam Hamzah**  
Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710  
email: denissabs@batan.go.id

### ABSTRAK

**KAJIAN KELAS STABILITAS UDARA PADA TAPAK PLTN DI PULAU BANGKA.** Pemantauan meteorologi pada tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) telah dilakukan di Bangka Barat dan Bangka Selatan. Parameter yang dipantau meliputi suhu udara, arah angin, kecepatan angin, kelembapan udara, tekanan udara, radiasi matahari dan curah hujan. Parameter penting lain yang tidak terpantau langsung menggunakan sensor adalah stabilitas udara. Kajian kelas stabilitas udara ini ditentukan melalui metode *lapse rate* data suhu udara di Bangka Barat dan Bangka Selatan pada tahun 2015 - 2016. Perhitungan *lapse rate* menggunakan laju perubahan suhu udara pada ketinggian 10 dan 60 meter. Hasil perhitungan dari *lapse rate* digunakan untuk menentukan nilai kelas stabilitas udara. Penentuan kelas stabilitas udara pada kajian ini menggunakan skema kelas stabilitas *Pasquill*. Hasil kelas stabilitas udara pada tapak PLTN di Pulau Bangka ini dominan berada pada kelas E yaitu sedikit stabil.

Kata kunci: meteorologi, kelas stabilitas udara, *lapse rate*.

### ABSTRACT

**ATMOSPHERIC STABILITY CLASSIFICATION ASSESSMENT ON NPP SITES IN BANGKA.** Meteorological monitoring on the site of Nuclear Power Plant (NPP) has been conducted in West Bangka and South Bangka. The parameters monitored include air temperature, wind direction, wind speed, humidity, air pressure, solar radiation and rainfall. Another important parameter which is not directly monitored using sensors is atmospheric stability. Atmospheric stability classification assessment was determined through lapse rate method from data of air temperature in West Bangka and South Bangka in 2015 – 2016. Lapse rate method uses the rate of change temperature at levels of 10 and 60 meters. The result of lapse rate are used to determine the value of atmospheric stability classification. In this study, the determination of atmospheric stability classification uses the Pasquill stability classes. The result of atmospheric stability classification on NPP site in Bangka are dominant in class E, which is slightly stable.

Keyword: meteorological, atmospheric stability classification, lapse rate.

### PENDAHULUAN

Penentuan lokasi tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) memerlukan kajian dari berbagai macam aspek. Pertimbangan penyebaran material radioaktif ke atmosfer menjadi hal yang perlu diperhatikan dalam pembangunan PLTN. Berdasarkan aspek dispersi, dampak radiologi dan potensi lepasan material radioaktif dipengaruhi oleh jenis zat radioaktif, desain reaktor, kondisi meteorologi, aspek demografi dan perilaku masyarakat sekitar [1]. Dampak sebaran radioaktif dan dosis radiasi yang timbul dari dispersi dapat dilakukan menggunakan metode probabilistik dan deterministik [2,3]. Sedangkan dalam aspek kejadian akibat ulah manusia (KAUM) untuk menentukan dampak keparahan kecelakaan dari suatu reaktor dengan mempertimbangkan skenario kecelakaan, sumber kecelakaan, kondisi penyimpanan, serta kondisi atmosfer [4]. Kondisi meteorologi mempengaruhi dampak material radioaktif karena atmosfer merupakan jalur paparan utama yang membawa material radioaktif dan tersebar di lingkungan baik dalam kondisi PLTN beroperasi normal maupun dalam kondisi kecelakaan [5].

Faktor meteorologi penting untuk melakukan perhitungan atau pemodelan kajian dispersi adalah arah dan kecepatan angin serta kondisi stabilitas udara pada lokasi tapak [6]. Data arah dan kecepatan angin didapatkan langsung dari sensor parameter menara meteorologi. Sedangkan untuk mendapatkan data stabilitas udara terdapat beberapa stasiun meteorologi yang memiliki sensor parameter stabilitas udara, namun ada juga yang tidak

memiliki sensor parameter stabilitas udara [1]. Pada stasiun meteorologi di Pulau Bangka tidak terdapat sensor parameter stabilitas udara, maka untuk mengetahui kondisi kestabilan atmosfer di Bangka Barat dan Bangka Selatan dilakukan perhitungan melalui ketersediaan data yang ada. Dalam tulisan ini data yang digunakan adalah hasil perbandingan suhu udara dari dua ketinggian menara meteorologi. Kondisi stabilitas udara akan dikategorikan kedalam kelas dari kondisi tidak stabil, netral hingga kondisi stabil. Data hasil kajian kelas stabilitas udara pada tapak PLTN di Pulau Bangka ini dapat menjadi data input dari berbagai pemodelan dispersi yang ada.

## TEORI

Menurut BMKG, meteorologi adalah ilmu yang mempelajari proses fisis dan gejala cuaca terutama pada lapisan atmosfer bawah (troposfer). Indonesia merupakan negara yang memiliki fenomena cuaca dan iklim yang unik, sehingga pengamatan atau riset atmosfer telah banyak dilakukan oleh para ahli di Indonesia [7]. Saat ini, para ahli meteorologi fokus terhadap kondisi stabilitas udara untuk memprediksi kemungkinan potensi keparahan dari suatu kejadian seperti badai. Kestabilan dan ketidakstabilan udara juga dapat memprediksi kualitas udara dengan mengetahui pola sebaran emisi polutan dan seperti apa pola konsentrasi terhadap permukaan tanah. Udara dapat dikatakan stabil apabila gerakan vertikal terhambat dan jika awan terbentuk maka akan menjadi dangkal seperti awan berlapis (stratus) [8].

Stabilitas udara dapat diukur dengan beberapa cara, diantaranya menggunakan metode laju perubahan suhu (*lapse-rate*), metode fluktuasi horisontal arah angin, metode angka *Richardson* ( $R_i$ ), metode angka *Bulk Richardson* ( $R_{iB}$ ) dan metode *Monin-Obukhov Length* [9]. Namun, dalam kajian ini stabilitas udara diukur menggunakan metode *lapse-rate*. Ada 3 (tiga) jenis *lapse rate* diantaranya sebagai berikut [8]:

- *Environmental lapse rate*: Metode *lapse-rate* merupakan laju perubahan suhu udara pada perubahan antara dua ketinggian baik dalam arah vertikal maupun horisontal. Perhitungan *lapse rate* dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan  $\gamma = \partial T / \partial H$ , dimana nilai *lapse rate* ( $^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ) dilambangkan dengan  $\gamma$ , sedangkan  $\partial T$  merupakan perubahan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ ) dan  $\partial H$  merupakan perubahan ketinggian (m)
- *Dry-Adiabatic Lapse Rate*: parcel udara tak jenuh yang mendingin pada kecepatan berkisar  $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$
- *Moist Adiabatic Lapse Rate*: parcel udara jenuh yang mendingin pada kecepatan rata-rata berkisar  $4,5 - 6^{\circ}\text{C}/\text{km}$

## Stabilitas Udara Pasquill

Pemodelan dispersi atmosfer dapat dilakukan menggunakan model Gaussian Plume [10]. Bahkan model Gaussian Plume merupakan model yang paling banyak digunakan untuk dispersi atmosfer kronis [11]. Dalam pemodelan jenis ini area studi sebaran diasumsikan ke dalam 16 arah mata angin. pada suatu tapak. Metode yang paling sering digunakan untuk menentukan kelas stabilitas udara adalah menggunakan kelas stabilitas udara Pasquill [12]. Kelas stabilitas udara Pasquill memiliki 7 kelas, dimulai dari kelas A (sangat tidak stabil) hingga kelas G (sangat stabil) seperti dalam Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Nilai *Lapse-Rate* dengan Kelas Stabilitas Pasquill [12]

Kelas Stabilitas Pasquill	Kondisi Stabilitas Udara
A	Sangat tidak stabil
B	Tidak stabil
C	Sedikit tidak stabil
D	Netral
E	Sedikit stabil
F	Stabil
G	Sangat stabil

## METODOLOGI

Pemantauan data meteorologi pada tapak PLTN di Pulau Bangka dilakukan secara terus menerus selama 24 jam. Peralatan yang digunakan terpasang pada menara setinggi 80 meter dengan beberapa sensor untuk mengukur parameter tertentu dan dilengkapi

dengan data logger. Parameter yang dipantau secara langsung diantaranya suhu udara, kecepatan angin, arah angin, kelembapan udara, tekanan udara, radiasi matahari dan curah hujan [13].

Dalam kajian ini, parameter meteorologi yang digunakan untuk perhitungan stabilitas udara adalah data suhu udara pada ketinggian 10 dan 60 meter di stasiun meteorologi Muntok, Bangka Barat dan Sebagian, Bangka Selatan. Data yang digunakan merupakan data suhu udara pada tahun 2015 – 2016 dengan kelengkapan data berkisar 95%.

Tahap pertama, sesuai dengan ketersediaan data yang ada maka metode perhitungan kelas stabilitas udara yang digunakan dalam kajian ini adalah metode *lapse rate* [14]. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\gamma = \frac{\partial T}{\partial H} = \frac{(T_{60} - T_{10})^{\circ C}}{(H_{60} - H_{10})m} \quad (1)$$

Kemudian hasil nilai *lapse rate* digunakan untuk menentukan kelas stabilitas udara dengan mencocokkannya ke dalam skema Kelas Stabilitas Pasquill.

Tabel 2. Korespondensi Nilai *Lapse-Rate* dan Kelas Stabilitas Pasquill [12]

Kelas Stabilitas Pasquill	<i>Lapse rate</i> (°C/m)
A	$(\partial T/\partial H) < -1,9$
B	$-1,9 \leq (\partial T/\partial H) < -1,7$
C	$-1,7 \leq (\partial T/\partial H) < -1,5$
D	$-1,5 \leq (\partial T/\partial H) < -0,5$
E	$-0,5 \leq (\partial T/\partial H) < 1,5$
F	$1,5 \leq (\partial T/\partial H) < 4$
G	$(\partial T/\partial H) \geq 4$

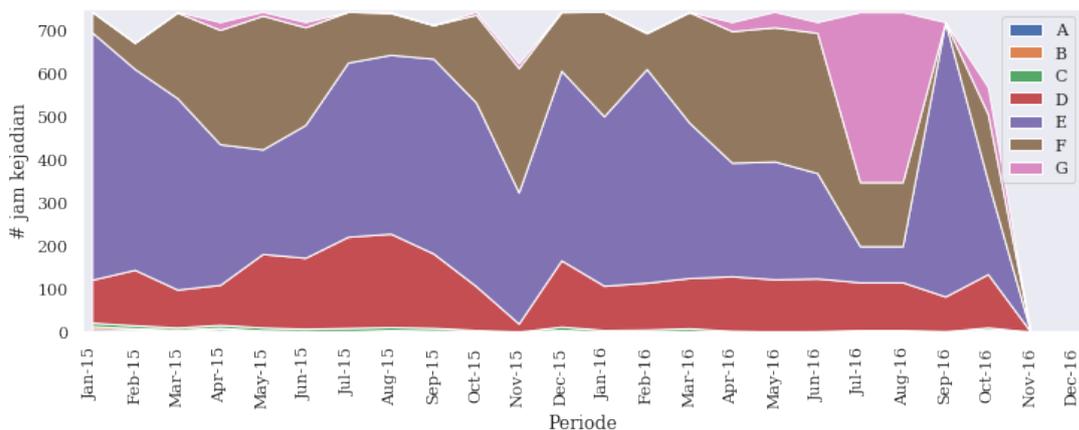
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data suhu udara pada ketinggian 10 dan 60 meter yang dicatat tiap jam dalam rentang waktu dua tahun diolah menggunakan metode *lapse rate* yang kemudian dicocokkan ke dalam kelas stabilitas udara Pasquill. Pada stasiun meteorologi di Bangka Barat ketersediaan data tahun 2016 hanya dari bulan Januari hingga bulan Juli, sedangkan pada stasiun meteorologi di Bangka Selatan ketersediaan data tahun 2015 dari bulan Januari hingga bulan November. Namun ketersediaan data ini masih dapat diolah untuk dilakukan kajian terkait kondisi stabilitas udara di tapak PLTN Bangka Barat dan Bangka Selatan.

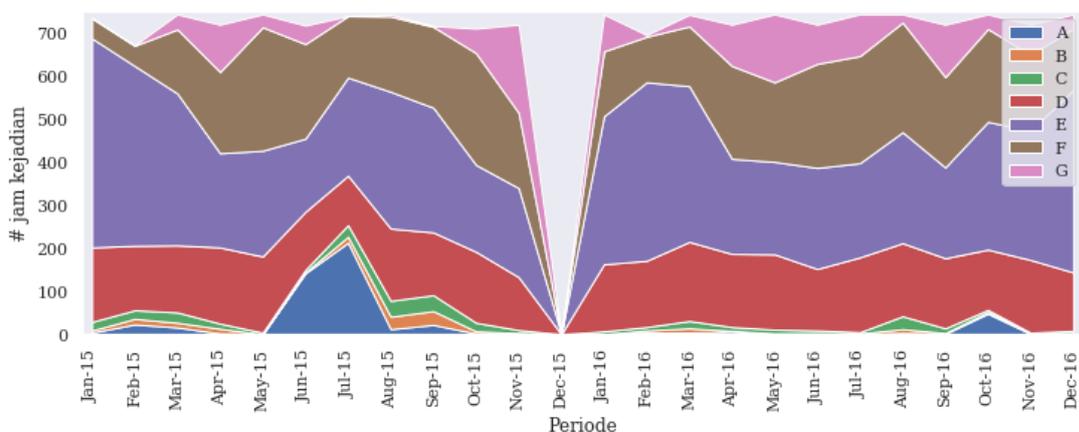
Setelah dilakukan perhitungan *lapse rate* terhadap data yang ada, maka diperolehlah kondisi kelas stabilitas udara. Hasilnya adalah pada rentang dua tahun untuk kondisi stabilitas udara di Bangka Barat dominan berada pada kelas E (sedikit stabil) dengan rata-rata nilai 50-55% dari kelas stabilitas udara yang ada. Sedangkan untuk kondisi stabilitas udara di Bangka Selatan juga menunjukkan dominan pada kelas E (sedikit stabil) dengan rata-rata nilai berkisar 40%.

Tabel 3. Kelas Stabilitas Udara di Bangka Barat dan Bangka Selatan

Kelas Stabilitas	Bangka Barat (%)		Bangka Selatan (%)	
	2015	2016	2015	2016
A	0,2	0	5,6	0,8
B	0,4	0,1	1,6	0,5
C	0,8	0,5	2,7	1,3
D	18,7	17,4	21,2	22,0
E	55,6	50,8	39,4	39,9
F	23,5	31,3	23,6	26,0
G	0,7	0	6,1	9,5

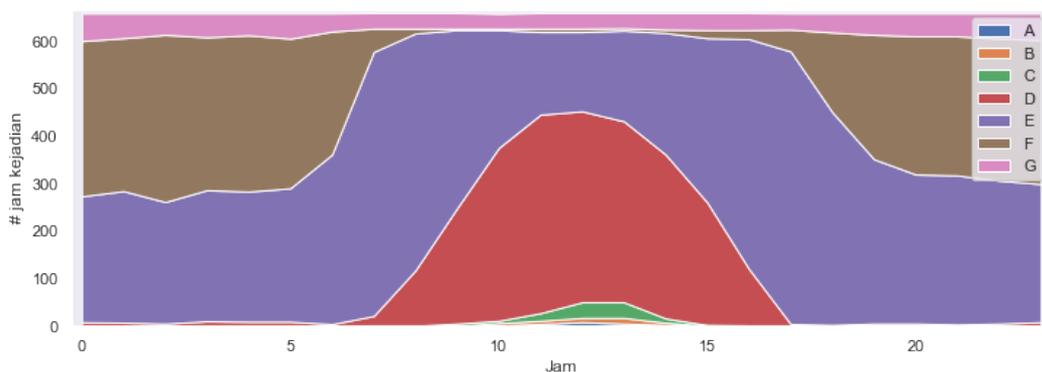


Gambar 1. Kelas stabilitas udara di Bangka Barat tahun 2015 – 2016

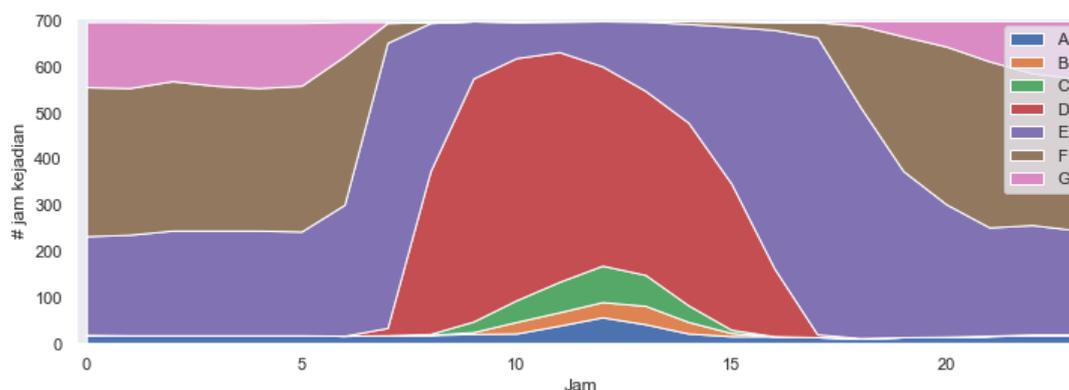


Gambar 2. Kelas stabilitas udara di Bangka Selatan tahun 2015 – 2016

Ditinjau dari distribusi stabilitas udara rerata bulanan selama sekitar 2 tahun, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1 dan 2, umumnya kondisi stabilitas udara didominasi oleh kelas D-F dan tidak terlalu sering terjadi kondisi anomali selama periode 2015-2016. Ketidaksiuaian terjadi selama periode bulan Desember 2015 dan bulan November-Desember 2016 karena terjadi kehilangan data akibat kerusakan alat. Anomali berupa kondisi atmosfer sangat stabil terjadi pada bulan Juli-Agustus 2016 sebagaimana terlihat dalam Gambar 1 sedangkan kondisi tidak stabil dapat terlihat dalam periode Juni-Juli 2015 sebagaimana terlihat dalam Gambar 2.



Gambar 3. Distribusi stabilitas udara per-jam di Bangka Barat tahun 2015 – 2016



Gambar 4. Distribusi stabilitas udara per-jam di Bangka Selatan tahun 2015 – 2016

Ditinjau dari distribusi stabilitas udara setiap jam-nya, seperti ditunjukkan dalam Gambar 3 dan 4, baik di Bangka Barat maupun di Bangka Selatan menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu bahwa pada malam hingga pagi hari yaitu dari sekitar jam 17:00 hingga 07:00, saat temperatur udara relatif rendah, stabilitas udara mayoritas berada pada kelas E-F, yaitu antara sedikit stabil-stabil. Pada siang hari antara jam 07:00 hingga 17:00, stabilitas dominan pada tingkat D-E, yaitu netral-sedikit stabil, dengan sebagian kecil kejadian tak-stabil, terutama saat tengah hari. Pada waktu seperti ini, biasanya matahari bersinar sangat terik dan temperatur udara relatif tinggi sehingga terjadi pergerakan udara vertikal yang lebih intens dan memicu ketidakstabilan atmosfer.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan data pengamatan di stasiun meteorologi Muntok dan Sebagian sepanjang hampir dua tahun (2015-2016) diketahui bahwa kelas stabilitas yang dominan adalah kelas D-F dengan median pada kelas E (sedikit stabil) menurut klasifikasi Pasquill. Kondisi atmosfer tidak stabil tidak banyak terjadi dan kondisi ini biasanya ditemukan pada tengah hari ketika temperatur udara dan radiasi matahari relatif tinggi. Sedangkan pola siklus stabilitas udara harian cenderung stabil pada sore hingga pagi hari dan normal pada siang hari.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Pimpinan Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, PKSEN-BATAN dan panitia Seminar Infrastruktur Energi Nuklir (SIEN) 2019 yang telah memberikan kesempatan kepada para penulis untuk menyajikan karya tulis ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Yuniarto, G. S. B. Andari and Syahrir, "Pengaruh Tinggi Lepasn Efektif Terhadap Dispersi Atmosferik Zat Radioaktif (Studi Kasus: Calon Tapak PLTN Bangka Belitung)," *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah*, vol. 17, no. 1, pp. 62-70, 2014..
- [2] Sunarko, D. B. Syahna, H. Susiati, S. Suryanto and A. Yuniarto, "Kajian Probabilistik Dampak Kesehatan Akibat Lepasn Radionuklida RSS-GAS," in *Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir 2018*, Yogyakarta, 2018.
- [3] S. Kuntjoro and P. M. Udiyani, "Analisis Probabilistik Sebaran Radionuklida RSG-GAS Pada Kondisi Satu Bahan Bakar Meleleh," in *Prosiding PPI - PDIPPTN 2006*, Yogyakarta, 2006.
- [4] D. Priambodo, "Penentuan Nilai Jarak Aman Sumber Tidak Bergerak: Skenario Kebakaran dan Ledakan pada SPBU dan SPPBE di Sekitar Tapak RDE," *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, vol. 20, no. 1, pp. 9-16, 2018.
- [5] Safety Standards Series No. NS-G-3.2, Dispersion of Radioactive Material in Air and Water and Consideration of Population Distribution in Site Evaluation for Nuclear Power Plant, Vienna: IAEA, 2002.
- [6] Y. S. B. Susilo, Simulasi Penyebaran Efluen Radioaktif Melalui Udara: Studi Kasus PLTN Jepara, Jakarta: Pasca Sarjana Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Indonesia, 1999.

- 
- [7] B. T. HK, *Meteorologi Indonesia Volume I: Karakteristik dan Sirkulasi Atmosfer*, Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, 2009.
- [8] O. M. Almethen and S. Z. Aldaithan, "The State of Atmosphere Stability and Instability Effects on Air Quality," *The International Journal of Engineering and Science (IJES)*, vol. 6, no. 4, pp. 74-79, 2017.
- [9] K. S. M. Essa, M. M. Embaby, A. M. Kozae and F. Mubarak, "Estimation of Seasonal Atmospheric Stability and Mixing Height by Using Different Schemes," in *VIII Radiation Physics & Protection Conference*, Egypt, 2006.
- [10] S. D.L. , J. K. W.E. and C. J.P., *Environmental Dose Assessment Methods for Normal Operations at DOE Nuclear Sites*, Washington: Pacific Northwest Laboratory by Battelle Memorial Institute, 1982.
- [11] H. Chapman, *Performance Test of The Pasquill Stability Classification Scheme*, US: The University of Wisconsin-Milwaukee, 2017.
- [12] M. Mohan and S. T.A., "Analysis of Various Schemes for The Estimation of Atmospheric Stability Classification," in *Atmospheric Environment* 32 (21) : 3775-3781, 1998.
- [13] D. B. Syahna, K. Anzhar and S. Suryanto, "Pemantauan Meteorologi Pada Calon Tapak PLTN di Desa Sebagian Pulau Bangka," in *Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2017*, Makassar, 2017.
- [14] Lisnawati, E. E. S. Makmur and D. S. Permana, "Profil Lapse Rate Vertikal di Wilayah Indonesia," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 18, no. 2, pp. 95-106, 2017.
- [15] S. Magidi, "Determining The Atmospheric Stability Classes For Mazoe in Northern Zimbabwe," in *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2013.

**DISKUSI/TANYA JAWAB:**

**1. PERTANYAAN (Ade Awalludin-BAPETEN):**

Stabilitas udara yang dipilih berdasarkan rata-rata dalam sebulan atau berdasarkan rata-rata per jam yang lebih mewakili stabilitas udara?

**JAWABAN:**

Tergantung dari analisis atau kajian yang diinginkan apakah distribusi berdasarkan rata-rata dalam sebulan atau per jam.

## **RUPTURE ASPECT RATIO EFFECT FOR PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS USING OPENQUAKE**

**Yuliasuti, Abimanyu Bondan WS**

*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan 12710  
email: yuliasuti@batan.go.id*

### **ABSTRACT**

**RUPTURE ASPECT RATIO EFFECT FOR PROBABILISTIC SEISMIC HAZARD ANALYSIS USING OPENQUAKE.** Fault rupture geometry, which can be represented by the rupture aspect ratio (RAR) parameter, is one of important parameters to be accounted for when performing the probabilistic seismic hazard analysis. The objective of this paper is to investigate the effect of rupture aspect ratio to the PGA value within Plampang area in Sumbawa Island. Input parameters were developed on a simple seismotectonic model which covers the geometry of the seismogenic source and the Gutenberg-Richter parameters. Four models of different RAR values were used to investigate the effect of RAR toward the PGA value of the studied area. The calculation was performed using OpenQuake engine. Results showed that PGA value was increased along with the increasing RAR value.

Kata kunci: PSHA, earthquake, rupture, OpenQuake.

### **ABSTRAK**

**PENGARUH RUPTURE ASPECT RATIO PADA ANALISIS PROBABILISTIK BAHAYA SEISMIK MENGGUNAKAN OPENQUAKE.** Geometri rupture sesar yang dapat direpresentasikan dalam bentuk parameter Rupture Aspect Ratio (RAR), merupakan salah satu parameter penting yang harus diperhitungkan dalam melakukan analisis probabilistik bahaya kegempaan. Tujuan dari makalah ini adalah untuk mengetahui pengaruh aspek rasio rupture terhadap nilai PGA di wilayah Plampang, pulau Sumbawa. Parameter input dikembangkan pada model seimotektonik sederhana yang mencakup geometri sumber seismogenik dan parameter Gutenberg-Richter. Empat model dengan nilai RAR yang berbeda digunakan untuk menyelidiki pengaruh RAR terhadap nilai PGA dari area yang diteliti. Penghitungan dilakukan menggunakan perangkat lunak OpenQuake. Hasil menunjukkan bahwa nilai PGA meningkat seiring dengan meningkatnya nilai RAR.

Keyword: PSHA, gempa, rupture, OpenQuake

### **INTRODUCTION**

Seismic hazard analysis has been one of the most robust tools to estimate ground motions due to the earthquake and surface faulting[1]. Critical infrastructure such as nuclear power plant design is pre-requisite to withstand the earthquake with no or little damage[1]. Probabilistic analysis for seismic hazard offers a better methodology to delineate and characterize the seismogenic structure. The method was developed using the inherent assumption that historical earthquake activity is statistically representative of the future thus it may be treated probabilistically[2]. The result of PSHA is commonly depicted in a form of seismic hazard maps[3] and uniform hazard spectrum which contain value of Peak Ground Acceleration (PGA) of the designated area within a certain period.

Fault geometry parameters of the seismogenic source are important parameters when performing PSHA. Fault structure data availability in Indonesia is only limited to fault geometry, mechanism and slip rate. Meanwhile, the rupture geometry data for the fault itself is unavailable. Rice (1980) had explored the kinematical propagation of earthquake rupture based on classical elastodynamics principle. Meanwhile, another method has also been applied such as the Harvard standard of centroid-moment-tensor and was used by Tsai (2005) to develop rupture model for 2004 Sumatra earthquake[4]. Weng (2017) has investigated the effect of seismogenic width on aspect ratios of earthquake ruptures which suggested that aspect ratios increase along with the increase of seismogenic widths[5]. These previous studies provided a better insight into rupture propagating process and parameters. On the other hand, this paper offered a simple practical view of rupture effect to the PGA value.

Models were developed and calculated using OpenQuake (OQ) engine as an open-source and well-developed PSHA software.

The objective of this paper is to investigate the effect of rupture aspect ratio on the PGA value within the studied area. Plampang area in West Nusa Tenggara has been chosen as the studied area for simulation purposes. Sensitivity analysis of RAR is regarded as an important step to understand the characteristics of seismic source for PSHA. The input parameters presented in this paper did not provide an accurate representation of the overall result of PSHA over the studied area. These parameters were chosen only for simulation simplicity.

### FAULT RUPTURE

As mentioned in Hudson (1974), the closest fault break segment to a site has the greatest contribution to the intensity at the site [6]. It is because when an earthquake occurs, it releases energy throughout the rupture zone. Earthquake rupture geometry could somehow be defined by the known fault structure [7]. According to Kanamori (1994), earthquake rupture zones are fault plane though sometimes could be in the form of complex geometry [8].

Rupture model for fault source typology in OQ-engine is assumed to cover the whole fault [9]. OQ-engine simplified the rupture model as shown in Figure 1. The rupture area is defined as a polygon which strongly depends on the fault geometry and the aspect ratio toward the fault geometry. Rupture area information was then converted to an earthquake size information by using the magnitude-area scaling relationship. Magnitude scaling relationship that has been chosen in the OQ-engine, defined the area of the rupture and/or the rupture length. Rupture area is a function of both magnitude and rake. Rake is the direction angle of rupture propagation. There were at least four magnitude-area scaling relationships that have been used for estimating earthquake size namely Ellsworth-B (WGCEP, 2003), Hanks and Bakun (2002), Shaw (2009), and Wells-Coppersmith (1994) [10][11][12]. For simplicity, the calculation of each model in this paper was performed using the Wells-Coppersmith (1994) linear relation. This scaling method provides a mechanism for increasing rupture length by conserving the rupture area if the rupture width has reached the maximum allowed extension [7]. Rupture Aspect Ratio (RAR) is regarded as the ratio of the rupture geometry dimensions. The bigger the value of RAR, the bigger the rupture area tend to be.

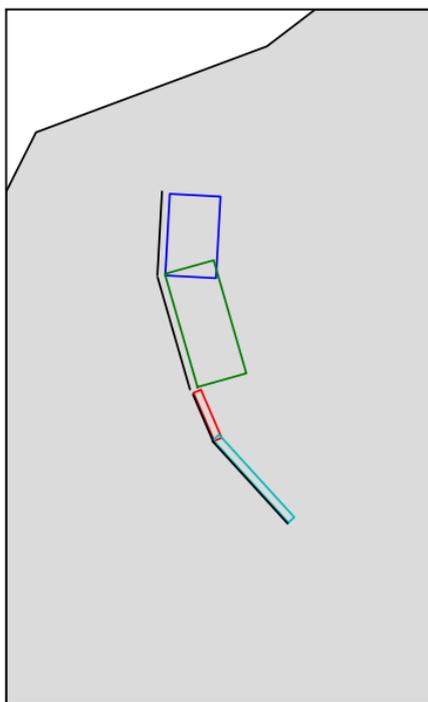


Figure 1 Modeled rupture in OpenQuake engine (source: OQ Engine Manual [9])

## METHODOLOGY

OQ-engine recognized three main types of source typology namely distributed seismicity, floating ruptures and fault sources without floating ruptures. Distributed seismicity was mainly used to accommodate the point, gridded and area source[7]. A fault with floating ruptures consists of simple and complex faults. Simple and complex fault characteristics differ in the way that fault geometry parameters represented. Upper and lower seismogenic depths parameters should be defined for simple fault. While for a complex fault, the top and bottom edge coordinate of the fault should be well-defined.

For simulation purposes, Plampang area of West Nusa Tenggara has been chosen as the study area. In order to simplify the seismotectonic model, only two tectonic regimes were considered, namely Megathrust Sumba and Flores Back-arc Thrust which are located to the south and to the north of Plampang, respectively. The megathrust was modelled as an area source with specific geometry taken from national reference[SNI 1726?->belum ada di referensi]. Meanwhile, the Flores thrust was modelled as a simple fault source. Moreover, the geometry of the Flores Back-arc Thrust was simplified by using only a single fault segment rather than three fault segments as described in the national reference book.

The simulation was performed using several input parameters namely seismogenic sources, typology source, a-b value, Mmin, Mmax, Dip, Rake, Strike, Upper and lower seismogenic depth, hypo depth and rupture aspect ratio. Input for seismogenic source parameters and earthquake characteristics were based on the national reference such as the source geometry, strike, dip and Mmax.

The truncated Gutenberg-Richter was used to describe the earthquake frequency-magnitude distribution parameters. Several earthquake catalogues namely ISC (1900-2016) and USGS (2016-2019) reviewed version were applied to calculate the Gutenberg-Richter's a-b value. Earthquake magnitude conversion was implemented prior to the calculation. For simplicity, no earthquake relocation has been made.

For the ground motion model development, some attenuation relationships were selected for each seismogenic source. Active shallow crustal calculations were performed using Boore (2014), Campbell-Bozorgnia (2014) and Chio-Youngs (2014) [13] with 50%, 30% and 20% weight, consecutively. Meanwhile, Subduction zone calculations were performed using the Boore-Atkinson (2008) and Zhao (2006), each sharing 50% weight.

In order to investigate the effect of earthquake rupture parameters to the resulting PGA value, all other parameters were kept in a fixed value as shown in Table 1. Four models were developed by varying the RAR of Bali-Flores back-arc thrust as shown in Table 2. Meanwhile the RAR value for the Megathrust remains constant at 1.

Table 1 Fixed Parameters

Seismogenic source	Sumba Megathrust	Bali-flores back-arc thrust
Typology source	area	Simple fault source
Tectonic Regime	Subduction zone	Active Shallow Crustal
a	5.63	4
b	1.11	0.88
Mmin	5	5
Mmax	8.9	8
Dip(°)	11.45	45
Rake(°)	90	90
Strike(°)	261.68	-
Upper Depth(km)	0	0
Lower Depth(km)	50	30
Hypo Depth (km)	5	-

Table 2 Variable parameters

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
RAR	0.5	1	2	3

**RESULT AND DISCUSSION**

Rupture geometry plays an important role when estimating earthquake size and determining the resulted seismic hazard. Four models mentioned in previous subchapter exhibited the variation of RAR values. Sensitivity analysis was performed by varying RAR values and different probability of exceedance (POEs) in 50 years investigation time. Simple rupture model was chosen for the simulation. Spectral acceleration was used as the resulting parameter to compare against RAR variations.

Simulation results for 10%, 2% and 1% POEs in 50 years are shown in Figure 2. The simulation results showed in Figure 2 presents a clear view of how RAR affect the PGA value. Bigger rupture ratio gave a bigger PGA value. There was 0.8% PGA value upsurge for 2% POE, 0.7% for 1% POE and 0.53% for 10% POE. This is obviously true because bigger rupture ratio means that the slip extent of the earthquake is getting wider. Eventually, the resulting ground shaking in terms of PGA value is increasing.

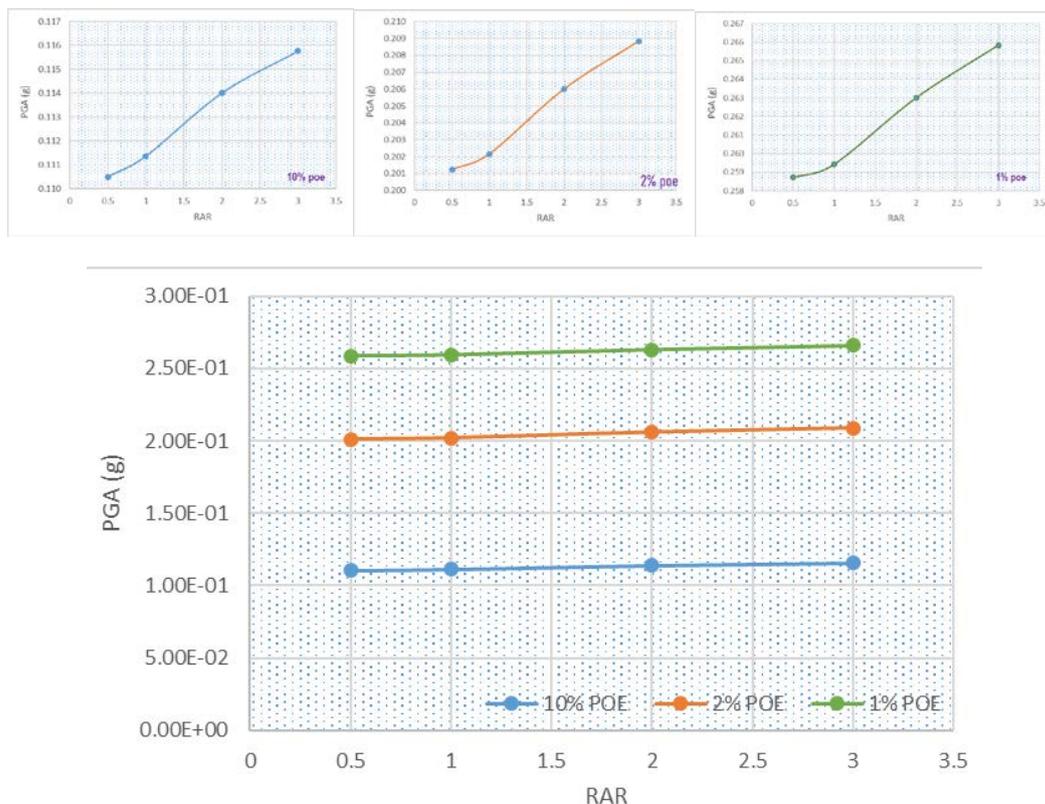


Figure 2 Simulation results.

Figure 3 shows the comparison of the resulting Uniform Hazard Spectrum (UHS) using Model 1, 2, 3 and 4. In principle, UHS describes the peak acceleration for each range of period. All models suggested that peak accelerations are found between 0.1-0.2s period for different POEs. For 10% POE in 50 years, the peak acceleration at 0.2s is in the range between 0.23-0.25g. Meanwhile for 2% and 1% POE, at 0.2s period, the acceleration reached 0.46g and 0.58g, respectively. It should as well be noticed that smaller POE gave a higher peak acceleration value within the same range of investigation time.

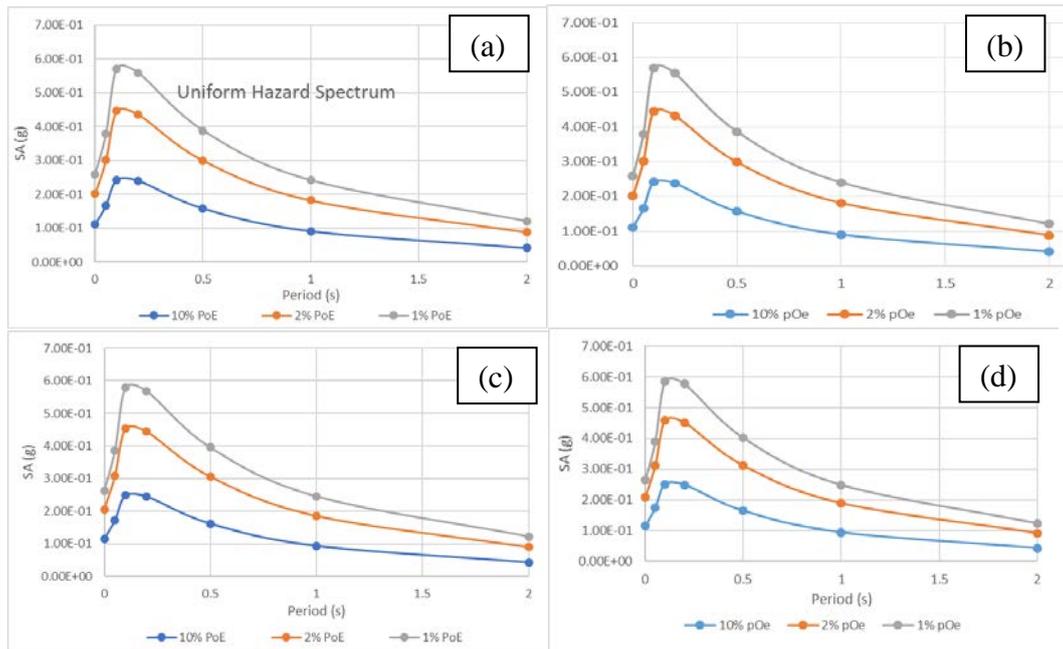


Figure 3 Uniform Hazard Spectrum (UHS) comparison with (a) Model 1, (b) Model 2, (c) Model 3 and (d) Model 4.

## CONCLUSION

Investigation on the effect of rupture aspect ratio on the PGA value within the Plampang area in West Nusa Tenggara has been performed. Four models with different RAR values have been calculated using OQ-engine. The upsurge of RAR value was resulting in an increase in PGA value. Different level of POE (10%, 1% and 2%) at the same investigation time range of 50 years resulted a different incremental rate of overall spectral acceleration. Thus, in general, it could be stated that the PGA value of an area is quite sensitive to the RAR value.

It is recommended to perform sensitivity analysis using both RAR and seismogenic width and depths parameters in order to acquire firm knowledge regarding the earthquake rupture effects.

## ACKNOWLEDGEMENT

Funding for this research was provided by DIPA PKSEN 2018. This support is gratefully acknowledged. We are also thankful to PUSGEN for providing necessary data and analysis.

## REFERENCES

- [1] L. Mualchin, "Seismic hazard analysis for critical infrastructures in California," *Eng. Geol.*, vol. 79, no. 3–4, pp. 177–184, 2005.
- [2] G. M. Atkinson, "An Overview of Development in Seismic Hazard Analysis," in *13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, 2004, no. 5001, p. 22.
- [3] A. Aguilar Meléndez *et al.*, "Sensitivity Analysis of Seismic Parameters in the Probabilistic Seismic Hazard Assessment (PSHA) for Barcelona Applying the New R-CRISIS," *Comput. y Sist.*, vol. 22, no. 4, pp. 1099–1122, 2018.
- [4] V. C. Tsai, M. Nettles, G. Ekström, and A. M. Dziewonski, "Multiple CMT source analysis of the 2004 Sumatra earthquake," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 32, no. 17, pp. 1–4, 2005.
- [5] H. Weng and H. Yang, "Seismogenic width controls aspect ratios of earthquake ruptures," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 44, pp. 2725–2732, 2017.
- [6] A. Der Kiureghian and A. H.-S. Ang, "A Fault-Rupture Model For Seismic Risk Analysis," *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 67, no. 4, pp. 1173–1194, 1977.
- [7] D. Monelli, M. Pagani, G. Weatherill, L. Danciu, and J. Garcia, "Modeling distributed seismicity for probabilistic seismic-hazard analysis: Implementation and insights with

- 
- the OpenQuake engine," *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 104, no. 4, pp. 1636–1649, 2014.
- [8] H. Kanamori, "Mechanics of Earthquakes," *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, vol. 22, no. 1, pp. 207–237, 1994.
- [9] GEM(2018), "The OpenQuake-engine User Manual." p. 198, 2018.
- [10] B. E. Shaw, "Earthquake surface slip-length data is fit by constant stress drop and is useful for seismic hazard analysis," *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 103, no. 2 A, pp. 876–893, 2013.
- [11] B. E. Shaw, "Appendix E — Evaluation of Magnitude-Scaling Relationships and Depth of Rupture (USGS Open-File Report 2013-1165)," 2013.
- [12] D. L. Wells and K. J. Coppersmith, "New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement," *Bull. Seismol. Soc. Am.*, vol. 84, no. 4, pp. 974–1002, 1994.
- [13] B. S.-J. Chiou and R. R. Youngs, "Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra," *Earthq. Spectra*, vol. 30, no. 3, pp. 1117–1153, 2014.

---

# KELOMPOK B2

---



## STUDI GEOLOGI KABUPATEN KULON PROGO SEBAGAI ALTERNATIF TAPAK INSTALASI NUKLIR

**Abimanyu Bondan, Hadi Suntoko, Theo Alvin Ryanto**

*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, BATAN, Jl. Kuningan Barat, Jakarta Selatan*

*email: bondan.wicaksono@batan.go.id*

### ABSTRAK

**STUDI GEOLOGI KABUPATEN KULON PROGO SEBAGAI ALTERNATIF TAPAK INSTALASI NUKLIR.** Keberadaan instalasi nuklir di Indonesia berupa reaktor riset nuklir, laboratorium, irradiator serta instalasi nuklir lainnya telah mengalami penuaan, sehingga dibutuhkan pencarian lokasi tapak untuk pembangunan instalasi nuklir yang memenuhi persyaratan seperti kondisi batuan yang masif dan bebas dari patahan kapabel. Kulon Progo mempunyai kondisi geologi yang sangat menarik untuk dikaji sebagai alternatif calon tapak instalasi nuklir, karena daerah Kulon Progo mempunyai jarak yang relatif dekat dengan fasilitas nuklir yang sudah ada. Metode yang digunakan adalah pemetaan geologi dan struktur geologi dengan cara pengamatan singkapan dan pengukuran data struktur geologi. Data struktur geologi tersebut selanjutnya diolah menggunakan analisis mikrotektonik. Daerah telitian dibagi menjadi 3 satuan batuan, berurutan dari umur tua ke muda, yaitu satuan batuan breksi monomik, satuan batugamping, dan endapan alluvial. Dalam analisis tidak ditemukan patahan aktif di daerah telitian. Struktur geologi yang ditemukan berupa kekar gerus dan kekar tarik pada satuan batugamping. Secara geologi daerah telitian siap untuk dikembangkan sebagai alternatif calon tapak instalasi nuklir

Kata kunci: Tapak, Instalasi Nuklir, Keselamatan, Kabupaten Kulon Progo

### ABSTRACT

**GEOLOGICAL STUDY OF KULONPROGO REGENCY AS ALTERNATIVE SITE FOR NUCLEAR INSTALLATION.** *There are a number of nuclear installations in Indonesia such as nuclear research reactors, laboratories, irradiators and other nuclear installations but they have been aging, so it is necessary to locate new candidate sites for the construction of nuclear installations. Kulon Progo has a very interesting geological condition to be studied as an alternative candidate for nuclear installation site. The method used is geological mapping and geological structure by observing outcrop as well as geological structure data measurement. The geological structure data are further processed for microtectonic analysis. The area of investigation is divided into 3 units of rock, from old to young formation units of Monomic Breccia, Limestone, and Alluvial Deposits. No active fault was found in the investigation area. Geological structures found are shear fracture and gash fracture limestone units. Geologically, Kulon Progo is suitable as nuclear installation candidate site.*

Keyword: Site, Nuclear Instalation, Safety, Kulon Progo Regency.

### PENDAHULUAN

Indonesia saat ini memiliki beberapa instalasi nuklir berupa reaktor riset nuklir, laboratorium, irradiator serta instalasi nuklir lainnya yang telah mengalami penuaan sehingga perlu diadakan pembaharuan atau pembangunan instalasi baru. Salah satu aspek yang penting dalam tahapan pembangunan PLTN atau instalasi nuklir lainnya adalah ketersediaan tapak yang memenuhi persyaratan seperti yang ditetapkan Badan Tenaga Atom Internasional [1] terutama dari segi keselamatan eksternal. Untuk itu dibutuhkan beberapa lokasi yang dapat dikembangkan sebagai calon tapak PLTN yang aman dari kegempaan [2] dan aspek geoteknik dan pondasi [3,4,5,6]. Dalam rangka mendapatkan tapak-tapak PLTN tersebut dilakukan kajian pada berbagai daerah yang memungkinkan untuk dikembangkan sebagai calon lokasi tapak instalasi nuklir sehingga pencarian lokasi tapak baru untuk alternatif pembangunan instalasi nuklir sangat diperlukan [7]. Pembangunan instalasi nuklir memerlukan lokasi tapak yang memenuhi persyaratan geologi yang stabil. Daerah Kabupaten Kulon Progo memiliki karakteristik geologi yang ideal untuk pembangunan instalasi nuklir. Tempatnya yang relatif tidak terlalu jauh dengan reaktor nuklir

yang sudah ada, yaitu reaktor Kartini di Yogyakarta, serta memiliki kondisi batuan dan struktur geologi berumur kuarter secara regional tidak ditemukan di daerah ini.

Penelitian ini bertujuan mendapatkan informasi geologi dan mengetahui karakteristik litologi serta susunan stratigrafi atau elemen struktur geologi aktif di wilayah Kabupaten Kulonprogo sebagai pendukung penelitian untuk pemilihan calon tapak instalasi nuklir di Provinsi Yogyakarta.

### Lokasi Penelitian

Secara administratif daerah penelitian meliputi wilayah Kecamatan Pengasih serta sebagian kecil Kecamatan Nanggulan, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi D.I Yogyakarta. Secara Geografis terletak pada koordinat 404750 mE – 409500 mE dan 9133500 mN – 9138500 mN UTM Zona 49. Luas daerah penelitian adalah kurang lebih 25 km<sup>2</sup> dengan panjang dari selatan ke utara 5 km dan lebar dari arah barat ke timur kurang lebih 5 km.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian

## GEOLOGI REGIONAL

### Fisiografi

Secara fisiografi Pulau Jawa dibagi menjadi 7 bagian [8] :

1. Pusat depresi Jawa dan Zona Randublatung
2. Antiklinorium Bogor – Serayu utara – Kendeng
3. Dataran aluvial Jawa utara
4. Pematang dan Dome pusat depresi
5. Pegunungan Selatan
6. Antiklinorium Rembang – Madura
7. Gunung api Kuarter

Secara regional maka daerah penelitian termasuk dalam Jalur Pematang dan Dome pada Pusat Depresi. Disebelah timur berbatasan langsung dengan dataran Purworejo [9]. Pematang dan Dome pada Pusat Depresi ini disusun oleh dua kelompok besar batuan yaitu batuan vulkanik dan batuan karbonat, dengan jurus perlapisan relatif berarah barat-timur dengan kemiringan ke selatan.

### Stratigrafi

Sebaran batuan di kulon Progo dikontrol oleh struktur tubuh gunung api dan struktur sekunder berupa sesar [10]. Secara regional tatanan stratigrafi di wilayah Kabupaten Kulonprogo ditempati oleh batuan-batuan berumur dari Eosen hingga Kuarter.

### Formasi Nanggulan

Penyusun batuan dari formasi Nanggulan terdiri dari Batupasir dengan sisipan lignit, napal pasir, batulempung dengan konkresi limonit, sisipan napal dan Batugamping, batupasir dan tuff serta kaya akan fosil foraminifera dan moluska. Diperkirakan ketebalan formasi ini adalah 300 meter [12,13,14]. Formasi Nanggulan didominasi struktur geologi yang berkembang adalah sesar yang berarah dengan pola Meratus dan pola Jawa [15].

### ***Formasi Kaligesing atau Formasi Andesit Tua***

Formasi ini dicirikan oleh adanya batuan vulkanik klastik tebal, yang terdiri dari breksi vulkanik (laharik), dengan sisipan lava andesit dan batupasir tufaan. Bagian bawah dicirikan oleh perselingan breksi andesit dan lava andesit. Umur formasi ini ditentukan berdasarkan atas hubungan stratigrafi dengan dua satuan batuan yang mengapitnya, karena tidak mengandung fosil penunjuk umur, sehingga diperkirakan berumur Oligosen Akhir – Miosen Awal, diendapkan pada lingkungan darat, berupa endapan lahar yang terpilah buruk dalam matrik relatif halus dan kadang-kadang nampak pelapisan berangsur dan pelapisan sejajar. Berdasarkan penanggalan radiometri K-Ar berumur Eosen akhir – Miosen awal ( $42,73 \pm 97,8 - 15,30 \pm 0,88$ ) juta tahun yang lalu [16]. Di beberapa tempat terjadi mineralisasi oleh intrusi batuan beku dan menghasilkan cebakan mineral [17].

### ***Formasi Dukuh***

Formasi Dukuh disusun oleh selang-seling batugamping bioklastik, batupasir sedang sampai kerikil, batulempung, breksi dan konglomerat, mengandung banyak koral, bryozoa, pelecypoda, gastropoda, dan foraminifera. Formasi ini selaras diatas Anggota Seputih Formasi Nanggulan, bersilang jari atau kontak sesar dengan formasi selaras diatasnya Formasi Jonggrangan dan Formasi Sentolo [19].

### ***Formasi Jonggrangan***

Formasi Jonggrangan dicirikan oleh batugamping terumbu dengan hadirnya koral, moluska, foram besar, batugamping klastik dan sisipan napal tipis yang mengandung foram plankton dan bentos, Bagian bawah dari Formasi Jonggrangan ini terdiri dari Konglomerat yang ditumpangi oleh Napal tufan dan Batupasir gampingan dengan sisipan lignit. Batuan ini semakin ke atas berubah menjadi batugamping koral.

### ***Formasi Sentolo***

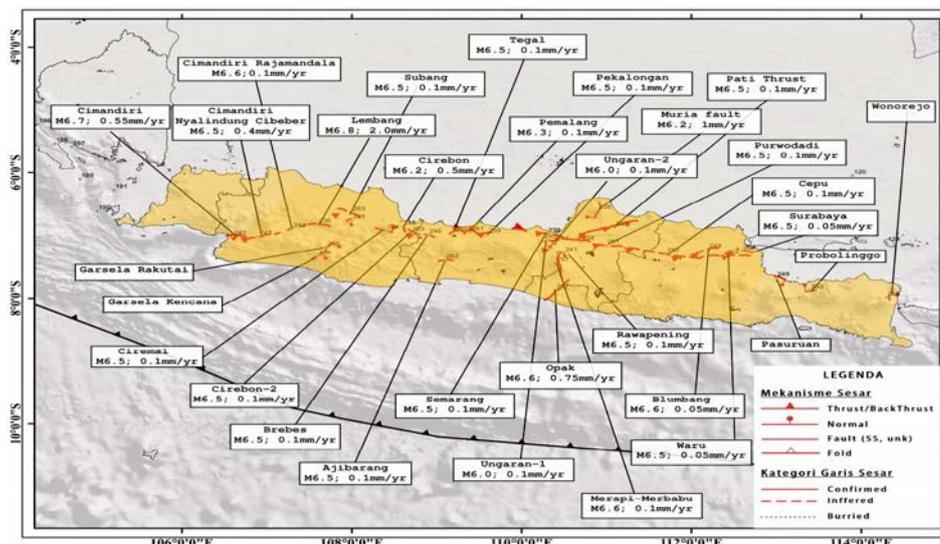
Formasi ini pada bagian bawah berupa napal pelagis dan sisipan batugamping, sedang bagian atas dominan batulempung yang banyak mengandung foram plankton, bentos, dan foram besar, berumur dan merupakan endapan laut dangkal hingga laut terbuka dalam [20]. Formasi Sentolo di bagian bawah, terdiri dari Aglomerat dan Napal, semakin ke atas berubah menjadi Batugamping berlapis dengan fasies neritik. Batugamping koral dijumpai secara lokal, menunjukkan umur yang sama dengan formasi Jonggrangan, tetapi di beberapa tempat umur Formasi Sentolo adalah lebih muda. Di kabupaten kulonprogo formasi ini tersebar seluas 2.840.890 Ha [21].

### ***Aluvium***

Aluvium disusun oleh material lepas berukuran lempung, pasir, kerikil dan kerakal yang merupakan endapan sungai, pantai dan rawa, berumur Holosen. Satuan ini menindih secara tak selaras formasi yang lebih tua lainnya.

### ***Struktur dan Tektonik***

Pegunungan Kulon Progo adalah sebuah kubah besar memanjang ke arah barat daya-timur laut, sepanjang 32 km, dan melebar ke arah tenggara-barat laut, selebar 15-20 km. Pada kaki-kaki pegunungan di sekeliling kubah tersebut banyak dijumpai sesar-sesar yang membentuk pola radial [8]. Pada kaki selatan Gunung Menoreh dijumpai adanya sinklinal dan sebuah sesar dengan arah barat-timur, yang memisahkan Gunung Menoreh dengan Gunung Ijo serta pada sekitar zona sesar [8]. Daerah Kulonprogo merupakan dataran tinggi yang dibatasi oleh tinggian Kebumen, dataran rendah Purworejo dan dataran rendah Yogyakarta. Aktivitas magmatisme di Kulonprogo bekisar antara 29-25 juta tahun yang lalu yang menghasilkan batuan andesitik dan basaltik [22]. Aktivitas ini dipicu oleh tektonik regional Pulau Jawa yang bisa dilihat pada Gambar 2. Selain itu lingkungan geologi genang air berkembang di kaki perbukitan Kulon Progo menghasilkan endapan-endapan batugamping [23].



Gambar 2. Tektonik regional Pulau Jawa [18]

## METODOLOGI

Metode yang digunakan adalah pemetaan geologi dan pendataan elemen struktur geologi (diskripsi, pengukuran dan intepretasi) yang berskala 1 : 25.000 di sepanjang lintasan sungai dan jalan terpilih. Data struktur geologi tersebut selanjutnya diolah untuk analisis menentukan arah, gaya dan potensi patahan [7].

## HASIL PENELITIAN

Penyelidikan geologi wilayah Kabupaten Kulonprogo meliputi Pola pengaliran, geomorfologi, stratigrafi lokal (litologi) dan struktur geologi. Hasil penyelidikan geologi tersebut secara lengkap diuraikan sebagai berikut:

### Geomorfologi

Geomorfologi Kabupaten Kulonprogo khususnya daerah telitian dibedakan menjadi 3 satuan morfologi yaitu satuan morfologi perbukitan terjal, satuan morfologi perbukitan bergelombang dan satuan morfologi tubuh sungai (Gambar 3). pembagian satuan morfologi ini didasarkan pada pengamatan di lapangan dan hasil interpretasi peta topografi.

#### **Satuan Morfologi Perbukitan Terjal**

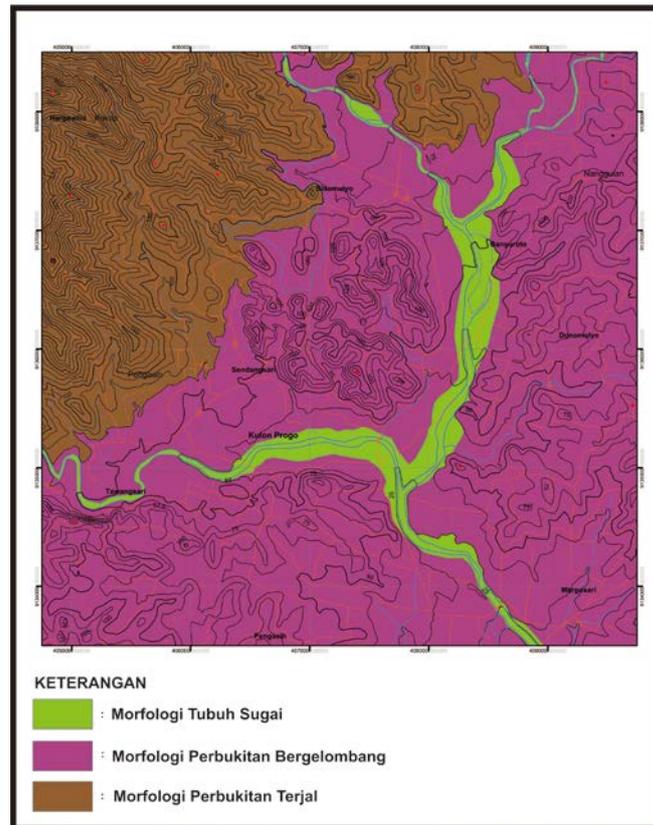
Satuan ini dicirikan dengan topogrifi kelerengan sedang hingga terjal. Satuan morfologi ini pada umumnya tersusun oleh satuan breksi vulkanik dan sedikit batugamping. Menempati barian barat laut – utara daerah telitian dan digunakan sebagai pemukiman dan perkebunan.

#### **Satuan Morfologi Perbukitan Bergelombang**

Satuan morfologi ini mempunyai kelerengan landai hingga sedang. Tersusun oleh batugamping dan sisipan batupasir dan batulempung. Menempati hampir 60% dari daerah telitian, tersebar dari tengah sampai bagian selatan daerah telitian. Umumnya digunakan sebagai pemukiman, persawahan dan perkebunan.

#### **Satuan Morfologi Tubuh Sungai**

Satuan ini dicirikan dengan kelerengan datar hingga landai. Tersusun oleh endapan aluvium dari proses fluviatil sungai Serang, tersebar memanjang mengikuti alur sungai dan menempati bagian tengah dari daerah telitian



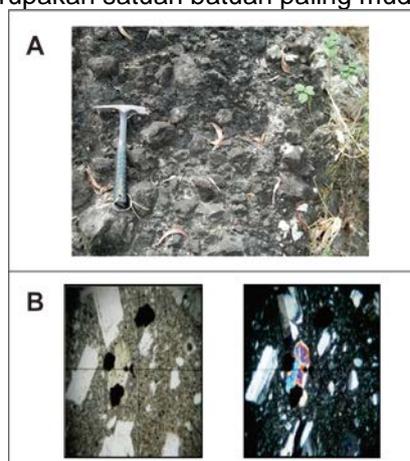
Gambar 3. Peta geomorfologi daerah telitian

### Stratigrafi

Secara litostartigrafi [24] daerah telitian dibagi menjadi 3 satuan batuan, dari tua ke muda yaitu satuan batuan breksi monomik, satuan batugamping, dan endapan aluvial, ditunjukkan pada Gambar 4. Satuan breksi monomik termasuk dari Formasi Kaligesing, pada kontak dengan satuan batugamping Formasi Sentolo terdapat sisipan batupasir. Satuan batugamping tersebar ditengah daerah telitian sampai ke selatan daerah telitian. Tersusun oleh kalsit, foraminifera besar, foraminifera planktonik dan lumpur karbonat. Dan sebagian kecil endapan aluvial yang dibawa oleh sungai Serang.

### Satuan Breksi Monomik

Satuan Breksi Monomik adalah satuan breksi yang fragmen dari batuanya terdiri dari satu macam litologi, merupakan satuan batuan paling muda.

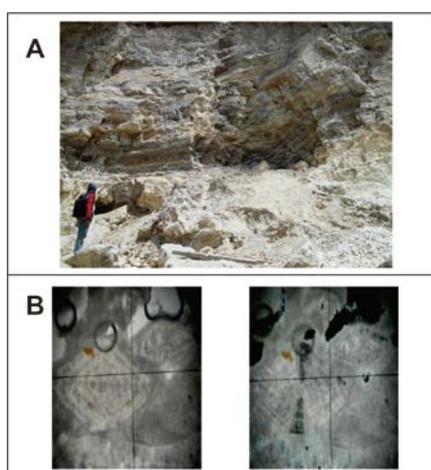


Gambar 4. A. Singkapan satuan Breksi Monomik. B. Hasil pengamatan mikroskopis fragmen Satuan Breksi Monomik yang menunjukkan fragmen dari satuan ini adalah Andesit.

Satuan ini secara spesifik terdiri dari berbagai macam litologi penyusun, antara lain breksi, batupasir sedang – kasar dan batupasir kerikil yang didominasi oleh litologi breksi dengan struktur masif. Breksi yang dijumpai memiliki karakteristik berwarna segar abu-abu gelap, warna lapuk coklat kemerahan, berukuran butir kerikil (0,2 cm–0,64cm) sampai dengan bongkah (25,6cm–204,8cm), butir menyudut, terpilah buruk, kemas terbuka, disusun oleh fragmen andesit dengan matriks yang dijumpai berupa pasir kasar sampai kerikil. Struktur sedimen yang dijumpai dari litologi ini adalah struktur sedimen masif. penyebarannya lateral arah barat - timur, arah kemiringan lapisan relatif ke arah selatan, dengan morfologi bergelombang kuat. ketebalan dari satuan batuan ini  $\pm$  500 m. Dari data regional, penarikan umur Satuan ini mengacu pada data regional yaitu diendapkan pada Kala Oligosen Akhir-Miosen Awal [14].

### **Satuan Batugamping**

Satuan ini tersusun oleh dominan batugamping klastik (batuan hasil rombakan dari batuan lain yang sudah mengalami transportasi dan sedimentasi) dengan ukuran buti lutit-arenit (lempungan-pasiran), dan sedikit batugamping terumbu.



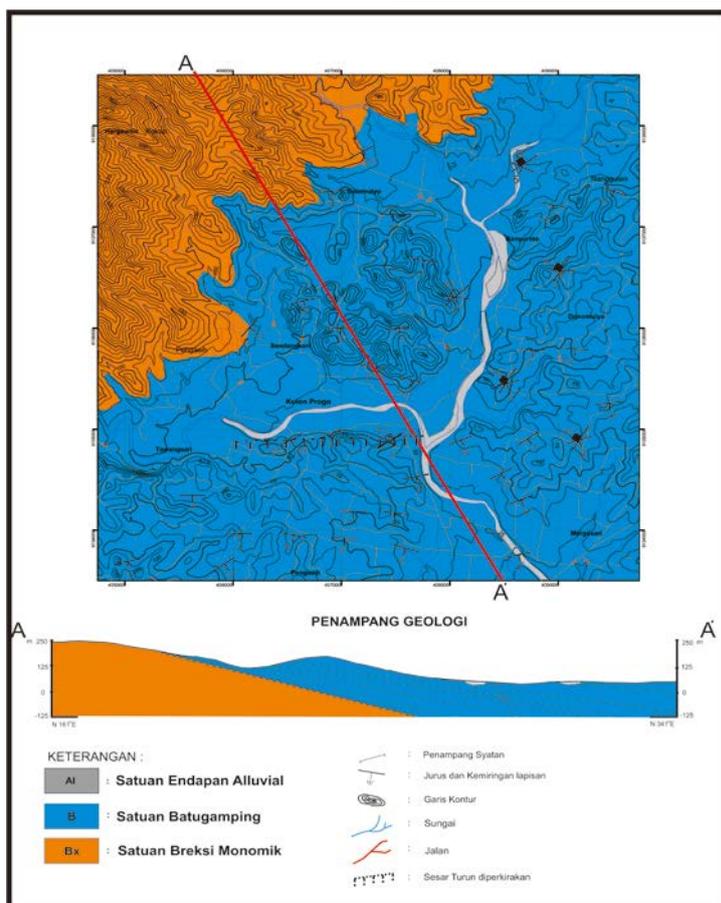
Gambar 5. A. Singkapan Satuan Batugamping pada daerah telitian. B. Hasil pengamatan mikroskopis Satuan batugamping yang menunjukkan foraminifera besar dan foraminifera plankton sebagai penyusun satuan ini.

Berdasarkan ciri-ciri fisik didapatkan bahwa satuan ini memiliki karakteristik yang sama dengan Formasi Sentolo [19]. Satuan ini sangat mudah dikenali dari ciri litologi hasil dari rombakan dari batu asal baik itu batugamping terumbu maupun batugamping klastik itu sendiri dan memiliki komposisi kimia  $\text{CaCO}_3$  lebih dari 90%. Satuan batugamping klastik terdiri dari litologi kalkarenit, kalsilutit dan sisipan batulempung dengan struktur masif, perlapisan dan laminasi. Dalam penarikan umur satuan ini didasarkan pada kehadiran fosil plankton. Dari hasil analisa, didapatkan beberapa fosil plankton. Dengan pemodelan penarikan umur dari fosil planktonik [25] dari fosil – fosil tersebut didapatkan kisaran umur pada batuan ini adalah Miosen Akhir – Pliosen.

### **Satuan Endapan Aluvial**

Terdiri dari material lepas, bongkah, berangkal, kerakal, kerikil, pasir, dan lempung. Tekstur disusun oleh hasil berbagai jenis rombakan batuan yang tidak terkonsolidasi. Tidak dijumpai adanya perlapisan atau struktur luar sedimen yang terletak di sekitar tubuh sungai dan di tubuh sungai itu sendiri. Ketebalan dari satuan endapan aluvial berdasarkan pengukuran tebal di lapangan adalah  $\pm$  1,5 m. Satuan Endapan Aluvial ini merupakan satuan yang termuda pada daerah penelitian, terbentuk pada Kala Holosen.





Gambar 8. Peta geologi daerah telitian.

## PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil kajian pemetaan geologi dan pemetaan struktur geologi di daerah Kulon progo didapatkan bahwa di daerah Kulon Progo tidak terdapat patahan aktif berumur kuartar. Kejadian tektonik yang terekam adalah berupa kekar atau rekahan akibat tektonik yang berumur Tersier yang terdapat di satuan batugamping. Pada satuan breksi monomik tidak didapatkan indikasi adanya proses tektonik. Secara stratigrafi satuan breksi monomik diendapkan secara tidak selaras dengan satuan batugamping. Sehingga kekar pada batugamping mempunyai umur lebih muda daripada umur satuan batugamping tersebut. Mengacu dari peraturan yang ada [4], diharuskan tapak dari intalasi nuklir terbebas dari potensi patahan atau patahan kapabel. Meskipun demikian, perlu dilakukan penyelidikan lebih lanjut mengenai sesar turun yang diperkirakan ada di daerah telitian dikarenakan keterbatasan data yang ada. Asumsi keberadaan sesar ini didapatkan dari analisis kekar dan pembelokan arah sungai. Pembelokan arah sungai sendiri perlu diteliti apakah karena faktor tektonik atau dikarenakan resistensi batuan.

Satuan breksi monomik di daerah telitian dapat berperan sebagai batuan dasar dalam penempatan pondasi instalasi nuklir. Litologinya tersusun oleh breksi, dan sisipan batupasir, tidak ditemukannya gejala tektonik pada satuan ini memenuhi kriteria dari peraturan pemilihan tapak untuk instalasi nuklir. Hidrologi di daerah batugamping umumnya dicirikan oleh keberadaan sungai bawah tanah yang pola alirannya sering berubah-ubah dan sulit untuk dideteksi sehingga dalam pemilihan tapak intalasi nuklir perlu mempertimbangkan aspek hidrogeologi secara mendalam karena dikawatirkan apabila terjadi kebocoran dari intalasi nuklir ke lingkungan akan sulit dideteksi [27]. Tatanan hidrologi yang berkembang di daerah telitian tidak mengindikasikan adanya pola sungai bawah tanah. Hal ini dicirikan oleh pola pengaliran di daerah ini yang berbentuk sub-denritik. Hal ini dikarenakan batugamping pada daerah telitian adalah batugamping klastik atau batugamping hasil rombakan dari batugamping terumbu atau batugamping yang sudah ada sebelumnya, dan sudah mengalami proses transportasi dan pengendapan kembali. Hal ini dapat dilihat pada bentuk foraminifera yang sudah pecah-pecah dan tidak utuh.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi di daerah Kulon Progo dapat disimpulkan daerah telitian merupakan daerah perbukitan dengan lereng landai-terjal. Secara stratigrafi satuan batuan yang menyusun daerah telitian berturut-turut dari tua ke muda adalah Satuan breksi polemik, satuan batugamping dan satuan endapan alluvial. Elemen Struktur geologi yang berkembang kekar-kekar yang berarah relatif tenggara. Berdasarkan kajian geologi satuan batuan yang ada tergolong kompak, padat dan berumur tua, hal memenuhi kriteria sebagai tapak potensial instalasi nuklir. Pada daerah selatan daerah telitian ditemukan adanya indikasi sesar turun, namun diperlukan data-data lebih banyak dan penelitian lebih lanjut untuk keaktifan sesar ini. Secara geologi daerah telitian bagian utara siap untuk dikembangkan sebagai alternatif calon tapak instalasi nuklir.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada Kepala Bidang KDT, Dr. Sunarko, yang telah memberikan arahan dalam penulisan makalah ini dan Universitas pembangunan Nasional 'Veteran' Yogyakarta yang telah memberikan fasilitas laboratorium untuk melakukan analisa sampel dalam penulisan makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA, "Site survey for Nuclear Power Plants"; IAEA Safety Standards Series No. 50-SG-S9, Vienna, 1984.
- [2] IAEA, "Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear instalations"; IAEA Safety Standards Series No.SSG-9, Vienna 2010.
- [3] BAPETEN, Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 Tentang "Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir", Jakarta, 2014.
- [4] BAPETEN, Peraturan Pemerintah Nomor 1, "Evaluasi Tapak Reaktor Daya Untuk Aspek Kegempaan", Jakarta, 2008.
- [5] BAPETEN, Peraturan Pemerintah Nomor 4, "Evaluasi Tapak Reaktor Daya Untuk Aspek Geoteknik dan Pondasi", Jakarta, 2008.
- [6] BAPETEN, Peraturan Pemerintah Nomor 4, "Evaluasi Tapak Reaktor Daya Untuk Aspek Meteorologi dan Hidrologi", Jakarta, 2014.
- [7] Hilmi F dan Haryanto., "Pola Struktur Regional Jawa Barat", Bulletin of Scientific Contribution, Volume 6, No 1, pp.57-66, 2008.
- [8] Barianto, D.H., Kuncoro, P., Watanabe, K., "The Use of Foraminifera Fossils for Reconstructing the Yogyakarta Graben", Yogyakarta, Indonesia, Journal of South East Asian Applied Geology, , Vol 2(2), pp 138-143, 2010.
- [9] Bronto. Sutikno, "Genesis Endapan Alluvium Dataran Purworejo Jawa Tengah, Implikasinya Terhadap Sumber Daya Geologi", Jurnal Geologi Indonesia, Vol 2 No 4, pp207-215, Desember 2007.
- [10] Hartono, H.G. dan Pambudi, S., 2015, Gunung Api Purba Mujil, Kulonprogo, Yogyakarta: Suatu Bukti dan Pemikiran, Prosiding ReTII ke 10, STTNAS Yogyakarta
- [11] Pringgoprawiro,H. dan Riyanto, B., "Formasi Andesit Tua suatu Revisi",Bandung Inst.Technologi, Dept.Geol.Contr., 1 -29, 1988.
- [12] Pringgoprawiro H., "On the age of the Sentolo Formation based onplanctonic foraminifera", Bandung Inst.Technology, Dept.Geol.Contr., No.64, 5-21, 1969
- [13] Purnamaningsih, S. dan Pringgoprawiro, H., "Stratigraphy and planktonicforaminifera of the Eocene-Oligocene Nanggulan Formation, Central Java", Geol.Res.Dev.Centre Pal.Ser. Bandung,Indonesia, No. 1, 9-28, 1981.
- [14] Astuti. Bernadeta. dkk, "Analisis Struktur Geologi Jalur Kali Watupuru dan Kali Songgo Daerah Degan Kulon Progo, fan Implikasinya Terhadap Penyebaran Batupasir kuarsa Formasi Nanggulan yang Berpotensi Sebagai Reservoar ", Prosiding Seminar Nasional Ke 3, Fakultas Teknik Geologi,Universitas Padjajaran, 2016.
- [15] Soeria Atmadja R., Maury R.C., Bellon H., Pringgoprawiro H., Polve M. Dan Priadi B., "The Tertiary Magmatic Belts in Java, Proc Symp. On Dynamics of Subduction and it products", The silver Jubilec Indom. Inst.Of Sci (LIPI), 98-121, 1994.
- [16] Widagdo Asmoro, dkk. "Kajian Pendahuluan Kontrol Struktur Geologi Terhadap Sebaran Batuan-Batuan di daerah Pegunungan Kulonprogo-Yogyakarta". Prosiding Seminar Nasional kebumian ke 9, Universitas Gajah Mada, 2016.

- [17] Tim Pusat Studi Gempa Nasional, "Peta Sumber Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017", Pusat Penelitian Pengembangan Perumahan, Kementrian PUPR, 2017
- [18] D. Karnawati, et.al., "Geology of Yogyakarta, Java: The dynamic volcanic arc city" Proccedings International Assosiation for Engineering Geology and Environtment. Geological Survey of Indonesia, 1 -15.
- [19] Pandita. Hita, dkk, "Kajian Biostratigrafi dan Fasies Formasi Sentolo Di Daerah Galuhrejo dan Ngaran Kabupaten Bantul Untuk Mengidentifikasi Keberadaan Sesar Progo" Prosiding Seminar Nasional Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjajaran, 2014.
- [20] Suwarno. Yatin, "Analisis Potensi Wilayah Kabupaten Kulon Progo Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dari Ekstraksi Peta Geologi", Prosiding Seminar Nasional Geografi, Universitas Muhamadiyah Surakarta, 2017.
- [21] Harjanto. Agus, "Vulkanostartigrafi Di Daerah Kulon Progo dan Sekitarnya Daerah Istimewa Yogyakarta", Jurnal Ilmiah MTG, Vol 4 No 2, Juli 2011.
- [22] Mulyaningsih. Sri, dkk, " Perkembangan Geologi pada Kuarter Awal sampai Masa Sejarah di Dataran Yogyakarta" Jurnal Geologi Indonesia, Vol 1 No 2 pp.103-113, Juni, 2006.
- [23] Martodjojo S., dan Djuhaeni, "Sandi Stratigrafi Indonesia, Komisi Sandi stratigrafi Indonesia", IAGI, Jakarta, 1 -36, 1996.
- [24] Pandita H, dkk., "Kajian Biostratigrafi Dan Fasies Formasi Sentolo di Daerah Guluhrejo dan Ngaran Kabupaten Bantul Untuk Mengidentifikasi Keberadaan Sesar Progo", Procceding Seminar Nasional Ke-3, FTG UNPAD, 2016.
- [25] Sukiyah E, et.al, " Tectonic Geomorphology of Upper Cimanuk Drainage Basin, West Java, Indonesia", International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology, Vol 8 No 3, pp.863-869, 2018.
- [26] Ngadenin, dkk. 'Studi Awal Geologi di Wilayah Kabupaten Pamekasan Untuk Mendukung Pemilihan Calon Tapak Instalasi Desalinasi Nuklir', Eksplorium,, Vol 35 No 1, pp. 29-42, Mei, 2014.

**DISKUSI/TANYA JAWAB :**

**1. PERTANYAAN :**

Dari data geologi, daerah mana yang menjadi tapak interest?

**JAWABAN :**

Tapak interest berada pada daerah utara penelitian, secara litologi merupakan batuan tersier yang cenderung masif, tidak terdapat kemungkinan patahan. Apabila instalansi nuklir membutuhkan water intake maka dapat dipertimbangkan daerah dekat sungai di daerah utara.

## ANALISIS SPASIAL AWAL LOKASI CALON TAPAK PLTN DI KALIMANTAN BARAT

Euis Etty A, Heni Susiati, Sunarko

*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, Jl. Kuningan Barat Mampang Prapatan, Jakarta 12710  
email: euisetty@batan.go.id*

### ANALISIS SPASIAL AWAL LOKASI CALON TAPAK PLTN DI KALIMANTAN BARAT.

Kebutuhan energi listrik di Indonesia masih tinggi terutama bila mempertimbangkan proyeksi pertumbuhan ekonomi dan industri, termasuk di Kalimantan Barat. Untuk memenuhi kebutuhan listrik tersebut, sebagian bahkan pemerintah harus mengimpor dari negara tetangga setiap tahunnya. Selain itu, pertumbuhan industri yang diproyeksikan akan terus meningkat seperti aluminium, kelapa sawit, karet serta pembangunan pelabuhan internasional Kijing yang membutuhkan energi listrik yang besar, maka pemerintah daerah berinisiatif untuk menambah pembangkit listrik di Provinsi Kalimantan Barat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui lokasi calon tapak yang aman untuk PLTN berdasarkan analisis spasial secara regional di Kalimantan Barat. Metode yang digunakan adalah metode analisis raster menggunakan software ArcGIS berdasarkan data-data spasial kejadian eksternal yang dapat mempengaruhi keselamatan tapak. Data input yang digunakan adalah data spasial struktur geologi, litologi, hutan khusus, lahan gambut dan penggunaan lahan. Hasil dari analisis raster menunjukkan bahwa di Provinsi Kalimantan Barat terdapat beberapa daerah yang berpotensi aman untuk dijadikan lokasi calon tapak PLTN yaitu di Kabupaten Bengkayang, Kabupaten Ketapang dan Kota Singkawang. Sedangkan daerah yang berpotensi tidak aman untuk PLTN terdapat di sebagian pesisir pantai Kabupaten Sambas, beberapa bagian di Kota Singkawang dan Kabupaten Bengkayang serta mendominasi di Kabupaten Kubu Raya dan Kayong Utara.

Kata kunci: analisis raster, calon tapak, Kalimantan Barat.

### ABSTRACT

**PRELIMINARY SPATIAL ANALYSIS FOR NPP SITE SELECTION ON WEST KALIMANTAN.** The need for electrical energy in Indonesia is still high, especially in areas directly adjacent to other countries such as West Kalimantan Province. To fulfill the demand, some electricity should be imported from neighboring countries each year. In addition, the projected growth of industries that require electrical energy such as aluminum, oil palm, rubber and the development of the Kijing port will largely increase electricity demand. Thus the Government took the initiative to increase the number of power plant in the framework of the fulfillment of electricity demand in West Kalimantan Province . The purpose of this study was to identify areas that have the potential to become safe and suitable sites for nuclear power plants in the province of West Kalimantan. The method used was raster analysis using ArcGIS software from spatial data on external events that can affect site safety. Input aspects are spatial data from geological structure, lithology, special forest, peatland, and land use. The results shows that the province of West Kalimantan has medium to high potential to be used as potential sites for nuclear power plants. They are located in Bengkayang regency, Ketapang regency and Singkawang city.

Keyword: raster analysis, candidat of NPP site, West Borneo

### PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi sangat dinamis dengan adanya peningkatan produksi yang mengakibatkan kebutuhan energi semakin besar. Hal ini juga berlaku di Indonesia yang sedang melakukan percepatan pengembangan ekonomi secara merata. Pekerjaan tersebut tentunya tidak terlepas dengan adanya peningkatan produksi di sektor industri. Terutama di daerah pengembangan wilayah strategis pusat industri dan wisata khusus salah satunya di Kalimantan Barat. Menurut Kementerian Perindustrian, sumbangan di sektor industri dalam *Gross Domestic Bruto* (GDP) Nasional masih di angka 21-22%, padahal *share* sektor industri ditargetkan melampaui angka 30% di tahun 2035 [1].

Selain itu berdasarkan analisis aliran daya di sistem kelistrikan Kalimantan Barat akan tetap mengalami kekurangan energi listrik hingga tahun 2031 jika pemerintah tidak membuat kebijakan pembangunan pembangkit skala besar [2]. Kekurangan energi listrik sangat terasa terutama di perdesaan daerah perbatasan Kalimantan Barat dengan Serawak. Hingga tahun hingga tahun 2019 PT PLN masih merencanakan pembelian listrik dari Serawak hingga mencapai 230 MW [3]. Sehingga untuk mengejar kedua hal tersebut perlu adanya kesiapan infrastruktur yang dapat mendorong kemajuan sektor industri sekaligus mengurangi kekurangan energi listrik. Kondisi demikian mendorong pemerintah daerah, terutama Provinsi Kalimantan Barat, untuk mengembangkan pemanfaatan sumber energi baru yang dapat menghasilkan listrik berkapasitas besar dan stabil yaitu nuklir [4].

Tahap awal dalam pembangunan PLTN adalah mempersiapkan calon tapak yang layak. Pekerjaan ini merupakan aspek penting salah satunya untuk memastikan lokasi PLTN tersebut aman dari kejadian eksternal yang mungkin terjadi di dalam area tapak dan dapat mempengaruhi keselamatan PLTN [5]. Dalam tahap awal ini lokasi tapak ditentukan secara regional berdasarkan kriteria umum untuk mendapatkan daerah yang berpotensi sebagai tapak interes. Daerah-daerah tersebut selanjutnya dilakukan studi evaluasi lebih rinci. Sebelum melakukan konfirmasi di lapangan, penentuan calon lokasi atau daerah untuk tapak PLTN ini dapat dilakukan dengan menggunakan Sistem Informasi Geografi (SIG).

Sistem Informasi Geografi (SIG) merupakan suatu alat yang dapat digunakan untuk mengumpulkan, mengolah dan menampilkan data spasial agar lebih informatif secara keruangan [6]. SIG mampu menganalisis masalah spasial maupun non spasial beserta kombinasinya (*queries*) dalam rangka memberikan solusi atas permasalahan keruangan [7]. Analisis spasial merupakan salah satu bagian dari kajian sistem informasi geografis dengan mempertimbangkan berbagai aspek yang bertujuan untuk menentukan zonasi lahan yang sesuai dengan karakteristik yang ada [8]. Dalam konteks pembangunan, sistem informasi geografi dapat membantu dalam proses pengambilan keputusan termasuk didalamnya adalah pembuatan kebijakan, perencanaan maupun pengelolaan salah satunya adalah kebijakan dalam penentuan lokasi tapak PLTN.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui lokasi calon tapak PLTN di Provinsi Kalimantan Barat berdasarkan analisis spasial secara regional dengan menggunakan sistem informasi geografi (SIG). Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat membantu kegiatan studi lanjut untuk penentuan lokasi tapak terpilih yang layak dibangun PLTN.

## METODOLOGI

### Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan data struktur geologi, sebaran litologi, sebaran gambut, hutan khusus, dan penggunaan lahan. Data tersebut merupakan data sekunder yang diperoleh dari Badan Geologi dan Badan Informasi Geospasial berupa format *shapefile* yang diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.2.2.

### Daerah Penelitian

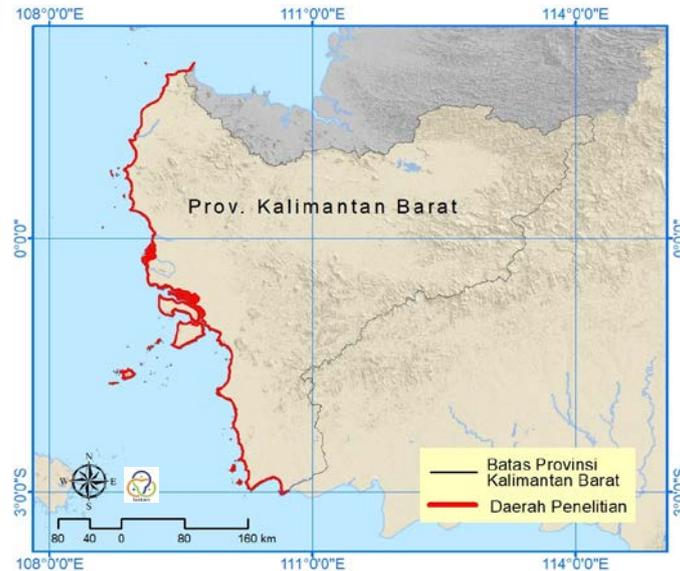
Daerah penelitian adalah sepanjang pesisir pantai Provinsi Kalimantan Barat dengan lebar 3 km dari garis pantai, disajikan pada Gambar 1. Secara administrasi daerah penelitian masuk dalam Kabupaten Sambas, Mempawah, Kubu Raya, Kayong Utara, Ketapang dan Kota Mempawah. Tata guna lahan di daerah penelitian didominasi oleh hutan yaitu mencapai 45,22% dari total luas keseluruhan daerah penelitian (Tabel 1).

Tabel 1. Tata Guna Lahan Pesisir Kalimantan Barat

No.	Tata Guna Lahan	Luas (%)
1.	Hutan	45,22
2.	Sawah/Ladang	19,90
3.	Rawa	11,47
4.	Perkebunan	11,11
5.	Gambut	9,23
6.	Semak Belukar	1,46
7.	Rumput	1,07
8.	Perairan	0,39
9.	Permukiman	0,15
	Total	100

Sumber: Hasil analisis 2019.

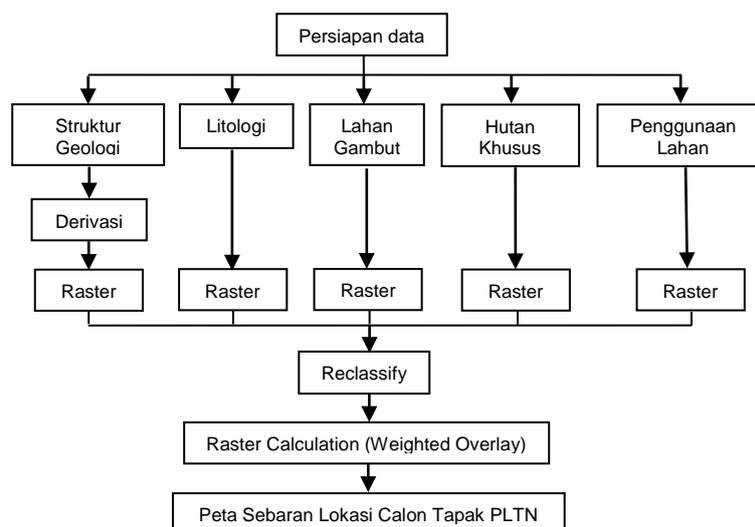
Daerah di sepanjang pesisir pantai Provinsi Kalimantan Barat merupakan dataran rendah yang dialiri ratusan muara sungai di dalamnya dengan suhu udara cukup tinggi serta diiringi kelembaban yang tinggi [9].



Gambar 1. Daerah Lokasi Penelitian

### Analisis Spasial

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis raster untuk mengetahui daerah yang berpotensi sebagai calon tapak PLTN di Provinsi Kalimantan Barat. Tahapan penelitian diawali dengan persiapan data, pengolahan data kemudian dilakukan analisis data (Gambar 2). Hal penting dalam mempersiapkan data dalam penelitian ini adalah pertimbangan dalam pemilihan parameter yang akan digunakan. Mengingat penelitian ini masih dalam tahap awal untuk identifikasi daerah yang berpotensi sebagai calon tapak PLTN, maka dilakukan analisis secara regional. Sehingga dalam penelitian ini digunakan data dengan parameter memiliki unsur penolak dan paling berpengaruh dalam pemilihan awal calon tapak PLTN.



Gambar 2. Tahapan Penelitian

Data yang digunakan adalah data geologi yang terdiri dari struktur geologi dan litologi. Parameter struktur geologi sebagai unsur penolak calon lokasi tapak PLTN. Artinya, daerah yang dilalui jalur struktur geologi dianggap tertolak secara langsung. Begitu juga halnya dengan litologi. Daerah dengan litologi yang tidak memenuhi kriteria maka dapat tertolak.

Data selanjutnya adalah sebaran hutan khusus dan lahan gambut yang ada di Provinsi Kalimantan Barat. Hutan khusus dan lahan gambut ini adalah parameter penting sebagai unsur penolak dalam pemilihan calon tapak di Kalimantan Barat. Untuk hutan khusus ini yang dimaksud adalah hutan sebagai kawasan konservasi, sebagai kawasan lindung, cagar alam, dll. Selain itu juga digunakan data tata guna lahan untuk mempertimbangkan pemilihan awal lokasi calon tapak PLTN di Kalimantan Barat.

Pengolahan dan analisis data dalam penelitian ini dilakukan menggunakan software ArcGIS 10.2.2 Data yang digunakan dilakukan perubahan bentuk menjadi data raster dengan menggunakan fasilitas *conversion tools*. Untuk data struktur geologi dilakukan proses derivasi sebelum dirubah ke dalam bentuk raster hal ini dilakukan untuk membuat model kesesuaian agar data-data tersebut memiliki nilai pada setiap sel-nya.

*Reclassify* merupakan langkah kerja awal dalam menganalisis. Kegiatan ini merupakan proses mengklasifikasi ulang setiap raster kedalam besaran interval yang telah ditentukan dengan mengganti nilai sel input menjadi nilai sel output yang baru [10]. Dalam penelitian ini setiap raster memiliki nilai dengan rentang 1-10 (Tabel 2). Langkah terakhir adalah memberikan nilai bobot dan mengkombinasikan pada setiap layer menggunakan teknik *weighted overlay* pada ekstensi *spatial analyst*. Pada tahap ini semua bobot yang diberikan pada setiap parameter disesuaikan terhadap dampak yang akan diberikan terhadap keselamatan di setiap daerah.

Tabel 2. Tabel Harkat/Nilai Klasifikasi Parameter

No	Parameter	Harkat
1	Struktur Geologi	1
	Bukan Struktur Geologi	10
2	Hutan Khusus	1
	Bukan Hutan Khusus	10
3	Lahan Gambut	1
	Bukan Lahan Gambut	10
4	Batuan Beku	10
	Batuan Metamorf	7
	Batuan Sedimen	4
	Material Aluvium	1
5	Rumput, Semak Belukar	10
	Sawah/Ladang, Perkebunan	8
	Hutan	6
	Permukiman	4
	Gambut, Rawa, Perairan	1

Tabel 3. Tabel Bobot Penilaian

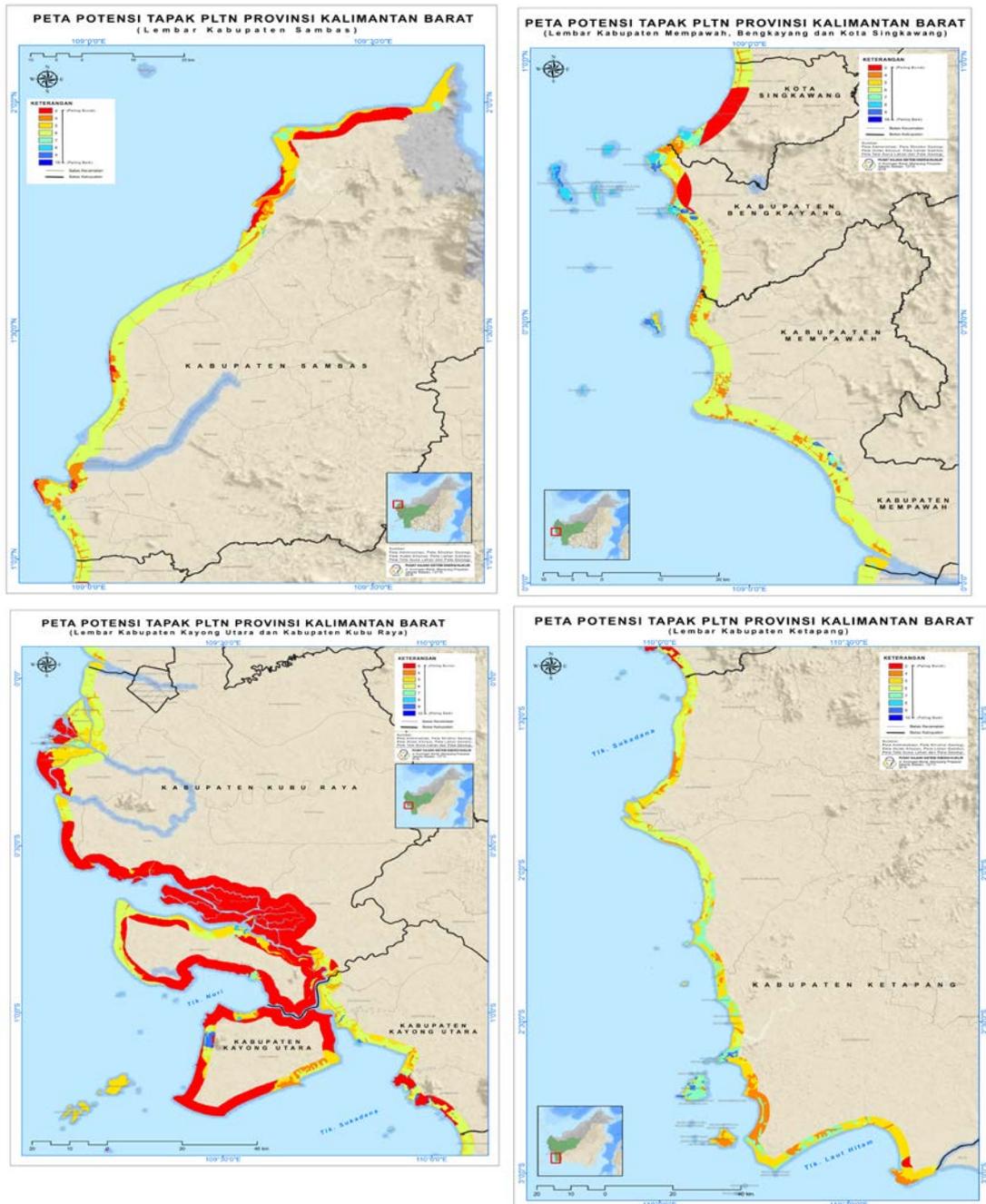
No	Parameter	Bobot
1	Struktur Geologi	20
2	Litologi Batuan	20
3	Hutan Khusus	20
4	Lahan Gambut	20
5	Tata-guna Lahan	20

Bobot parameter dalam penelitian ini dianggap memiliki pengaruh yang sama besar terhadap pemilihan calon tapak PLTN di Provinsi Kalimantan Barat sehingga masing-masing nilai bobot pada parameter memiliki nilai yang sama yaitu 20 (Tabel 3). Dari hasil pembobotan akan menghasilkan nilai dengan skala 1-10 yang dipresentasikan dengan berurutan berwarna merah, orange, kuning, hijau muda, biru muda dan terakhir adalah biru tua.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan dapat diketahui sebaran daerah calon tapak PLTN potensial di Provinsi Kalimantan Barat dengan zonasi 3 km dari garis pantai seperti yang disajikan pada Gambar 2. Pada gambar tersebut diketahui nilai hasil perhitungan raster dengan simbol warna merah memiliki nilai 0 sedangkan warna biru tua

memiliki nilai terbesar yaitu 10. Warna biru tua adalah lokasi yang berkarakteristik lahan paling sesuai, karena berada diluar zona pembatas utama yaitu struktur geologi, hutan khusus dan lahan gambut. Sehingga lokasi ini dianggap paling berpotensi sebagai calon tapak PLTN. Sedangkan daerah yang berwarna merah adalah lokasi yang tidak sesuai dan dianggap tidak berpotensi sebagai daerah calon tapak PLTN.



Gambar 3. Sebaran Potensi Daerah Interes PLTN di Provinsi Nusa Tenggara Barat Hasil Analisis Raster

Sepanjang daerah penelitian terlihat sebagian besar berwarna oranye hingga kuning dengan nilai sebesar 6-5. Artinya warna tersebut adalah daerah yang berpotensi sedang sebagai calon tapak PLTN. Berdasarkan data, nilai tersebut diperoleh dari pengaruh tata guna lahan berupa perkebunan dan semak belukar serta litologi batuan.

Warna biru dengan nilai 8-10 paling banyak mendominasi di pesisir pantai Kabupaten Bengkayang dan Kota Singkawang. Tepatnya di daerah Pantai Gosong, Daerah Pantai Mimi Land hingga Pantai Kura-Kura dan daerah Tanjung Sedau. Selain itu juga terlihat di Pulau Kabung dan kepulauan Penata Besar, Pulau Semesa (berhadapan dengan pantai Gosong) dan bagian barat Pulau Temajo. Daerah tersebut memiliki litologi batuan berupa batuan gunungapi Kerabai dan intrusi Sintang dengan tata guna lahan didominasi berupa perkebunan dan rumput. Pesisir pantai Kabupaten Ketapang juga terlihat terdapat zona berwarna biru di Pulau Bawal dan daerah Keramat Jaya. Secara litologi daerah tersebut memiliki batuan Gunungapi Kerabai dan Komplek Ketapang berumur Jura dengan penggunaan lahan didominasi berupa rumput, perkebunan dan hutan semak belukar.

Daerah penelitian yang tertolak sebagai calon tapak PLTN berada di beberapa daerah pesisir pantai Kabupaten Sambas, Kota Singkawang dan Kabupaten Bengkayang. Berdasarkan data, warna merah di daerah tersebut dikontrol oleh struktur geologi dan litologi berupa endapan alluvium berumur kuartar. Selain itu juga terdapat kawasan hutan pelestarian alam terlihat pula di Kabupaten Kubu Raya dan Kayong Utara yang disebabkan oleh lahan yang didominasi gambut. Selain itu parameter penolak juga disebabkan terdapatnya daerah sebagai kawasan hutan lindung. Secara geologi daerah tersebut berupa endapan alluvial dan tidak terdapat struktur geologi.

Secara keseluruhan, daerah calon potensi tapak PLTN di Provinsi Kalimantan Barat yang tersebar di Kabupaten Bengkayang adalah daerah yang berpotensi paling baik. Jika disesuaikan dengan tujuan awal pemerintah daerah setempat, daerah yang berpotensi di kabupaten tersebut berada di dekat lokasi pengembangan industri. Selain itu posisi Kabupaten Bengkayang berada tidak jauh dari jalur gardu induk eksisting Sambas [13], sehingga dengan adanya pembangunan PLTN di Kabupaten Bengkayang dapat memasok listrik hingga ke Kabupaten Sambas dengan dampak dapat mengurangi konsumsi listrik dari negara tetangga.

Hasil penelitian ini masih memiliki keterbatasan, terutama data yang digunakan adalah data yang belum terkompilasi dengan parameter hidrologi yaitu kejadian bencana banjir dan sedimentasi sungai. Mengingat wilayah Kalimantan Barat memiliki banyak aliran sungai besar yang setiap tahun air terus mengalir. Meskipun demikian, dari hasil analisis ini sudah dapat digunakan sebagai acuan awal dalam penentuan lokasi tapak terpilih untuk pembangunan PLTN di Provinsi Kalimantan Barat.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis raster yang ditinjau dari kondisi geologi (struktur geologi dan material), hutan khusus, lahan gambut dan tata-guna lahan diketahui bahwa sebagian besar pesisir di Provinsi Kalimantan Barat memiliki daerah yang berpotensi sedang sebagai calon tapak PLTN. Meskipun demikian, di Provinsi Kalimantan Barat juga teridentifikasi sebagian daerah lainnya dengan nilai 8-10 yang dapat diartikan cukup baik untuk calon tapak PLTN. Daerah ini tersebar di di pesisir pantai Kabupaten Bengkayang, Kabupaten Ketapang dan Kota Singkawang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan pada Kepala Pusat PKSEN Dr. Suparman yang telah mengizinkan penggunaan fasilitas penelitian dan memberikan arahan serta masukan dalam penulisan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Perindustrian, "Konsumsi Energi Seiring Pertumbuhan Industri" <https://kemenperin.go.id/artikel/9897/Konsumsi-Energi-Seiring-Pertumbuhan-Industri> diakses tanggal 4 Oktober 2019.
- [2] PT. PLN (PERSERO), "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) 2013-2022", Jakarta (2013).
- [3] Citra Candranurani, dkk. "Analisis Aliran Daya Untuk Penentuan Lokasi Penyaluran Daya PLTN Pada Sistem Kalimantan Barat", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, Volume 17 No.1 Hal.67-77, Jakarta, (Juni 2015).
- [4] Komisi VII DPR Indonesia, "Laporan Kunjungan Kerja Komisi VII DPR RI Ke Provinsi Kalimantan Barat-Reses Masa Persidangan I Tahun Sidang 2016-2017", DPR RI, Jakarta, (2016).

- 
- [5] IAEA, "Safety Standard Series No. NS-R-3 (Rev.1): Site Evaluation for Nuclear Installation, Vienna (2016).
  - [6] Euis Etty A. dkk, "Identifikasi Sebaran Potensi Daerah Interes PLTN Menggunakan Analisis Raster di Provinsi Nusa Tenggara Barat", Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir, Yogyakarta (2018).
  - [7] Prahasta E. "Sistem Informasi Geografis: Konsep – Konsep Dasar (Perspektif Geodesi & Geomatika)", Informatika, Bandung (2014).
  - [8] Hanif Anasiru R, "Analisis Spasial Dalam Klasifikasi Lahan Kritis Di Kawasan Sub-DAS Langge Gorontalo", Jurnal Informatika Pertanian, Volume 25 No.26 Hal. 261-272, Jakarta, (2016).
  - [9] BPS, "Statistik Daerah Provinsi Kalimantan Barat 2019", BPS, (2019).
  - [10] ESRI, "Using ArcGIS: Spatial Analyst", ESRI, USA, (2002).

**DISKUSI/TANYA JAWAB :**

**1. PERTANYAAN :**

Untuk zonasi 3 km apakah menjadi tahapan karena jika ternyata tahapan pertama ada tektonik tentunya langsung tapak tertolak

**JAWABAN :**

Penelitian ini adalah tahapan awal pemilihan calon lokasi tapak PLTN dengan lingkup analisis dilakukan regional dengan zonasi 3km dari tepi pantai ke daratan. Untuk kriteria dalam pemilihan sesuai dengan peraturan yang berlaku. Termasuk tektonik struktur geologi (capabel) kurang dari 5 km tertolak

HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN

## KONSEP PERHITUNGAN LAJU RADIOLISIS DENGAN CODE MCNP

**Azizul Khakim**

*Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)  
Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta 10120 Indonesia  
email: a.khakim@bapeten.go.id*

### ABSTRAK

**KONSEP PERHITUNGAN LAJU RADIOLISIS DENGAN CODE MCNP.** Radiolisis merupakan proses penguraian medium yang dilewatinya oleh partikel radiasi pengion seperti  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  dan neutron. Proses radiolisis pada reaktor atau fasilitas nuklir lainnya perlu mendapat perhatian, karena produknya mempengaruhi keselamatan dan mempercepat degradasi komponen. Sehingga perlu tersedia konsep untuk menghitung laju radiolisis, supaya bisa diperkirakan berapa banyak dan jenis yang dihasilkan. Makalah ini menguraikan konsep perhitungan laju radiolisis dengan menggunakan code MCNP. Tally F6 disediakan oleh MCNP untuk menghitung energi partikel radiasi yang terdeposisi pada medium yang dilewatinya. Dengan mengkombinasikan data eksperimen nilai g, yaitu jumlah molekul yang dihasilkan oleh suatu radiasi akibat mentransfer satu satuan energi tertentu, maka laju penguraian medium tertentu dapat dihitung. Dibandingkan dengan metode deterministik, metode ini lebih fleksibel karena pengguna dapat mendefinisikan persoalan dengan mudah, seperti jenis radiasi, pilihan spektrum energi radiasi, geometri sumber, geometri dan material medium, dan lain-lain. Tujuan makalah ini adalah untuk merumuskan konsep perhitungan laju radiolisis dengan code MCNP dan mengkombinasikan data eksperimen nilai g.

Kata kunci: Radiolisis, MCNP, tally F6, nilai g

### ABSTRACT

**A CONCEPT ON CALCULATING RADIOLYSIS RATE WITH MCNP CODE.** Radiolysis is a dissociation process of medium passed by ionizing radiation such as  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  and neutron. Radiolysis process in nuclear reactors or other nuclear facilities should get attention, as its product may affect safety and accelerate component degradation. Therefore, a concept has to be available to calculate radiolysis rate, in such that we can estimate how much and what species are produced. This paper elaborates a calculation concept using MCNP code. F6 tally is provided by MCNP to calculate energy deposition in the medium transferred by radiation. By combining the experimental data of g-value, i.e. number of molecules produced by radiation due to transfer of unit energy, the dissociation of medium can be calculated. Compared to the deterministic method, this method is more flexible since the users can define the problem easily such as type of radiation, the choice on radiation energy spectrum, source geometry, medium geometry, and material, etc. This paper is aimed at formulating calculation concept of radiolysis rate with MCNP and by combining experimental data of g-value.

Keyword: Radiolysis, MCNP, tally F6, g-value

### PENDAHULUAN

Radiolisis merupakan proses penguraian medium oleh radiasi pengion yang melewatinya. Beberapa radiasi pengion yang dapat mengurai molekul antara lain radiasi  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  dan neutron. Radiasi neutron dan  $\gamma$  terjadi pada reaktor yang sedang beroperasi. Proses radiolisis pada reaktor atau fasilitas nuklir lainnya perlu mendapat perhatian, karena produknya yang berpengaruh pada keselamatan dan degradasi komponen. Gas H<sub>2</sub> yang dihasilkan oleh radiolisis air bisa menimbulkan ledakan jika terakumulasi dalam jumlah banyak. Gas O<sub>2</sub> yang dihasilkan dari radiolisis air berakibat mempercepat proses korosi pada komponen reaktor. Gas-gas yang dihasilkan oleh proses radiolisis air pada reaktor penelitian akan menimbulkan gelembung yang bergerak ke permukaan. Jika gelembung tersebut terjadi dalam jumlah yang masif, maka akan membawa zat radioaktif (seperti N<sub>16</sub>) ke permukaan kolam lebih cepat sehingga menambah paparan radiasi di permukaan kolam.

Dalam bidang ketenaganukliran, radiolisis air terjadi pada reaktor daya (PWR dan BWR), reaktor riset, reaktor AHR (*Aqueous Homogeneous Reactor*) dan kolam penyimpanan bahan bakar bekas. Pada AHR yang berbahan bakar uranil nitrat juga dihasilkan gas  $N_2$  dan  $NO_x$  dari radiolisis larutan uranil nitrat.

Dengan pertimbangan di atas, perlu tersedia konsep untuk menghitung laju radiolisis, sehingga bisa diestimasi berapa banyak dan jenis yang dihasilkan untuk dipertimbangkan efeknya terhadap keselamatan dan degradasi komponen. Makalah ini akan menguraikan konsep perhitungan laju radiolisis dengan menggunakan code MCNP. Tally F6 disediakan oleh MCNP untuk menghitung energi partikel radiasi yang terdeposisi pada medium yang dilewatinya. Dengan mengkombinasikan data eksperimen tentang berapa jumlah molekul yang dihasilkan oleh suatu radiasi akibat mentransfer satu satuan energi tertentu, maka laju pembentukan molekul tertentu atau laju penguraian medium tertentu dapat dihitung.

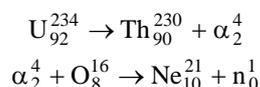
Berbeda dengan model perhitungan yang dilakukan para peneliti sebelumnya yang menggunakan metode deterministik [1], dalam konsep perhitungan di makalah ini menerapkan keunggulan metode monte carlo. Atenuasi energi radiasi dan linear energy transfer (LET) pada medium disimulasikan secara statistik. Pengguna juga diberikan fleksibilitas dalam memodelkan suatu masalah, karena parameter sumber dapat didefinisikan sesuai persoalan seperti berbagai pilihan spektrum energi radiasi, geometri sumber radiasi, sudut tumbukan, geometri medium, pilihan berbagai jenis medium, dan lain-lain. Efek radiasi sekunder yang muncul dari interaksi radiasi primer dengan materi juga bisa dihitung dengan metode ini.

Makalah ini bertujuan untuk merumuskan konsep perhitungan laju radiolisis dengan code MCNP dan memanfaatkan data eksperimen tentang jumlah molekul yang terurai akibat menyerap energi tertentu dari radiasi pengion yang melewatinya.

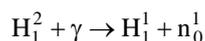
## DASAR TEORI

Radiolisis merupakan proses penguraian molekul oleh radiasi pengion. Radiasi pengion pada aplikasi nuklir berupa sinar  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , dan neutron. Radiolisis oleh radiasi  $\alpha$  dapat terjadi pada antarmuka permukaan bahan bakar bekas yang disimpan dalam air, dimana radiasi  $\alpha$  berasal dari peluruhan produk fisi [1]. Sedangkan radiolisis oleh  $\gamma$  dan neutron terjadi pada operasi reaktor. Sinar  $\gamma$  pada reaktor dapat berasal antara lain: (1) sinar  $\gamma$  dari fisi serempak, (2) sinar  $\gamma$  dari produk fisi, (3) sinar  $\gamma$  dari tangkapan neutron oleh uranium ( $n, \gamma$ ), (4) sinar  $\gamma$  dari hamburan non elastis uranium-238, (5) sinar  $\gamma$  dari tangkapan neutron oleh racun, bahan struktur dan moderator, dan (6) sinar  $\gamma$  dari peluruhan produk tangkapan neutron.

Sumber neutron pada reaktor sebagian besar berasal dari proses fisi yang menghasilkan 2 atau 3 neutron per fisi. Di samping itu reaksi ( $n,2n$ ) yang menangkap satu neutron dan melepaskan dua neutron juga menambah populasi neutron. Di dalam reaktor terdapat pula sumber intrinsik yang karena keberadaan suatu material sehingga menghasilkan neutron, seperti sumber ( $\alpha,n$ ), sumber foto-neutron dan sumber transuranic. Sumber ( $\alpha,n$ ) berasal dari peluruhan  $\alpha$  oleh U-234, U-235 dan U-238. Emisi partikel  $\alpha$  dari isotop tersebut jika ditangkap oleh oksigen di sekitarnya akan dihasilkan Neon dan neutron.



Sumber foto-neutron berasal dari radiasi  $\gamma$  yang menumbuk deuterium pada air hingga menghasilkan neutron.

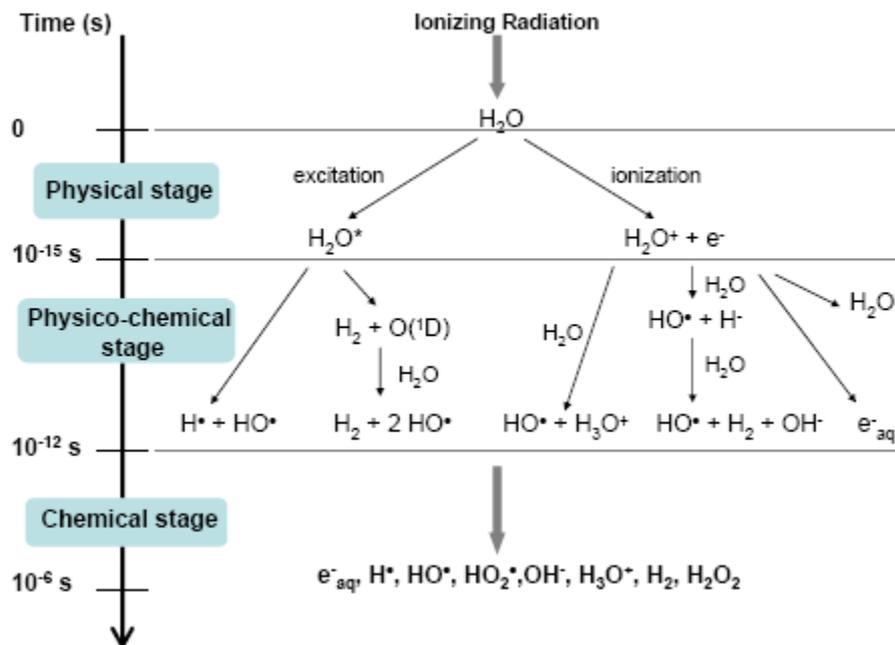


Sumber transuranic berasal dari produk fisi seperti Cm-242, Cm-244, dan Cf-252 yang mengeluarkan partikel  $\alpha$ . Isotop-sitotop tersebut lahir dari hasil fisi setelah bahan bakar mengalami burnup yang tinggi.

Molekul yang mengalami penguraian terutama adalah air ( $H_2O$ ), karena penggunaannya dalam aplikasi nuklir cukup banyak baik sebagai moderator, pendingin, perisai dan lain-lain. Penguraian molekul terjadi karena terlepasnya unsur penyusun akibat menerima energi partikel radiasi pengion. Energi yang ditransfer dari partikel radiasi ke molekul yang dilewati disebut dengan LET (*Linear Energy Transfer*). Dengan kata lain,

energi radiasi yang terdeposisi pada medium yang dilewati merupakan  $-dE/dx$ . Sebagai contoh, radiasi gamma dari Co-60 mempunyai nilai LET antara 0,2-0,3 keV/ $\mu\text{m}$ , sedangkan untuk partikel alfa (Po-210) dengan energi 5,3 MeV harga LETnya adalah 140 keV/ $\mu\text{m}$ . LET adalah salah satu parameter yang penting terhadap jenis produk dari radiolisis [2].

Proses radiolisis pada air dapat menghasilkan beberapa produk seperti radikal hidroksida ( $\text{OH}^\bullet$ ) dan radikal hidrogen ( $\text{H}^\bullet$ ), ion oksigen ( $\text{O}_2^-$ ), elektron air ( $e_{\text{aq}}^-$ ), hidrogen peroksida ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), gas hidrogen ( $\text{H}_2$ ), dan produk radiolisis sekunder, oksigen ( $\text{O}_2$ ). Produk radiolisis oksigen dapat menyebabkan dan mempercepat proses korosi pada material struktur reaktor [3]. Gambar 1 menunjukkan kejadian radiolisis air dalam tiga tahap yang terjadi pada skala waktu yang berbeda.



Gambar 1. Reaksi utama yang terjadi pada radiolisis air [2]

Hasil reaksi dalam kimia radiasi umumnya diukur dalam parameter nilai G (atau g) yang merupakan jumlah spesies yang terbentuk atau yang terurai per 100 eV energi yang diserap. Masing-masing jenis radiasi  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , dan neutron memiliki hasil (*yield*) radiolisis yang berbeda. Tabel 1 menunjukkan contoh nilai g pada air untuk radiasi dengan LET yang rendah, dalam satuan jumlah molekul/spesies yang terbentuk untuk setiap 100 eV energi radiasi yang diserap [4]. Nilai g diperoleh dari hasil eksperimen dari suatu radiasi tertentu terhadap suatu medium.

Tabel 1. Nilai g untuk air pH netral pada suhu kamar dengan LET radiasi rendah

Spesies primer	$E_{\text{aq}}^-$	H	OH	$\text{H}_2$	$\text{H}_2\text{O}_2$	$\text{HO}_2/\text{O}_2$
Nilai g (#/100eV)	2,63	0,55	2,72	0,45	0,68	0,008

#### Code MCNP [5]

MCNP adalah code serba guna berbasis metode monte carlo yang dapat digunakan untuk simulasi transport neutron, foton, elektron, atau kombinasi neutron/foton/elektron, yang juga mencakup kemampuan untuk menghitung *eigenvalue* untuk kekritisan sistem. Data tampang lintang yang digunakan adalah kontinyu. Untuk neutron semua jenis reaksi disediakan oleh data nuklir ENDF/B. Neutron thermal dimodelkan baik sebagai gas bebas atau model  $S(\alpha,\beta)$ . Untuk foton, code MCNP menyediakan hamburan koheren dan inkoheren, dan kemungkinan emisi fluoresensi setelah penyerapan fotolistrik, penyerapan pada produksi pasangan dengan emisi lokal radiasi anihilasi, dan bremsstrahlung.

Fitur standar MCNP yang penting mencakup sumber umum, sumber kekritikalitas, dan sumber permukaan, fasilitas plotter baik untuk geometri dan tally output, teknik reduksi varians, susunan tally yang fleksibel, dan koleksi data tampang lintang yang masif.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

MCNP menyediakan tujuh jenis standar tally, yang mencakup tujuh jenis standar tally neutron, enam jenis standar tally foton, dan empat jenis standar tally elektron. Semua tally dasar tersebut dapat dimodifikasi oleh pengguna sesuai kebutuhan. Semua hasil tally dinormalisir per partikel awal, kecuali dalam perhitungan kritikalitas KCODE, yang dinormalisir terhadap per generasi neutron fisi [5]. Berikut adalah standar tally yang disediakan oleh MCNP.

Tabel 2. Standar tally yang disediakan oleh code MCNP

Tally				Arti fisis	satuan
F1	F1:N	F1:P	F1:E	Arus permukaan	Partikel
F2	F2:N	F2:P	F2:E	Fluks permukaan	Partikel/cm <sup>2</sup>
F4	F4:N	F4:P	F4:E	Fluks sel berdasarkan estimasi panjang jejak	Partikel/cm <sup>2</sup>
F5	F5a:N	F5a:P		Fluks pada titik atau detektor cincin	Partikel/cm <sup>2</sup>
F6	F6:N	F6:P	F6:N,P	Deposisi energi berdasarkan estimasi panjang jejak	MeV/g
F7	F7:N			Deposisi energi fisi berdasarkan estimasi panjang jejak	MeV/g
F8	F8:N	F8:P	F8:E	Tally tinggi pulsa	Pulsa

Dari ketujuh tally di atas, maka tally F6 adalah yang relevan untuk menghitung laju radiolisis baik oleh radiasi neutron maupun foton. Kuantitas fisis dari tally F6 diformulasikan sebagai:

$$H_t = \frac{\rho_a}{m} \int dE \int dt \int dV \int d\Omega \sigma_t(E) H(E) \Psi(\vec{r}, \hat{\Omega}, E, t) \quad (1)$$

Dimana:

$H_t$  : total energi yang terdeposisi di dalam sebuah sel (MeV/g)

$\rho_a$  : atom-density (atom/barn-cm)

$m$  : masa sel (g)

$\sigma_t$  :ampang lintang mikroskopis total (barn)

$\vec{r}, \hat{\Omega}, E, t$  : Vektor posisi partikel (cm), vektor arah, energi (MeV), dan waktu (sh; 1 sh=10<sup>-8</sup> s)

$\Psi$  : fluks angular

### Tally Perhitungan NPS

Untuk perhitungan NPS, hasil tally dinormalisir terhadap satu sumber partikel awal. Bayangkan suatu sumber radiasi pengion dengan aktivitas **A** cacah/s, melewati suatu medium sel bermasa  $m_c$ . Jika, setiap 100 eV energi radiasi yang diserap oleh sel medium tersebut akan menghasilkan produk radiolisis tertentu sebesar  $g$  atom (molekul). Laju produksi radiolisis dinyatakan sebagai:

$$\dot{R} = A \left[ \frac{\text{cacah}}{s} \right] \left( \frac{g[\text{atom}]m_c[\text{gr}]}{10^{-4}[\text{MeV}]} \right) F_6 \left[ \frac{\text{MeV}}{\text{gr}} \right] \quad (2)$$

$\dot{R}$  dalam satuan atom/s atau molekul/s. Dengan demikian, laju proses radiolisis berbanding lurus dengan aktivitas sumber dan jenis radiasinya.

### Tally Perhitungan KCODE

Untuk perhitungan KCODE, hasil tally ternormalisir terhadap sumber neutron fisi. Jika suatu sistem kritikalitas menghasilkan daya  $P$ , maka akan terjadi reaksi fisi sebanyak  $P/w_f$ , dimana  $w_f$  adalah energi efektif yang dilepaskan per fisi. Walaupun harga  $w_f$  bervariasi, nilainya berkisar pada 198 MeV untuk kondisi ajeg. Setiap reaksi fisi akan melepaskan neutron baru sebanyak  $\bar{\nu}$ , maka dalam sistem kritis akan menghasilkan

neutron sebanyak  $\bar{P}\bar{v}/w_f$  neutron. Sehingga faktor normalisasi untuk tally pada perhitungan KCODE adalah [6]:

$$S = \frac{P[W]\bar{v}\left[\frac{\text{neutron}}{\text{fisi}}\right]}{\left(1,6022 \times 10^{-13} \frac{J}{MeV}\right) \cdot w_f \left[\frac{MeV}{\text{fisi}}\right]} \quad (3)$$

Persamaan (3) berlaku untuk sistem yang kritis ( $k_{eff} = 1.0$ ). Untuk sistem subkritis atau superkritis, belum mencakup efek perlipatan neutron. Karena reaksi fisi diperlakukan sebagai serapan, maka persamaan (3) harus dikalikan dengan  $1/k_{eff}$ , sehingga untuk sistem subkritis atau superkritis faktor pengali tally menjadi:

$$M = \frac{P[W]\bar{v}\left[\frac{\text{neutron}}{\text{fisi}}\right]}{\left(1,6022 \times 10^{-13} \frac{J}{MeV}\right) \cdot w_f \left[\frac{MeV}{\text{fisi}}\right]} \cdot \frac{1}{k_{eff}} \quad (4)$$

Jumlah energi yang diserap oleh medium yang dilewati radiasi pengion adalah:

$$E = F6 \left[\frac{MeV}{gr}\right] \cdot m_c [gr] \quad (5)$$

Jika setiap 100 eV energi yang diserap oleh medium yang dilewati akan menghasilkan  $g$  atom (molekul) suatu spesies (misal  $H_2$ ), maka laju produksi atom (molekul) produk radiolisis spesies tersebut adalah:

$$\dot{R} = \frac{P\bar{v}}{\left(1,6022 \times 10^{-13}\right) w_f} \cdot \frac{1}{k_{eff}} \cdot \left(\frac{g \cdot m_c}{10^{-4}}\right) \cdot F6 \quad (6)$$

$\dot{R}$  dalam satuan atom/s atau molekul/s.

Dari persamaan (6) dapat ditarik rasionalitas bahwa laju radiolisis berbanding lurus dengan daya fisi dari sistem kekritisan dan jenis radiasi pengion (nilai  $g$ ), serta berbanding terbalik dengan faktor perlipatan neutron dan energi yang dilepaskan per fisi. Tally F6 pada persamaan tersebut berlaku untuk neutron maupun sinar  $\gamma$ . Sehingga total laju radiolisis dari fluks neutron dan radiasi  $\gamma$  pada reaktor kondisi fresh (tanpa memperhitungkan sinar  $\gamma$  dari produk fisi) adalah:

$$\dot{R} = \frac{P\bar{v}}{\left(1,6022 \times 10^{-13}\right) w_f} \cdot \frac{1}{k_{eff}} \cdot \left(\frac{m_c}{10^{-4}}\right) \cdot [F_6^n + F_6^\gamma] \quad (7)$$

Sedangkan untuk radiolisis akibat radiasi sinar  $\gamma$  yang berasal dari produk fisi dapat dihitung dengan Persamaan (2). Dalam hal ini aktivitas dan spektrum energi  $\gamma$  dari produk fisi harus dihitung terlebih dahulu.

## KESIMPULAN

Konsep perhitungan laju radiolisis telah dirumuskan dengan memanfaatkan kombinasi tally F6 dari Code MCNP dan nilai  $g$  dari data eksperimen. Untuk tally perhitungan NPS, faktor normalisasi diturunkan dari aktivitas sumber. Sedangkan untuk tally perhitungan KCODE, faktor normalisasi diturunkan dari daya fisi system kritikalitas.

Untuk tally perhitungan NPS, laju radiolisis sebanding dengan aktivitas sumber dan jenis radiasinya. Sedangkan untuk tally perhitungan KCODE, laju radiolisis sebanding dengan daya fisi dan jenis radiasinya serta berbanding terbalik dengan faktor pelipatan neutron.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada segenap manajemen BAPETEN yang telah menyediakan fasilitas, pendanaan dan kesempatan hingga makalah ini bisa selesai.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. E. Dzaugis, A. J. Spivack, and S. D. Hondt, "A quantitative model of water radiolysis and chemical production rates near radionuclide-containing solids  $x$ ," *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 115, pp. 127–134, 2015.
- [2] S. Le Caër, "Water Radiolysis: Influence of Oxide Surfaces on H<sub>2</sub> Production under Ionizing Radiation," *Water*, vol. 3, pp. 235–253, 2011.
- [3] S. L. Butarbutar, R. Kusumastuti, M. Subekti, and G. R. Sunaryo, "Modelling the radiolysis of RSG-GAS primary cooling water," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 962, no. 12055, pp. 1–8, 2018.
- [4] D.M Bartels and C.R Stuart, "The reaction Set, Rate Constants and  $g$ -Values for the Simulation of the Radiolysis of Light Water over the Range 20 to 350 C Based on Information Available in 2008," 2009.
- [5] X-5 Monte Carlo Team, "MCNP — A General Monte Carlo N-Particle Transport Code Version 5." 2003.
- [6] L. Snoj and M. Ravnik, "Calculation of Power Density with MCNP in TRIGA reactor," in *Int. conf. Nuclear Energy for New Europe*, 2006, pp. 1–6.

## DISKUSI/TANYA JAWAB :

### 1. PERTANYAAN :

Apakah laju radiolisis dapat dihitung tanpa data eksperimen? MNCP itu singkatan apa?

### JAWABAN :

Tanpa data eksperimen tidak bisa dihitung laju radiolisis, hanya laju energi yang diserap oleh medium saja yang bisa dihitung oleh MNCP code. MNCP adalah Monte Carlo N-Particle

### 2. PERTANYAAN :

Mengapa laju radiolisis berbanding terbalik dengan Keff?

### JAWABAN :

Laju radiolisis berbanding terbalik dengan Keff karena proses fisi diperlakukan sebagai proses penyerapan neutron

## PROFIL GELOMBANG GESER AREA REAKTOR DI TAPAK RDE, SERPONG

Eko Rudi Iswanto, Hadi Suntoko, Theo Alvin Ryanto, Abimanyu Bondan

*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir - BATAN*

*email: ekorudi@batan.go.id*

### ABSTRAK

#### PROFIL GELOMBANG GESER AREA REAKTOR DI TAPAK RDE, SERPONG.

Keberterimaan suatu tapak fasilitas nuklir dari semua bahaya eksternal harus didemonstrasikan, tidak terkecuali dari aspek kegempaan. Tapak RDE di Serpong terletak pada daerah dengan intensitas kegempaan sedang hingga tinggi. Gempa bumi dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan hingga infrastruktur yang ada. Kerusakan yang diakibatkan gempa bumi selain tergantung pada kualitas bangunan, besarnya magnitudo dan jarak gempa juga tergantung dari karakteristik dinamik bawah permukaan yang berupa profil kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ). Salah satu metode tidak langsung yang digunakan dalam mengestimasi  $V_s$  adalah melalui teknik mikrotremor array dan metode *Spatial Auto Correlation* (SPAC). Metode ini sangat efektif dari segi waktu dan biaya. Penelitian ini bertujuan menghitung  $V_s$  pada area reaktor di Tapak RDE. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaktor terletak pada formasi Bojongmanik yang terdiri dari batuan sedimen yang diendapkan pada lingkungan *lagoon-marine* berupa batupasir, batulempung dan sedikit batugamping. Kolom stratigrafi tanah dimodelkan menjadi lima lapisan tanah dengan  $V_s$  bervariasi dari 190 m/dt hingga 667 m/dt. Besarnya nilai  $V_s$  untuk kedalaman 30 m adalah 286,6 m/dt dan nilai  $N_{SPT}$  rata-rata 40,6 maka klasifikasi tanah disekitar reaktor berdasarkan SNI 1726-2012 termasuk dalam klasifikasi Tanah Sedang.

Keyword: tapak, mikrotremor array, metode SPAC

### ABSTRACT

#### SHEAR WAVE VELOCITY PROFILE OF REACTOR AT RDE SITE, SERPONG.

Assessment of a nuclear facility site from external hazards including seismicity aspect must be demonstrated. RDE site in Serpong is located in an earthquake prone area with moderate to high intensity. This earthquake may cause damage to buildings and surrounding infrastructure. The damage caused by an earthquake depends not only on the quality of the building, the magnitude and distance from the hypocenter but also depends on the dynamic subsurface characteristics in the form of shear wave velocity profile ( $V_s$ ). One method used in estimating  $V_s$  is microtremor array measurement using Spatial Auto Correlation (SPAC) data processing method. This method is very effective in terms of time and cost allocation. This study aims to calculate the  $V_s$  profile of the reactor area on the RDE Site. The results showed that the reactor was located in the Bojongmanik formation consists of sedimentary rocks deposited in the lagoon-marine environment in the form of sandstone, claystone and limestone. Five soil layers was modelled in order to construct a soil stratigraphical column with  $V_s$  varying from 190 m/d<sup>2</sup> to 667 m/dt. The value of  $V_s$  for depth of 30 m is 286 m/s and the average  $N_{SPT}$  is 40.6 so according to SNI 1726-2012 the soil is categorized as medium soil.

Keyword: site, microtremor array, SPAC method

## PENDAHULUAN

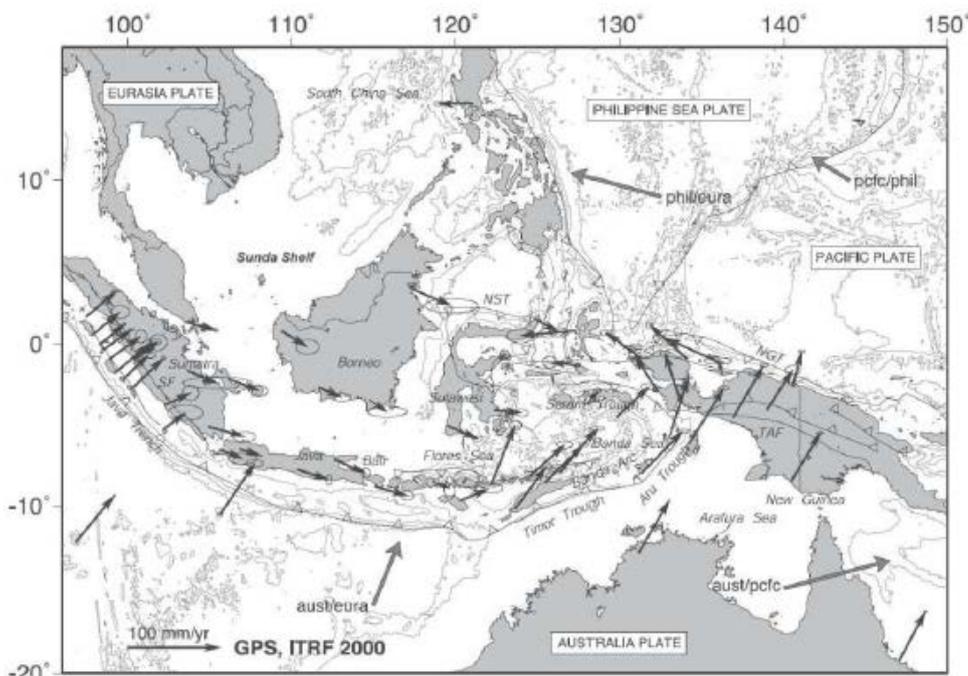
Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang menjadi lokasi rencana pembangunan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) yang selanjutnya disebut sebagai Tapak RDE, hal ini diperkuat dengan telah dikeluarkannya izin tapak dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) pada Januari 2017 [1]. Pada kegiatan sebelumnya telah dilakukan evaluasi tapak dengan mempertimbangkan beberapa aspek yaitu meliputi aspek kegempaan, aspek kegunungapian, aspek geoteknik dan pondasi, aspek meteorologi, aspek hidrologi, aspek kejadian akibat ulah manusia hingga aspek dispersi dan distribusi penduduk [1].

Tapak RDE terletak di daerah Gempa Bumi Indonesia No. VI area Jawa Barat dan merupakan daerah dengan percepatan tanah yang sangat dipengaruhi oleh patahan Cimandiri sehingga perlu kajian mendalam atas keberterimaan tapak dari semua bahaya eksternal khususnya aspek kegempaan. Profil gelombang geser ( $V_s$ ) adalah parameter penting dalam perhitungan amplifikasi tapak yang disebabkan oleh gempa [2]. Estimasi nilai  $V_s$  dapat diperoleh secara langsung dari analisis data bor geoteknik, survei geofisika dan uji laboratorium. Namun demikian metode langsung tersebut akan banyak membutuhkan waktu dan juga biaya. Salah satu pendekatan secara tidak langsung dalam mengestimasi  $V_s$  dapat dilakukan dengan menggunakan survei mikrotremor array [3,4]. Survei ini sangat efektif terhadap alokasi waktu dan biaya. Penelitian kali ini bertujuan menghitung nilai kecepatan gelombang geser sebagai parameter penting dalam memahami karakteristik tapak [5].

## KONDISI GEOLOGI TAPAK

Tapak RDE Serpong terletak di Daratan Sunda, di antara lempeng Eurasia dengan pergerakan ke arah tenggara sebesar 0,4 cm/tahun dan lempeng Samudera Indo-Australia dengan pergerakan ke arah utara sebesar 7 cm/tahun. Kedua lempeng ini bersama dengan lempeng Pasifik berinteraksi dengan menghasilkan salah satu zona aktif tektonik paling kompleks di bumi. Hal ini ditandai dengan adanya aktivitas kegunungapian dan kegempaan yang realtif cukup tinggi. Catatan kegempaan menyebutkan bahwa telah terjadi beberapa kejadian gempa besar dengan magnitudo diatas 7 ( $M > 7$ ). Sebagai contoh adalah gempa dengan magnitudo 9.1 yang terjadi di Samudra Hindia pada 26 Desember 2004 yang lalu.

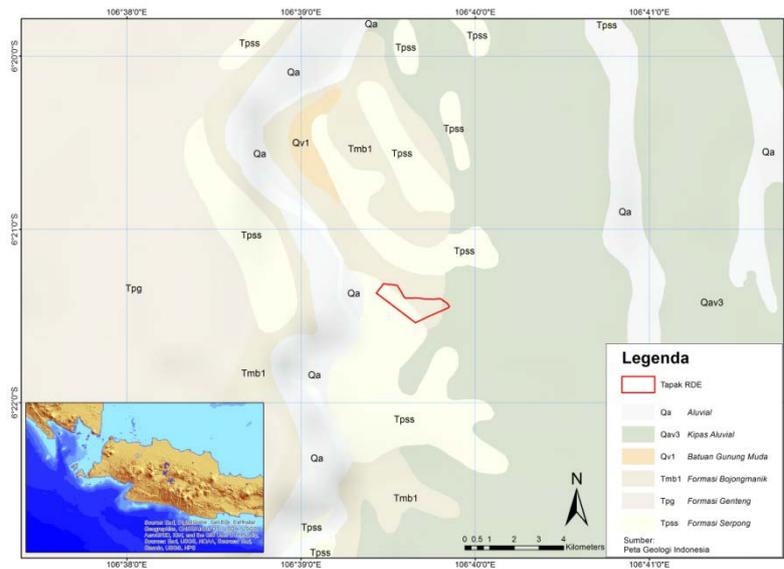
Skenario kinematik atau kecepatan realtif vektor lempeng memberikan informasi gerakan relatif dari Daratan Sunda dan sekitarnya ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Skenario Kinematik Daratan Sunda dan Sekitarnya

Secara geologi, batuan-batuan di Tapak RDE merupakan bagian dari produk gunungapi muda Gunung Gede Salak. Batuan tersebut tersusun oleh Formasi Serpong

(Tpss), Formasi Bojongmanik (Tmb1), Formasi Genteng (Tpg), Aluvial (Qa), Kipas Aluvial (Qav3) dan Batuan Gunung Muda (Qv1) sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian

a. Formasi Serpong (Tpss)

Formasi Serpong disusun oleh perselingan tuff kasar dengan konglomerat batuapung, putih terang, terbuka, sortasi baik, dominan matriks, fragmen batuapung berukuran 2-5cm, matriks tuff kasar, perselingan dengan tuff kasar, kontak berangsur, memiliki arah jurus dan kemiringan perlapisan N 130 E/7.

b. Formasi Bojongmanik (Tmb1)

Formasi Bojongmanik disusun oleh perselingan batupasir, batulempung dan batugamping. Batugamping, abu-abu putih, terang, sangat keras, kristalin, perselingan dengan batugamping pasiran, terdapat sisipan batupasir, abu-abu gelap, karbonan, pasir sedang sampai kasar, memiliki ketebalan sekitar 20 cm, memiliki arah jurus dan kemiringan perlapisan N 35° E/20 dan di beberapa tempat terdapat lapisan tipis karbonan atau lignit.

c. Formasi Genteng (Tpg)

Formasi Genteng didominasi oleh batuan hasil produk vulkanik dan lapukannya sangat khas berwarna merah sampai merah kecoklatan, dan menunjukkan perlapisan mendatar sebagai hasil dari perulangan material vulkanik yang diendapkan di daerah darat atau litoral. Formasi Genteng ini disusun oleh tuff, coklat-coklat tua, tuff halus, tuff kasar dan lapilli, berlapis horisontal, antara yang kasar dan halus, scoria dan batuapung, pelapukan sedang-tinggi.

d. Aluvial (Qa)

Endapan sungai banyak ditemukan disepanjang aliran Sungai Cisadane dan sungai kecil di sekitarnya dengan material penyusun berupa lempung, lanau, pasir, kerikil, kerakal dan bongkah.

e. Kipas Aluvial (Qav3)

Kipas Aluvial merupakan material hasil pengendapan dari material vulkanik yang sebelumnya ada dan terendapkan (rework) secara mengalir mulai dari arah selatan ke utara mengikuti landaian topografinya. Kipas aluvial disusun oleh konglomerat, tuff, dan batupasir.

f. Batuan gunung muda (Qv1)

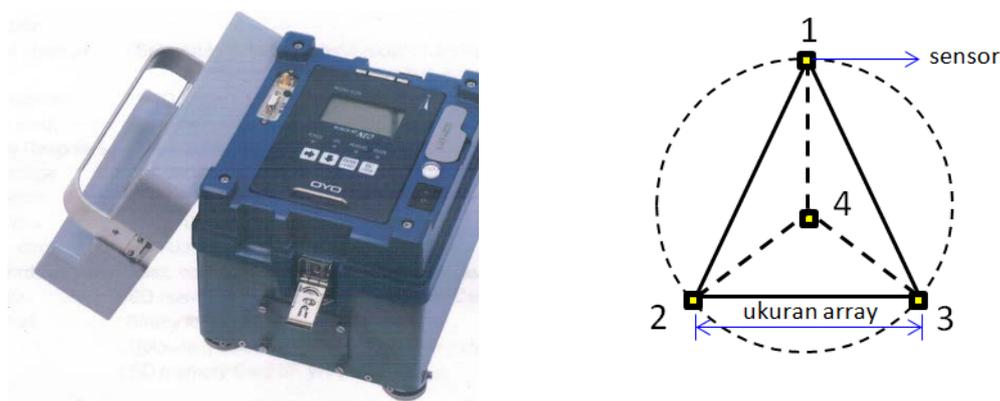
Batuan gunung muda disusun oleh breksi vulkanik, abu-abu kehitaman, dominan matriks, komponen kerakal-bongkah, monomik, terdiri atas basalt, pemilahan buruk, porositas sedang dan tuff, putih kekuningan-kemerahan, halus, kekerasan sedang.

Secara umum, gelombang gempa yang merambat pada tanah dengan kondisi geologi berupa endapan atau sedimen yang tebal akan mengalami amplifikasi.

## METODOLOGI

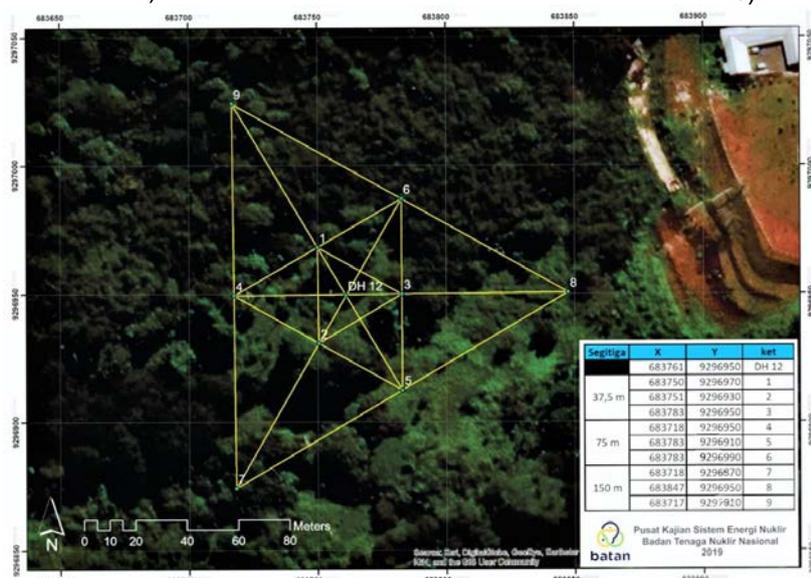
### Akuisisi Data

Pengukuran mikrotremor memanfaatkan getaran sekitar yang bersifat tetap dengan sumber energi yang dapat berasal dari aktivitas manusia dengan frekuensi  $f \geq 1$  Hz atau juga kejadian alam dengan frekuensi  $f \leq 1$  Hz [6]. Kegiatan pengukuran mikrotremor yang telah dilakukan pada Januari 2019 bertujuan mengumpulkan data mikrotremor disekitar reaktor, Tapak RDE. Data ini akan digunakan untuk mengestimasi ulang (konfirmasi) struktur gelombang geser ( $V_s$ ) hasil dari lapisan tanah dangkal penelitian sebelumnya guna analisis pengaruh tapak lanjutan. Beberapa metode pengolahan data hasil pengukuran mikrotremor telah dikembangkan yaitu antara lain *Spatial Autocorrelation* atau *Spatially Averaged Coherency Spectra Method* (SPAC), *Frequency-wavenumber Method* (FK) atau *Multiple Signal Classification Method* (MUSIC) [6,7,8]. Pengambilan data mikrotremor array dilakukan dengan menggunakan 4 (empat) peralatan mikrotremor tipe McSEIS-MT NEO merk OYO yang memiliki sensor Servo-Accelerometer lengkap beserta GPS sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.a. Alat ini memiliki jangkauan rentang respon frekuensi antara 0,1 - 200 Hz. Sedangkan untuk konfigurasi alat dapat dilihat pada Gambar 3.b. yaitu menggunakan array segitiga dimana 1 (satu) sensor diletakkan di tengah dan 3 (tiga) sensor lainnya diposisikan secara melingkar. Besarnya resultan dari kurva  $V_s$  dapat dicari di pusat segitiga (tengah). Pengolahan data hasil pengukuran dilanjutkan dengan perangkat lunak SeisImager.



a).

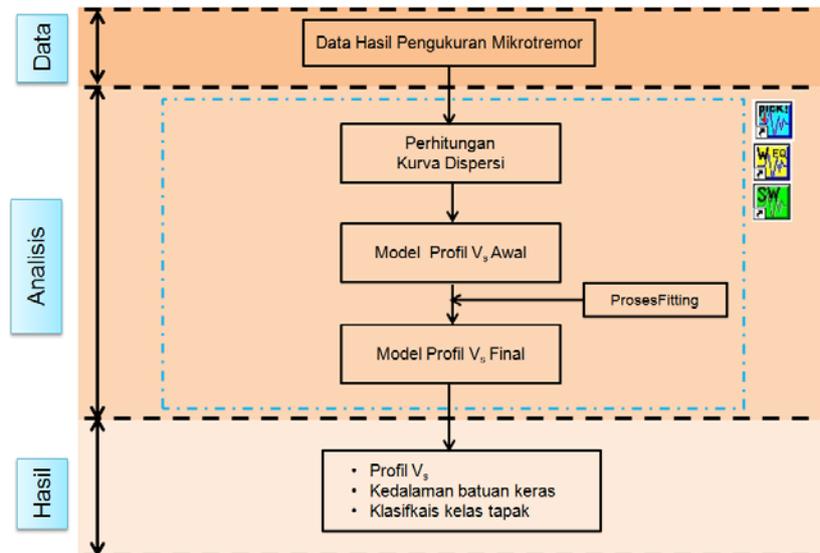
b).



c).

Gambar 3. a). Peralatan mikrotremor tipe McSEIS-MT NEO merk OYO yang digunakan dalam penelitian, b). Konfigurasi peralatan mikrotremor, angka menunjukkan lokasi sensor dan c). Peta lokasi pengukuran mikrotremor array

Ukuran array adalah sama dengan jarak sisi luar antar sensor, umumnya didesain dengan mempertimbangkan target kedalaman dari lapisan dibawah permukaan. Pada pengukuran kali ini digunakan array dengan ukuran 150 m, 75 m dan 37,5 m untuk mengestimasi lapisan tanah. Pencatatan data dilakukan selama 1 jam untuk array yang panjang sedangkan 30 menit untuk array yang lebih pendek. Data hasil pengukuran akan didigitasi dengan interval sampel 0,01 detik, kemudian dibagi menjadi beberapa blok yang terdiri dari 16.384 sampel setiap blok untuk digunakan dalam pengolahan data. Gambar 4 menunjukkan diagram alir analisis kecepatan gelombang geser.



Gambar 3. Metodologi analisis kecepatan gelombang geser

### Metode SPAC

Pada pengambilan data dilapangan, metode SPAC mempertimbangkan penggunaan konfigurasi array dengan bentuk lingkaran. Data hasil pengukuran mikrotremor dari masing-masing sensor ini masih dalam bentuk domain waktu sehingga perlu ditransformasikan kedalam domain frekuensi [9,10,11]. Kemudian korelasinya dihitung untuk tiap pasangan sensor. Dalam hal frekuensi dari gelombang harmoni suatu getaran alami (*ambient noise harmonic waves*) atau  $\omega$ , dengan kecepatan bentuk gelombang  $u(0,0,\omega,t)$  dan  $u(r,\theta,\omega,t)$  yang diamati secara bersamaan pada pusat array  $C(0,0)$  dan pada titik pengamatan  $X(r,\theta)$  dari array, fungsi SPAC dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\phi(r,\theta,\omega) = \overline{u(0,0,\omega,t) \times u(r,\theta,\omega,t)} \quad (1)$$

dengan  $\overline{u(t)}$  adalah kecepatan rata-rata dari bentuk gelombang dalam domain waktu.

Nilai koefisien SPAC,  $\rho$ , didefinisikan sebagai rata-rata dari fungsi SPAC,  $\phi$ , pada semua arah dari array dengan konfigurasi lingkaran dihitung dengan:

$$\rho(r,\omega) = \frac{1}{2\pi \times \phi(0,\omega)} \int_0^{2\pi} \phi(r,\theta,\omega) d\theta \quad (2)$$

dengan  $\phi(0,\omega)$  adalah fungsi SPAC di pusat  $C(0,0)$  dari array dengan konfigurasi lingkaran. Lebih lanjut persamaan 2 dapat dituliskan kedalam bentuk:

$$\rho(r,\omega) = J_0\left(\frac{\omega \times r}{c(\omega)}\right) \quad (3)$$

dimana  $J_0(x)$  adalah tingkat ke-0 fungsi Bessel dari jenis pertama  $x$  dan  $c(\omega)$  adalah kecepatan fase sebagai fungsi frekuensi  $\omega$ . Dengan menggunakan Transformasi Fourier dari pencatatan sinyal yang sudah diobservasi, koefisien SPAC  $\rho(r,\omega)$  dapat dihitung dalam domain frekuensi sebagai berikut:

$$\rho(r,\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \frac{\text{Re}[S_{CX}(\omega,r,\theta)]}{\sqrt{[S_C(\omega)] \times [S_X(\omega,r,\theta)]}} d\theta \quad (4)$$

dengan  $S_C(\omega)$  adalah densitas spektrum dari sinyal yang terekam pada stasiun C dan  $S_X(\omega,r,\theta)$  adalah densitas spektrum dari mikrotremor pada stasiun X, sedangkan  $S_{CX}(\omega,r,\theta)$  adalah perpotongan spektrum antara percepatan tanah dari kedua stasiun tersebut.

### Inversi Kurva Dispersi

Struktur kecepatan gelombang geser diperoleh dengan teknik inversi kurva dispersi [12], [13]. Proses inversi ini dilakukan pada suatu luasan area dengan meminimalkan fungsi misfit  $\Phi$  yang didefinisikan sebagai perbedaan antara kecepatan fase hasil pengamatan  $U_o(T_i)$  dan kecepatan fase hasil perhitungan  $U_c(T_i)$  yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Phi_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{U_o(T_i) - U_c(T_i)}{\sigma(T_i)} \right)^2 \quad (5)$$

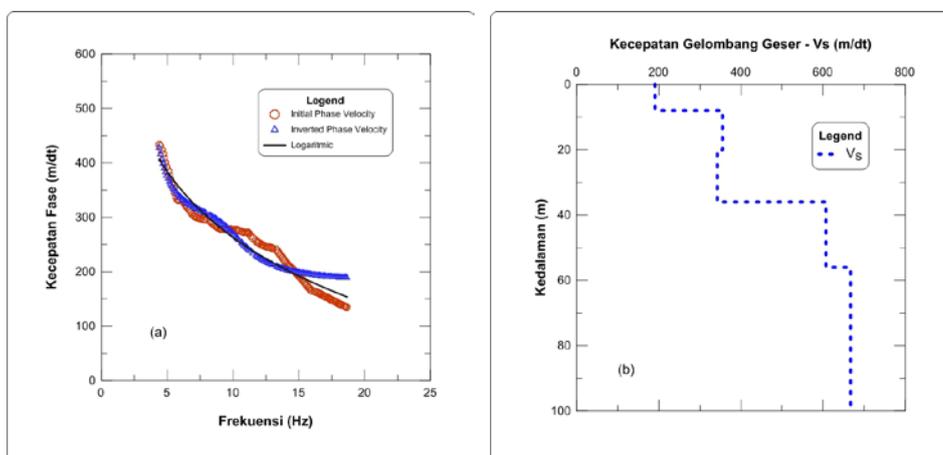
dimana N adalah jumlah data yang diamati dan  $\sigma(T_i)$  adalah deviasi standar dari kecepatan fase hasil pengamatan terhadap periode ( $T_i$ ).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Estimasi Kecepatan Fase atau Kurva Dispersi

Secara geologi, daerah reaktor dan sekitarnya berada pada Formasi Serpong (Tpss), Formasi Bojongmanik (Tmb) dan Formasi Endapan Alluvial (Qav). Formasi Serpong terdiri dari batuan sedimen hasil endapan gunung api yang diendapkan di lingkungan sungai-rawa, berupa batupasir tufa dan konglomerat batuapung, sedangkan Formasi Bojongmanik termasuk didalamnya letak DH11 berada terdiri dari batuan sedimen yang diendapkan pada lingkungan lagoon-marine berupa batupasir, batulempung dan sedikit batugamping, yang relatif lebih keras daripada batuan sedimen hasil endapan gunung api [14,15,16]. Secara fisika, keberadaan material tuff dan fragmen batuapung pada Formasi Serpong akan menyebabkan batuan dengan impedansi akustik yang lebih rendah daripada batuan sedimen pada Formasi Bojongmanik, sehingga akan memiliki nilai  $V_s$  yang relatif lebih rendah juga.

Kecepatan fase dapat diestimasi dengan melihat pola nilai koefisien SPAC atau koherensi pada plot nilai kecepatan fase pada setiap frekuensi. Pola nilai koefisien SPAC pada daerah penelitian di tampilkan dalam grafik kurva dispersi sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 5 (a). Berdasarkan hasil kurva dispersi, dapat dihasilkan nilai kecepatan fase untuk tiap – tiap frekuensi. Pada daerah penelitian, nilai kecepatan fase didapatkan pada rentang frekuensi 1,56 hz hingga 6,25 hz. Nilai kecepatan fase didapati pada rentang 188 m/dt hingga 427 m/dt. Nilai kecepatan fase relatif menurun terhadap besarnya nilai frekuensi karena secara umum, semakin bertambahnya kedalaman batuan akan semakin padat dan keras. Semakin padat batuan akan semakin memperbesar nilai kecepatan fase.



Gambar 4. (a) Kurva Dispersi dan (b) Model Profil Kecepatan Gelombang Geser ( $V_s$ ) DH-11

Kecepatan gelombang geser dapat dimodelkan berdasarkan kurva dispersi yang telah didapat. Nilai kecepatan fase pada tiap frekuensi dapat diinversi menjadi nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) pada tiap kedalaman. Gambar 5 (b) menggambarkan model profil kecepatan gelombang geser di DH11. Kolom stratigrafi di titik pengukuran ini dimodelkan dengan lima lapisan tanah dengan nilai  $V_s$  bervariasi dari 190 m/dt - 667 m/dt. Lapisan pertama dengan  $V_s \leq 175$  m/dt berada pada kedalaman 8,80 m. Lapisan tanah sangat padat dengan nilai  $350 \text{ m/dt} \leq V_s \leq 750 \text{ m/dt}$  baru dapat dijumpai pada lapisan ketiga setelah kedalaman 36 m. Sedangkan engineering bedrock dengan  $V_s \geq 760$  m/dt tidak dapat ditemukan hingga kedalaman 100 m. Berdasarkan SNI 1726-2012 klasifikasi tanah disekitar DH11 sebagai letak reaktor termasuk kedalam Tanah Sedang dengan nilai kecepatan gelombang geser ( $V_s$ ) untuk kedalaman 30 m adalah 286,6 m/dt dan nilai NSPT rata-rata 40,6.

## KESIMPULAN

Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa titik bor DH11 sebagai calon lokasi reaktor terletak pada formasi Bojongmanik terdiri dari batuan sedimen yang diendapkan pada lingkungan *lagoon-marine* berupa batupasir, batulempung dan sedikit batugamping. Pemodelan dengan asumsi lima lapisan tanah mendapatkan model kolom stratigrafi tanah dengan  $V_s$  bervariasi dari 190 m/detik hingga 667 m/detik. Sedangkan nilai  $V_s$  untuk kedalaman 30 m adalah 286,6 m/detik. Klasifikasi tanah disekitar titik lokasi reaktor (DH 11) berdasarkan SNI 1726-2012 termasuk dalam klasifikasi Tanah Sedang.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada PKSEN-BATAN yang telah memfasilitasi penggunaan peralatan, dana dan data dalam penelitian ini. Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan Izin Tapak RDE khususnya aspek kegempaan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] BATAN, "Laporan Evaluasi Tapak RDE Aspek Geoteknik dan Pondasi," Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Jakarta, Indonesia, (2016).
- [2] Saita et al, "On Relationship Between The Estimated Strong Motion Characteristics Of Surface Layer And The Earthquake Damage," in 13 th World Conference on Earthquake Engineering, no. 905, pp. 1-7, (2004).
- [3] Yamanaka, H. & Yamada, N., "Estimation of 3D S-wave Velocity Model of Kanto Basin Japan Using Rayleigh Wave Phase Velocity, Bulletin of the Earthquake Research Institute, University of Tokyo, 81, Hal. 295-301, (2006)
- [4] Suntoko, H., Sriyana, "Penentuan Kedalaman Batuan Dasar Menggunakan *Microtremor Array* Di Tapak RDE Serpong", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, Vol. 18, No. 2, Hal 87-92, (2016).
- [5] Chimoto et al, "Estimation of shallow S-wave velocity structure using microtremor array exploration at temporary strong motion observation stations for aftershocks of the 2016 Kumamoto earthquake," Earth, Planets and Space, 68:206, (2016).
- [6] Y. Ono., J. Kiyono., R. P. Rusnardi., and T. Noguchi., "Microtremor observation in Padang city, Indonesia to estimate site amplification of seismic ground motion, Proc. of International Symposium on a Robust and Resilient Society against Natural Hazards and Environmental Disasters and the third AUN/SEED-Net Regional Conference on Geodisaster Mitigation, pp.386-391, (2010).
- [7] T. Noguchi, T. Horio, M. Kubo, Y. Ono, J. Kiyono, T. Ikeda and P. R Rusnardi., Estimation of Subsurface Structure in Padang, Indonesia by Using Microtremor Observation, Report on Earthquake Disaster Prevention Field, Tono Research Institute of Earthquake Science, Seq. No.26, pp.1-16, (2009).
- [8] Claprod, M et al, "Using the SPAC Microtremor Method to Identify 2D Effects and Evaluate 1D Shear-Wave Velocity Profile in Valleys", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 101, No. 2, pp. 826-847, (2011).
- [9] Kuo et al, S-wave velocity structure and site effect parameters derived from microtremor arrays in the Western Plain of Taiwan", Journal of Asian Earth Sciences 128 , pp 27-41, (2016).

- 
- [10]Asten, M. "On bias and noise in passive seismic data from finite circular array data processed using SPAC methods", *Geophysics* 71, no. 6, V153–V162, (2006).
- [11]Karagoz, O et al, " Estimation of shallow S-wave velocity structure and site response characteristics by microtremor array measurements in Tekirdag region, NW Turkey", *Earth Planets and Space* 67:176, (2015).
- [12]Morikawa, H., Sawada, S. & Akamtsu, J., " A Method to Estimate Phase Velocities of Rayleigh Wave Using Microseisms Simultaneously Observed at Two Sites", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94(3), Hal. 961-976, (2004).
- [13]Fachri, M., Djuhaeni, Hutasoit, L.M. & Ramdhan, A.M., "Stratigraphy and Hydrostratigraphy of Ground Water Basin for Jakarta", *Buletin Geology*, 34(3), Hal. 169-189, (2002).
- [14]H. Syaeful, AG, Muhammad, "Interpretasi Lingkungan Pengendapan Formasi Batuan Menggunakan Analisis Elektrofasis di Lokasi Tapak Puspiptek Serpong", *Eksplorium*, Vol 38 No. 1 , pp.29–42, (2017).
- [15]Thein et al, "Estimation of S-wave velocity structure for sedimentary layered media using Microtremor array measurement in Palu City, Indonesia." *Procedia Environmental Sciences* 28, 595-605, (2015).

## **PERTIMBANGAN PARAMETER SUHU PERMUKAAN TANAH DAN POTENSI KEBAKARAN HUTAN DI CALON TAPAK PLTN, PROVINSI KALIMANTAN BARAT**

**Heni Susiati, Hadi Suntoko, Euis Etty Alhakim, Slamet Suryanto**

*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir-BATAN  
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan Jakarta 12710  
email: heni\_susiati@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

**PERTIMBANGAN PARAMETER SUHU PERMUKAAN TANAH DAN POTENSI KEBAKARAN HUTAN DI CALON TAPAK PLTN, PROVINSI KALIMANTAN BARAT.** Telah dilakukan penelitian karakteristik suhu permukaan tanah (LST=*Land Surface Temperature*) dan potensi kebakaran hutan dalam pemilihan tapak PLTN di Kalimantan Barat. Data lingkungan fisik khususnya suhu permukaan tanah dan potensi kebakaran hutan merupakan bagian dari aspek lingkungan, khususnya menyangkut aspek meteorologi, serta merupakan aspek yang harus diidentifikasi dalam proses pemilihan tapak PLTN. Tujuan penelitian adalah melakukan pemetaan dan evaluasi sebaran suhu permukaan tanah di tapak potensial PLTN di pesisir Kalimantan Barat. Metodologi meliputi pengumpulan data sekunder dan interpretasi data suhu permukaan laut dari data penginderaan jauh. Selanjutnya dilakukan identifikasi lebih lanjut terhadap kesesuaian tapak PLTN. Hasil penelitian diperoleh peta sebaran suhu permukaan tanah di 6 (enam) tapak potensial di wilayah pesisir Kalimantan Barat, berkisar antara 20 sampai di atas 30°C. Suhu permukaan tanah dengan nilai di atas 30°C mempunyai potensi terjadinya kebakaran hutan. Kondisi tersebut akan menjadi pertimbangan dalam mempelajari Namun demikian kondisi tersebut menjadi salah satu subkriteria dalam pemilihan tapak terpilih sudah dipertimbangkan dalam memperlihatkan bahwa di wilayah Provinsi Kalimantan Barat, khususnya tapak terpilih PLTN menunjukkan bahwa tapak potensial terpilih tidak berada di lokasi yang mempunyai potensi adanya kebakaran hutan. Namun demikian untuk memastikan daerah pesisir yang potensial sebagai tapak PLTN, diperlukan identifikasi lebih lanjut untuk dapat dipastikan lokasi tapak aman dari potensi bahaya kebakaran hutan.

Kata kunci: LST, PLTN, kebakaran hutan, pra-survei, pemilihan tapak

### **ABSTRACT**

**LAND SURFACE TEMPERATURE PARAMETERS AND FIRE HAZARD POTENTIAL CONSIDERATIONS IN NPP SITE CANDIDATE SELECTION, WEST KALIMANTAN PROVINCE.** Has been carried out research on the characteristics of surface land temperature (LST = Land Surface Temperature) and the potential for forest fires in the selection of NPP sites in West Kalimantan. Physical environmental data, especially land surface temperature and the potential for forest fires, are part of the environmental aspects, especially regarding the meteorological aspects, and must be identified in the process of selecting the NPP site. The purpose of the study was to map and evaluate the distribution of surface temperatures at the potential nuclear power plant on the coast of West Kalimantan. Methodology includes secondary data collection and interpretation of sea surface temperature data from remote sensing data. Furthermore, further identification of the suitability of the NPP site is carried out. The results of the study obtained a map of the distribution of land surface temperature in 6 (six) potential sites in the coastal areas of West Kalimantan, ranging from 20 to above 30°C. Land surface temperatures with values above 30°C have the potential to cause forest fires. These conditions will be considered in the study. However, these conditions become one of the sub-criteria in the selection of selected sites that have been considered in showing that in the area of West Kalimantan Province, especially the PLTN selected site shows that the selected potential site is not located in locations that have the potential for forest fires. However, to ensure a potential coastal area as a nuclear power plant site, further identification is needed to ensure that the location of the site is safe from the potential danger of forest fires etc. and threats.

Keywords: LST, NPP, forest fires, pre-survey, site selection

## PENDAHULUAN

Rencana program PLTN di pesisir Kalimantan Barat diperlukan evaluasi tapak yang komprehensif dari berbagai aspek yang diperlukan dalam evaluasi tapak PLTN sesuai dengan peraturan yang berlaku. Kondisi geomorfologi dan geologi dataran pesisir Kalimantan Barat yang tersusun oleh jenis batuan alluvial dan serta keberadaan yang dominan adanya gambut sehingga menjadi lokasi yang rawan terhadap kebakaran hutan dan lahan (karhutla) dengan keberadaan titik api (hotspot) yang dominan. Lahan gambut merupakan ekosistem yang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, terutama kondisi iklim dan hidrologi [1,2].

Provinsi Kalimantan Barat adalah salah satu wilayah dengan kemunculan titik panas terbanyak di wilayah Indonesia. Hal ini disebabkan Kalimantan Barat memiliki kawasan gambut terluas kedua setelah Kalimantan Timur [1]. Kondisi demikian akan membuat evaluasi tapak PLTN Kalimantan Barat memerlukan kajian yang lebih mendalam pada saat menentukan tapak terseleksi PLTN di Kalimantan Barat. Permasalahan terhadap aspek hidrologi, geoteknik, meteorologi dan kegiatan akibat ulah manusia termasuk juga evaluasi terhadap bahaya (hazard) pada masing-masing aspek yang berpengaruh di wilayah tapak potensial PLTN akan menjadi prioritas dalam evaluasi tapak PLTN. Titik panas merupakan indikator terjadinya kebakaran hutan dan lahan di suatu lokasi yang memiliki suhu relatif lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di sekitarnya [3].

Pada tahap pra survei di wilayah pesisir Kalimantan Barat, untuk mendapatkan tapak yang aman sesuai dengan peraturan yang berlaku baik peraturan dalam negeri maupun peraturan internasional. Suhu permukaan tanah (*Land Surface Temperatur* = LST) merupakan salah satu sub kriteria yang dipertimbangkan dalam melakukan evaluasi keberadaan kemungkinan bahaya yang akan ditimbulkan dalam evaluasi pemilihan tapak PLTN [4,5,6].

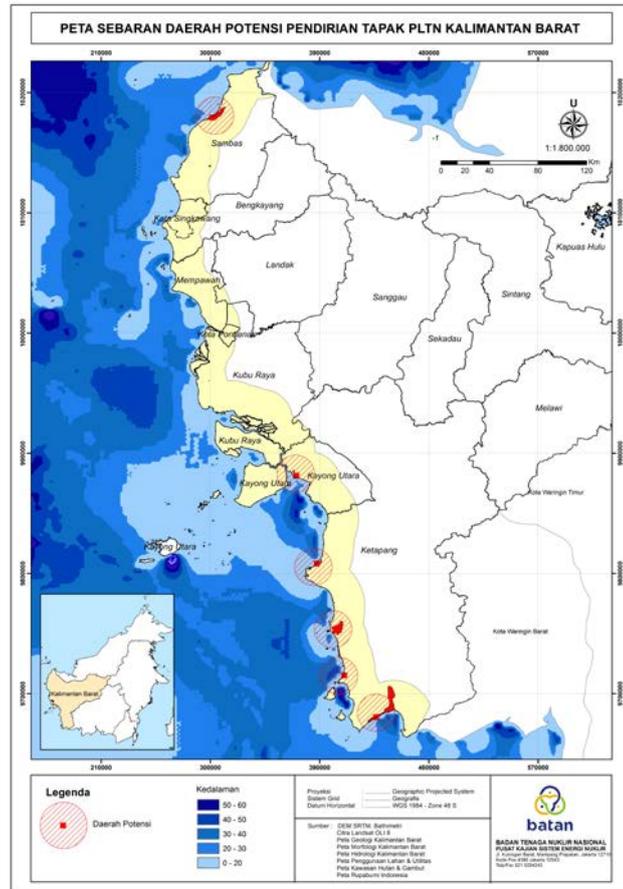
Hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, disebutkan bahwa berdasarkan pola temporal bulanan yang menyatakan frekuensi hotspot terbanyak terhadap waktu, bulan Juni, Juli, Agustus, September dan Oktober merupakan bulan dengan jumlah hotspot terbanyak [3]. Disebutkan juga bahwa titik panas tersebar di daerah yang nilai suhu permukaan tanah juga tinggi. Namun demikian jumlah titik panas berubah-ubah dari waktu ke waktu.

Data ini sangat penting sehingga perkiraan wilayah yang memiliki potensi dilanda kebakaran dapat dipetakan. Penggunaan teknologi penginderaan jauh untuk pemetaan terhadap suhu permukaan tanah dan wilayah yang mempunyai potensi dilanda kebakaran dapat dilakukan dengan cepat sehingga pencegahan selanjutnya dapat dilakukan [1,7].

Tujuan penelitian pemetaan suhu permukaan tanah di wilayah tapak potensial PLTN Kalimantan Barat untuk pelaksanaan evaluasi lebih lanjut terhadap potensi ancaman kebakaran hutan.

## METODOLOGI

Lokasi Penelitian: pesisir di sepanjang pesisir pantai barat Kalimantan Barat, hingga radius 3 km dari pantai ke arah darat, yaitu Kabupaten Sambas, Kayong Utara dan Ketapang. Kegiatannya: pengumpulan data sekunder, pengamatan topografi, konfirmasi lapangan lahan gambut dan keberadaannya, serta dilakukan kajian daya dukung kondisi fisik besarnya suhu permukaan darat di tapak potensial PLTN serta kelayakannya untuk calon tapak.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Tapak Potensial PLTN Kalimantan Barat [8]

Ekstraksi suhu permukaan diperoleh menggunakan citra landsat 8 OLI. Citra landsat memiliki sensor termal pada band 10 dan 11. Kedua band tersebut dapat digunakan untuk mengekstraksi suhu melalui algoritma dan *raster calculate*. Tahapan pertama adalah mengoreksi citra *TOA to Radiance*. Kemudian mengubahnya menjadi suhu satelit. LST (*Land Surface Temperatur*) baru dapat diturunkan menggunakan Algoritma yang juga memasukkan nilai indeks vegetasi yang diwakilkan melalui nilai NDVI.

**1. Alat dan Bahan**

- a. Citra Landsat 8 OLI
- b. Software ArcGIS 10.2  
Menggunakan tools raster calculator

**2. Ekstraksi Suhu Permukaan**

- a. Koreksi Radiometrik  
Koreksi Radiometrik yang dilakukan menggunakan *TOA to Radiance*. Nilai  $M_L$  dan  $A_L$  didapatkan melalui metadata citra landsat 8

$$L_\lambda = M_L Q_{cal} + A_L \tag{1}$$

$$L_\lambda = TOA \text{ to Radiance} \tag{2}$$

$M_L$  = Nilai Radiance Multi Band 10/11 pada metadata  
 $A_L$  = Nilai Radiance Add Band 10/11 pada metadata  
 $Q_{cal}$  = Nilai DN(digital number) pada citra

b. Konversi TOA ke Suhu Temperatur Kecerahan Satelit

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_\lambda} + 1\right)} \quad (3)$$

$T$  = Temperatur Kecerahan Satelit  
 $L_\lambda$  = TOA *spectral radiance*  
 $K_1$  = Konstanta K1 metadata, band x  
 $K_2$  = Konstanta K2 metadata, band x

c. Konversi T ke LST

$$LST (C) = (T/1 + w * (T/P) * \ln(e)) - 273 \quad (4)$$

$T$  = Temperatur kecerahan Satelit  
 $w$  = Nilai DN citra satelit  
 $p$  = 14380  
 $e$  =  $0.004 P_v + 0.986$

$P_v$  didapatkan melalui proportion of vegetation

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}\right)^2 \quad (5)$$

NDVI didapatkan melalui

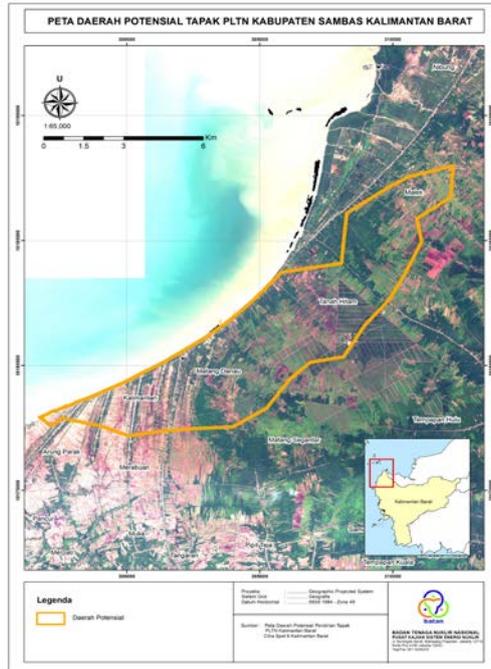
$$NDVI = \left(\frac{Band\ 5 - Band\ 4}{Band\ 5 + Band\ 4}\right)^2 \quad (6)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

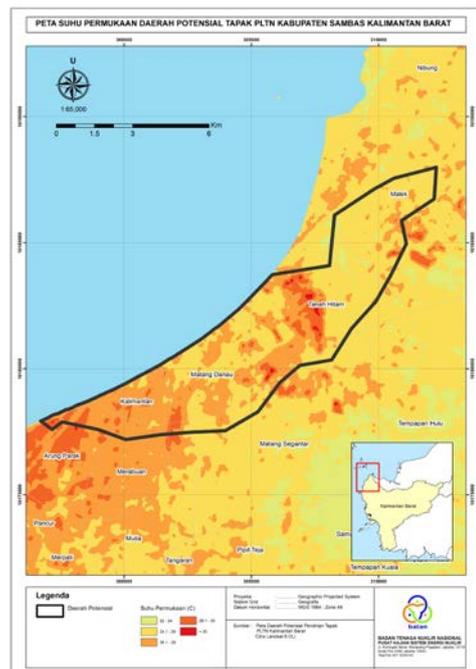
Hasil pemilihan tapak potesial di Kalimantan Barat telah dihasilkan 6 tapak potensial di pesisir Kalimantan Barat [8]. Tapak potensial yang telah diperoleh selanjutnya digunakan sebagai daerah penelitian untuk mendapatkan pola sebaran suhu permukaan tanah. Evaluasi lanjut terhadap suhu permukaan darat diperlukan untuk mendapatkan gambaran lebih lanjut terhadap evaluasi aspek meteorologi dan aspek kejadian akibat manusia di tapak potensial yang diperoleh [8].

Hasil penghitungan suhu permukaan tanah dan pengelompokan sebarannya dari interpretasi data thermal citra satelit pada tahun perekaman tahun 2015. Hasil penafsiran citra satelit, diketahui kondisi suhu permukaan tanah tapak potensial di tapak potensial PLTN diperoleh hasil pemetaan sebagai berikut:

1.

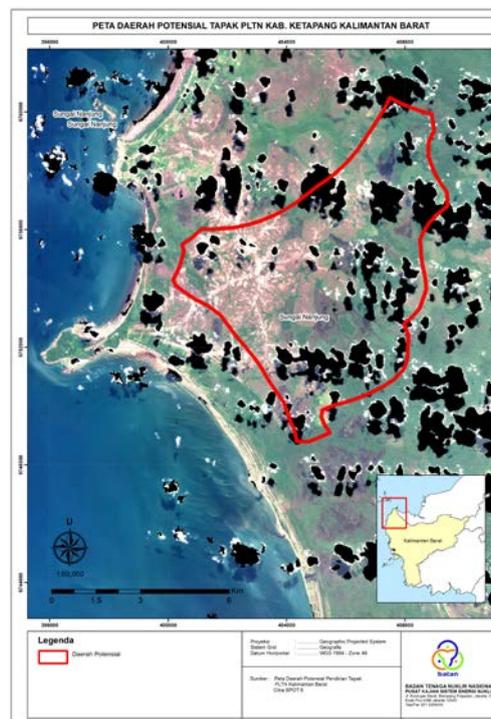


Peta Sebaran Penggunaan Lahan [8]

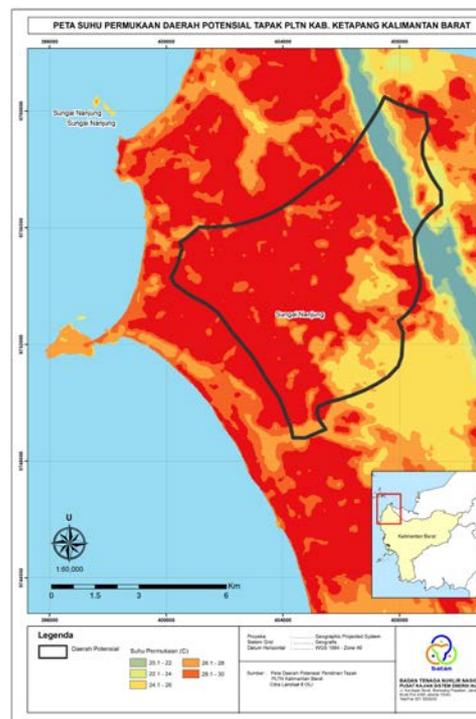


Peta Sebaran Suhu Permukaan Tanah di Desa Matang, Kecamatan Paloh, Kabupaten Sambas

2.

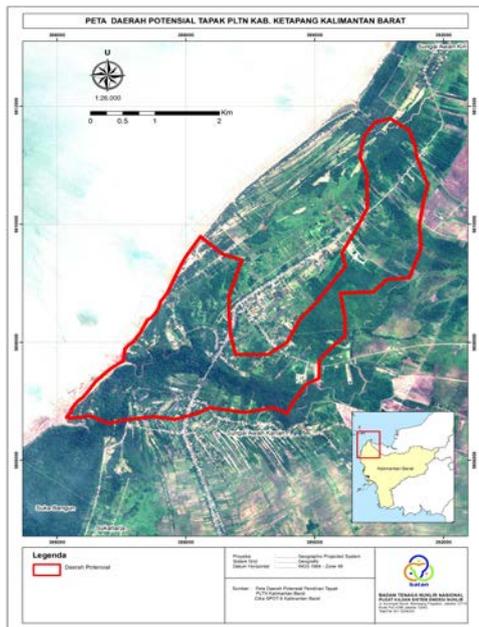


Peta Sebaran Penggunaan Lahan [8]

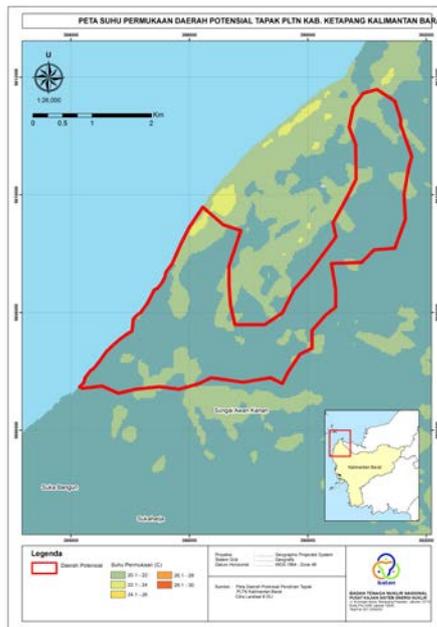


Peta Sebaran Suhu Permukaan Tanah di Desa Sungai Kanar, Kecamatan Muara, Kabupaten Ketapang

3.

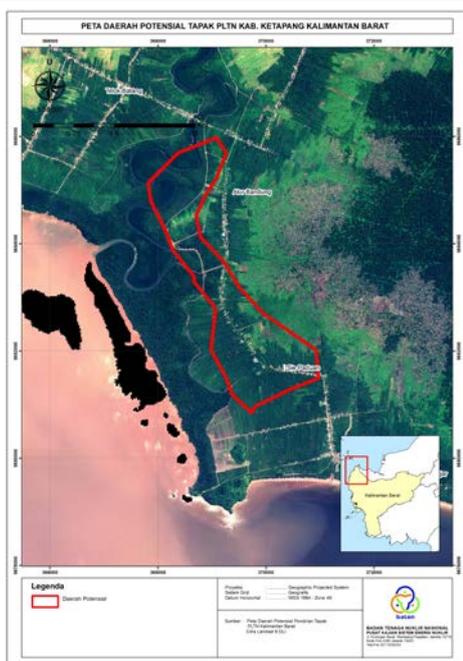


Peta Sebaran Penggunaan Lahan [8]

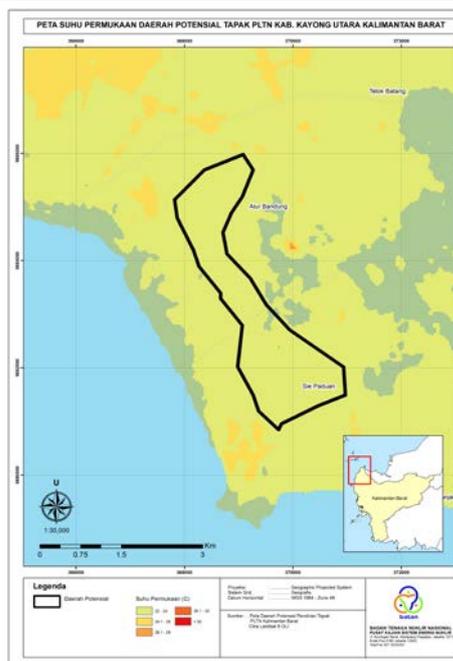


Peta Sebaran Suhu Permukaan Tanah di  
 Desa Sungai Nanjung, Kecamatan Matan,  
 Kabupaten Ketapang

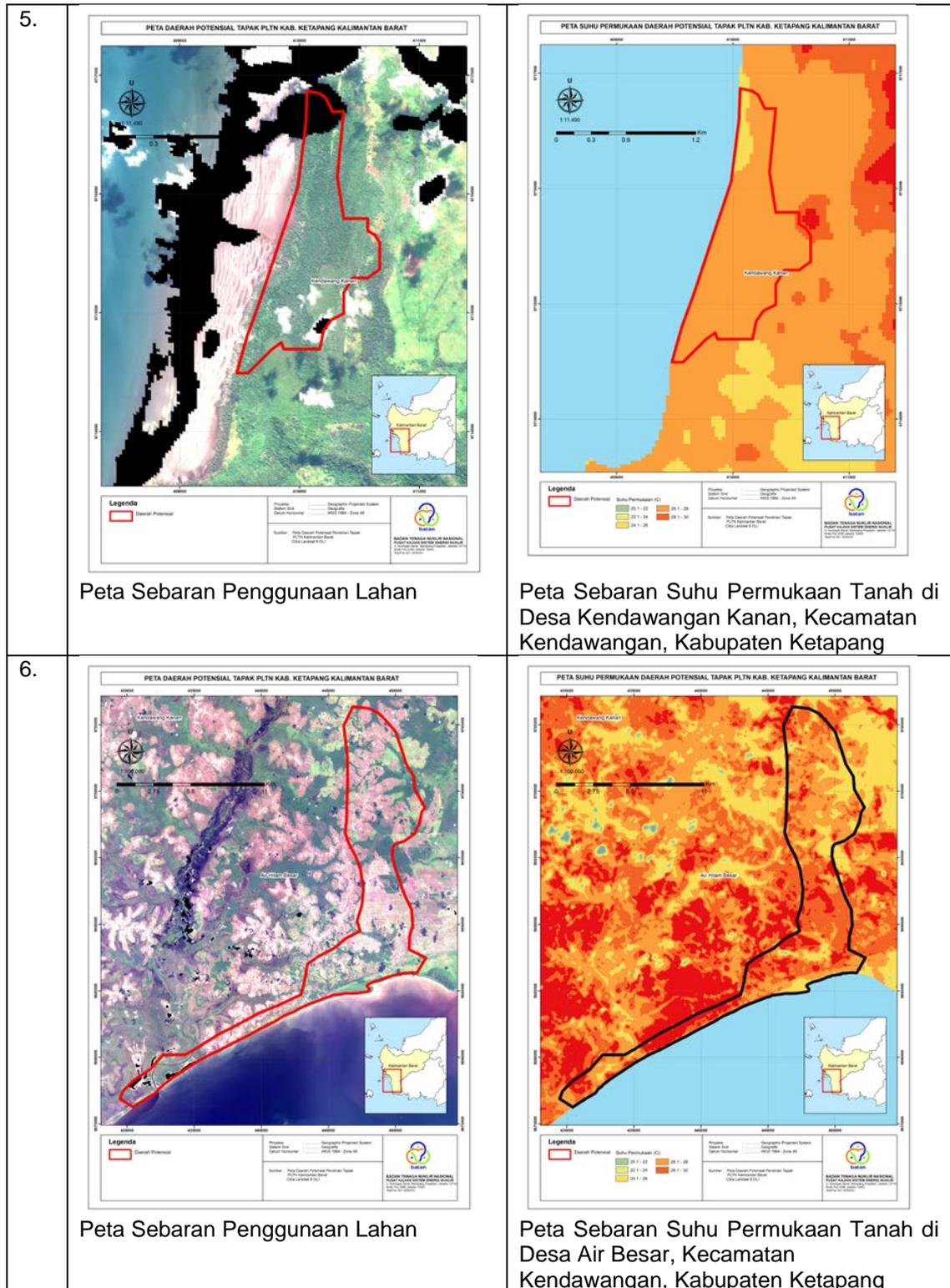
4.



Peta Sebaran Penggunaan Lahan [8]



Peta Sebaran Suhu Permukaan Tanah di  
 Desa Sie, Kecamatan Simpang Hilir,  
 Kabupaten Kayong Utara



Gambar 2. Sebaran Suhu Permukaan Tanah di Tapak Potensial PLTN Kalimantan Barat

Dari interpretasi data Landsat diperoleh pola sebaran suhu permukaan tanah di daerah tapak potensial PLTN. Sebaran suhu permukaan tanah mempunyai nilai antara 20°C sampai di atas 30°C dan ditunjukkan dengan perubahan hijau hingga merah. Suhu permukaan tanah yang bernilai tinggi berada di wilayah lahan terbuka dan dipenuhi dengan sebaran pasir kuarsa, khususnya di wilayah yang merupakan wilayah yang kurang ditutupi oleh vegetasi. Di wilayah tapak potensial PLTN, suhu permukaan tanah tertinggi terdapat di wilayah tapak potensial di Air Hitam Besar, kecamatan Kendawangan dan Desa Sungai Kanan, Kecamatan Muara,

Kabupaten Ketapang. Suhu permukaan tanah yang tinggi di wilayah kajian, dimungkinkan cenderung memiliki kerawanan tinggi yang dapat memicu munculnya titik api (hotspot) di titik tertentu dan rawan terjadi kebakaran [9].

Beberapa referensi menunjukkan bahwa antara suhu permukaan tanah ada hubungan yang kuat dengan penggunaan lahan. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan lahan berpengaruh terhadap suhu permukaan tanah [10]. Hasil interpretasi data Landsat di tapak potensial PLTN juga menunjukkan bahwa tapak potensial di wilayah lahan terbuka mempunyai suhu permukaan tanah yang lebih besar dibanding dengan di tapak potensial dengan wilayah yang sebagian terdapat tanaman.

Banyak referensi yang memaparkan keberadaan hutan rawa gambut di Provinsi Kalimantan Barat, keberadaan gambut yang sebagian besar berupa hutan rawa sekunder masih merupakan hutan rawa primer. Hutan tersebut terdapat di Kabupaten Kubu Raya, Kayong Utara & Ketapang. Umumnya ekosistem hutan rawa sekunder di wilayah kabupaten tersebut terletak di daerah pesisir pantai. Kondisi demikian akan berpengaruh terhadap suhu, dan jumlah kepadatan titik api (hotspot) berdasarkan jenis lahan di Provinsi Kalimantan Barat memiliki keragaman di setiap bulannya. Karena kepadatan titik api (hotspot) di Provinsi Kalimantan Barat sangat bergantung pada luasan jenis lahan baik yang tertutupi titik api (hotspot) maupun yang tidak [11].

Dalam rencana pembangunan PLTN, kondisi karakteristik ekologi sangat penting diperhatikan untuk dievaluasi, termasuk suhu permukaan tanah. Hal ini bertujuan untuk memperkirakan terhadap dampak lingkungan yang akan mempengaruhi PLTN. Mengingat juga penggunaan lahan di Kalimantan Barat adalah dominan gambut. Meskipun dalam pemilihan tapak potensial sudah dipertimbangkan keberadaan yang bebas dari gambut tersebut.

Informasi cuaca yang salah satunya terkait suhu permukaan tanah sebagai salah satu karakteristik ekologi di tapak potensial yang sangat penting diketahui sebagai baseline. Baseline data suhu permukaan tanah di tapak potensial PLTN merupakan data yang dikumpulkan terkait dalam evaluasi bahaya cuaca ekstrem untuk aspek meteorologi. Dalam pertimbangan evaluasi aspek meteorologi diasumsikan bahwa tapak dengan suhu sedang dan konsisten akan menurunkan kecepatan angin dan akan menurunkan kecepatan angin dan akan menurunkan dampak sebagai bahaya eksternal terhadap PLTN

Pembobotan untuk kriteria aspek meteorologi dalam pemilihan tapak PLTN, akan mempunyai dampak dari bahaya ekstrem meteorologi pada operasional PLTN paling kecil. Suhu permukaan tanah sebagai salah satu subkriteria dalam pemilihan tapak PLTN akan mempunyai bobot yang semakin besar. Disamping juga apabila PLTN dibangun, penggunaan lahan di sekitar tapak PLTN agar tetap dijaga sebagaimana mestinya sebagai faktor pengontrol peningkatan suhu permukaan tanah di kemudian hari tetap terjaga [12].

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa lokasi tapak potensial dengan suhu permukaan berkisar antara 20 sampai dengan di atas 30°C. Lokasi tapak PLTN dengan keberadaan penggunaan lahan berupa lahan dengan adanya pasir kuarsa mempunyai nilai suhu permukaan yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan lahan berupa hutan terbuka. Suhu permukaan yang lebih tinggi pada penggunaan lahan dan sekitarnya berupa gambut akan mempunyai potensi kebakaran hutan lebih besar dibandingkan dengan keberadaan lahan berupa non gambut. Data ini akan dijadikan dasar untuk pemilihan tapak tahapan selanjutnya, khususnya untuk evaluasi aspek geoteknik, hidrologi, meteorologi, dan aspek kejadian akibat ulah manusia.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] DENADA RAMADHANIA, Hubungan antara Hotspot dan kebakaran Terhadap Timbulnya Penyakit Infeksi Saluran Pernafasan Akut (ISPA) di Kabupaten Kubu Raya, Kalimantan Barat, Skripsi Departemen Silviculture, Fakultas kehutanan, IPB, Bogor, 2016.
- [2] VAHID EISAVI, AHMAD M. YAZDI, SEYEEDD A. NIKNEZHAD, Spatial and temporal modeling of wetland surface temperature using Landsat-8 imageries in Sulduz, Iran, Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University, ISSN: 0535-8418 e-ISSN: 1309-6257, <http://dergipark.ulakbim.gov.tr/jffiu> - <http://dx.doi.org/10.17099/jffiu.26733>, 2016.
- [3] I DEWA G.A.PUTRA., EKO HERYANTO, ARDHASENA S., RADYAN P. PRADANA, URIP H., Sebaran Spasial dan Temporal Titik Panas (Hotspot) di Indonesia dari Satelit

- Modis dengan Metode Gridding, Prosiding Seminar Nasional Geomatika: penggunaan dan Pengembangan produk Informasi geospasial Mendukung Daya Saing Nasional, BIG dan MAPIN, 2018.
- [4] IAEA Safety Series No. 50-SG-S9, tentang IAEA Safety Guides Site Survey for Nuclear Power Plant-A Safety Guide, IAEA, Viena, 2008.
  - [5] HENI SUSIATI, Pemetaan Suhu Permukaan Laut Menggunakan Data Citra Satelit di Perairan Banten dan Sekitarnya, Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir III, Pusat Pengembangan Energi Nuklir, 2010.
  - [6] DEDE P. WIGUNA, FIFIN SONATA, Kondisi Suhu Permukaan Tanah Wilayah Perkotaan Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 (Studi Kasus: Mebidang), J-SISKO TECH, Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Sistem Komputer TGD, P: ISSN 2621-8976 E-ISSN: 2615-5133, Volume 1, No. 2, Juli 2018, 2018.
  - [7] GIATIKA CHRISNAWATI, Analisa Sebaran Titik Panas dan Suhu Permukaan Daratan Sebagai Penduga Terjadinya Kebakaran Hutan Menggunakan Sensor Satelit NOAA/AVHRR Dan EOS AQUA-TERRA/MODIS, Skripsi Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 2008.
  - [8] HENI SUSIATI, YARIANTO SBS., KURNIA ANZHAR, BANSYAH KIRONI, JUNE MELLAWATI, Aplikasi Data Pengnderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi (SIG) dalam Pemilihan Tapak Potensial PLTN Kalimantan Barat, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, Volume 17 No 2, 2015.
  - [9] SHERLY G. NIVO, Zonasi Tingkat Kerawanan Kebakaran di Lahan Gambut (Studi Kasus: PT> Bumi Sawit Sejahtera-Kalimantan Barat), Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas MIPA, IPB, Bogor, 2017.
  - [10] MERISA NUR AZMI, SITI B. RUSHAYATI, HENDRA GUNAWAN, Peran Taman Kehati Mekarsari dalam Mengantisipasi Kenaikan Suhu Permukaan di Kabupaten Sukabumi, Jurnal Penelitian dan Konservasi Alam, Volume 15 No. 2, Desember 2018.
  - [11] YADISTI EKA PUTRI, Pengembangan Model Prediksi Risiko Kebakaran Hutan dan Lahan di Kalimantan Barat Menggunakan Data Satelit, Skripsi Departemen Geofisika dan meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB, Bogor, 2015.
  - [12] YAN BUDIARTI, Hubungan antara Persebaran Suhu Permukaan dengan Penggunaan Lahan di Kabupaten Sleman Menggunakan Citra Landsat 8 OLI/TIRS, Jurusan Pendidikan Geografi, Fakultas Ilmu Sosial, Universitas Negeri Yogyakarta.

**DISKUSI/TANYA JAWAB :**

**1. PERTANYAAN :**

Apakah kebakaran hutan sebagai faktor penolak?

**JAWABAN :**

Kebakaran hutan dalam evaluasi kejadian akibat kegiatan manusia (aspek KAUM) akan dievaluasi sebagai bahaya eksternal terhadap tapak PLTN. Kebakaran hutan menjadi faktor penolak, khususnya kebakaran gambut di Kalimantan Barat. Dalam pemilihan tapak interest, gambut sudah menjadi kriteria dalam memilih PLTN di Kalimantan Barat.

HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN

## TINGKAT RADIOAKTIVITAS GROSS ALPHA DAN GROSS BETA DALAM SAMPEL AIR LAYANAN UJI SELAMA SEMESTER I TAHUN 2019

Leli Nirwani, Kusdiana, R. Buchari, Evans Azka F  
Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi – BATAN  
Jl. Lebak Bulus Raya No.49, Cilandak, Jakarta Selatan  
Email: lelirwani936@gmail.com

### ABSTRAK

**TINGKAT RADIOAKTIVITAS GROSS ALPHA DAN GROSS BETA DALAM AIR LAYANAN UJI SELAMA SEMESTER I TAHUN 2019.** Telah dilakukan analisis dan pengukuran konsentrasi gross  $\alpha$  dan gross  $\beta$  dalam sampel air layanan Laboratorium Keselamatan Lingkungan, Bidang Radioekologi, PTKMR-BATAN selama semester I Tahun 2019. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui status terkini hasil pengukuran dan analisis gross alpa dan gross beta dalam sampel air layanan selama semester I tahun 2019. Hasil pengukuran dan analisis menunjukkan bahwa tingkat radioaktivitas gross alpha berkisar antara  $>MDC - 0,0058 \pm 0,0012 \text{ Bq/l}$  dengan nilai rerata =  $0,0027 \pm 0,0006 \text{ Bq/l}$ , sedangkan radioaktivitas gross beta berkisar antara  $0,001 \pm 0,0002 \text{ Bq/l} - 0,276 \pm 0,0433 \text{ Bq/l}$  dengan nilai rerata =  $0,2295 \pm 0,0335 \text{ Bq/l}$ . Nilai ini juga masih dibawah nilai yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air dan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 Tanggal 19 April 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Kandungan maksimum gross alpa dalam air adalah  $0,1 \text{ Bq/l}$  dan kandungan maksimum gross beta dalam air adalah  $1 \text{ Bq/l}$ , sehingga dikategorikan bersih dari kontaminasi gross alpha dan gross beta.

Kata kunci: radioaktivitas gross alpha dan gross beta, low background counter, air layanan

### ABSTRACT

**RADIOACTIVITY LEVEL OF GROSS ALPHA AND GROSS BETA IN SERVICE WATER SAMPLES TEST DURING SEMESTER I TAHUN 2019.** An analysis and measurement of gross  $\alpha$  and gross  $\beta$  concentrations in water samples from the Environmental Safety Laboratory service, Radioecology, PTKMR-BATAN during the first semester of 2019. The purpose of this study was to determine the current status of the results of the measurement and analysis of gross alpha and gross beta in servicing water samples during the first semester of 2019. The measurement and analysis results showed that the level of gross alpha radioactivity ranged from  $>MDC \pm 0.0012 \text{ Bq / l}$  with a value of the average =  $0.0027 + 0.0006 \text{ Bq / l}$ , while the gross beta radioactivity ranges from  $0.001 + 0.0002 \text{ Bq / l} - 0.276 + 0.0433 \text{ Bq / l}$  with an average value =  $0.2295 + 0.0335 \text{ Bq / l}$ . This value is also still below the value stated in Government Regulation No. 82 of 2001 concerning Management of Water Quality and Water Pollution Control and Regulation of the Minister of Health Number 492 / Menkes / Per / IV / 2010 April 19, 2010 concerning Requirements for Drinking Water Quality. The maximum content of gross abscess in water is  $0.1 \text{ Bq / l}$  and the maximum content of gross beta in water is  $1 \text{ Bq / l}$ , so it is categorized clean from gross alpha and gross beta contamination.

Keyword: gross alpha radioactivity and gross beta, low background counter, water service

### PENDAHULUAN

Berdasarkan Undang-undang Nomor 25 Tahun 2009 tentang pelayanan publik, Undang-undang yang mengatur tentang prinsip-prinsip pemerintahan yang baik merupakan fungsi pemerintahan itu sendiri. Dalam tugas pokok fungsinya pemerintahan yang baik adalah yang dapat memperkuat demokrasi dan hak asasi manusia, meningkatkan kualitas ekonomi, sosial budaya, mengurangi angka kemiskinan, memperkuat perlindungan terhadap masyarakat dan lingkungan, serta bijak dalam memanfaatkan sumber daya alam sehingga meningkatkan kepercayaan terhadap pemerintah.

Negara berkewajiban melayani setiap warga Negara dan penduduk untuk memenuhi hak dan kebutuhan dasar masyarakat dalam kerangka pelayanan publik yang merupakan

amanat dari Undang-undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945, membangun kepercayaan masyarakat melalui pelayanan publik yang dilaksanakan seiring dengan harapan dan tuntutan masyarakat atas peningkatan pelayanan publik sebagai upaya untuk mempertegas capaian pemerintahan yang baik [1].

Berdasarkan SK Kepala BATAN No. 14 /KA/XI/2013, PTKMR-BATAN mempunyai salah satu tugas yaitu melakukan pelayanan dibidang radioekologi. Hal tersebut juga sesuai dengan TUSI Subbidang Keselamatan Lingkungan adalah melakukan pelayanan analisis pemantauan keselamatan lingkungan tingkat nasional dan sertifikasi tingkat kontaminasi radionuklida diberbagai jenis bahan [2].

Setiap proses peluruhan zat radioaktif dari beberapa jenis nuklida akan memancarkan radiasi misalnya alfa, beta dan gamma. Radionuklida pemancar alfa dan beta dapat berasal dari radionuklida alam dan buatan yang dapat membahayakan kesehatan apabila masuk dalam tubuh manusia dan terakumulasi dalam jumlah besar dapat melalui pernapasan dan rantai makanan.

Salah satu cara untuk melakukan pemantauan konsentrasi radioaktivitas lingkungan dari jatuhnya yang berasal dari atmosfer dilakukan dengan pengukuran konsentrasi radioaktif alfa dan beta menggunakan alat cacah berlatar belakang sangat rendah sistem  $\alpha/\beta$ . dengan menggunakan detektor proporsional dengan aliran gas P-10 (campuran 90% metan dan 10% argon) .

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kandungan maksimum gross alpa dalam air adalah 0,1 Bq/l dan kandungan maksimum gross beta dalam air adalah 1 Bq/l [3].

Air sumber yang digunakan sebagai produk air minum dalam kemasan (AMDK) merupakan salah satu kebutuhan pokok masyarakat saat ini. Sebelum diproduksi sebagai air minum dalam kemasan, air sumber perlu diukur konsentrasi *gross alpa* dan *beta* yang terkandung didalamnya, hal ini sesuai dengan Permenkes 492/Menkes/Per/IV/2010 dimana kadar maksimum yang diperbolehkan dalam air minum, gross alpa =0,1 Bq/l dan gross beta = 1Bq/l [4].

Air merupakan unsur vital bagi kehidupan manusia dan lingkungan. Air juga merupakan salah satu indikator dari pertumbuhan ekonomi dan sosial suatu negara. Oleh karena itu, air bersih menjadi faktor penting bagi kesehatan manusia [5]. Dewasa ini kehidupan masyarakat mengalami banyak perubahan sebagai akibat dari kemajuan yang telah dicapai dalam proses pembangunan dan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang begitu pesat. Pemenuhan kebutuhan air minum sendiri sangat tergantung pada faktor cakupan layanan air minum dan kondisi sanitasi pada masyarakat, baik pedesaan atau perkotaan. Standar kebutuhan air di Indonesia untuk masyarakat pedesaan adalah 60 lt/org/hr, sedangkan untuk masyarakat perkotaan 150 lt/org/hr. Sanitasi juga sangat berperan dalam proses pengelolaan, pendistribusian dan konsumsi air minum pada masyarakat.

Seperti diketahui, kadar air tubuh manusia mencapai 68 persen, dan untuk tetap hidup air dalam tubuh tersebut harus dipertahankan. Kebutuhan air minum setiap orang bervariasi mulai dari 2,1 liter hingga 2,8 liter per hari, tergantung pada berat badan dan aktivitasnya. Namun, agar tetap sehat, air minum harus memenuhi persyaratan fisik, kimia, maupun bakteriologis.

Air adalah semua air yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat (UU RI No. 7 Tahun 2004 Tentang Sumber Air Minum) [6].

Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum (SK Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 907/Menkes/SK/VII/2002) [7]. Sedangkan yang dimaksud dengan air bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum apabila telah dimasak.

## TEORI/POKOK BAHASAN

### Persyaratan Kualitas Air Minum

Adapun persyaratan kualitas air minum yang sering digunakan untuk mengetahui kualitas air minum sehingga layak tidaknya dikonsumsi oleh masyarakat yaitu sesuai dengan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 Tanggal 19 April 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Air minum aman bagi kesehatan apabila memenuhi persyaratan fisika, mikrobiologis, kimiawi, dan radioaktif (Tabel 1).

Tabel 1. Persyaratan radioaktif dalam air minum

No.	Parameter	Satuan	Kadar Maksimum yang diperbolehkan
1	Radioaktivitas		
	1) Gross alpha activity	Bq/l	0,1
	2) Gross beta activity	Bq/l	1

Efek pada sel yang dilintasi oleh sebuah partikel alpha masih kontroversial. Diduga sebagian besar sel yang dilintasi oleh sebuah partikel alpha akan mati akibat deposit energi yang besar dalam inti sel dan kerusakan pada Deoxyribonucleat Acid (DNA). Efek ini dapat bersifat tidak letal dan pada sebagian sel yang terpajan yang dapat bertahan hidup akan mengalami kejadian mutagenik.

Radiasi Alfa merupakan sinar radioaktif yang tidak mempunyai daya tembus, efek yang terjadi lokal. Apabila terdapat sinar ini di lingkungan sekitar, maka dapat menimbulkan kontaminasi radioaktif pada lingkungan, yang dapat mengakibatkan rusaknya sel-sel tubuh manusia yang terkenaanya.

Radiasi Alfa terdapat dalam tanah, di udara, dan juga di air. Karena batuan dasar bumi mengandung jumlah bervariasi dari unsur radioaktif, jumlah radiasi alfa di dalam air juga bervariasi. Sebagai peluruhan unsur radioaktif, radiasi alpha terus dilepaskan ke air tanah. Air tanah merupakan sumber air minum umum. Radiasi alfa dalam air minum dapat berupa mineral terlarut atau dalam kasus radon, sebagai gas.

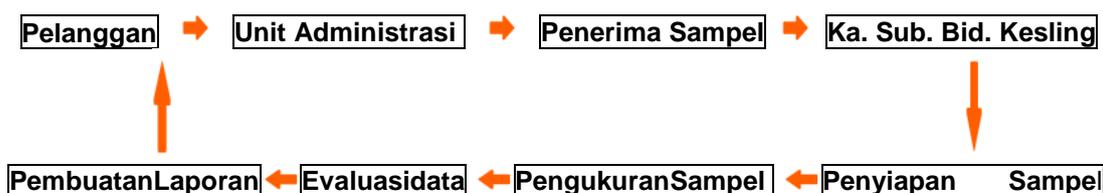
Sinar beta dapat menembus kulit, dalamnya tergantung pada aktifitasnya. Kerusakan yang terjadi dapat lebih luas dan lebih mendalam daripada sinar alpha. Besar sinar ini paling tinggi di dalam air adalah sebesar 1,0 mg/L. Apabila melebihi kadar tersebut efeknya tidak berbeda dengan sinar alfa yaitu menimbulkan kerusakan pada sel-sel tubuh. Jika tubuh banyak menerima sinar beta maka akan menyebabkan luka bakar yang parah. Sinar beta juga menimbulkan kerusakan pada jaringan atau organ tubuh jika unsur yang memancarkan sinar beta berada dalam tubuh dalam waktu yang cukup lama [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan *gross alpha* dan *gross beta* dalam sampel air layanan Laboratorium Keselamatan Lingkungan, Bidang Radioekologi, PTKMR-BATAN selama semester I Tahun 2019.

Sesuai dengan Undang-undang Nomor 25 Tahun 2009 tentang pelayanan publik, Undang-undang yang mengatur tentang prinsip-prinsip pemerintahan yang baik merupakan fungsi pemerintahan itu sendiri. Dalam tugas pokok fungsinya pemerintahan yang baik adalah yang dapat memperkuat demokrasi dan hak azasi manusia, meningkatkan kualitas ekonomi, sosial budaya, mengurangi angka kemiskinan, memperkuat perlindungan terhadap masyarakat dan lingkungan, serta bijak dalam memanfaatkan sumber daya alam sehingga meningkatkan kepercayaan terhadap pemerintah.

Negara berkewajiban melayani setiap warga Negara dan penduduk untuk memenuhi hak dan kebutuhan dasar masyarakat dalam kerangka pelayanan publik yang merupakan amanat dari Undang-undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945, membangun kepercayaan masyarakat melalui pelayanan publik yang dilaksanakan seiring dengan harapan dan tuntutan masyarakat atas peningkatan pelayanan publik sebagai upaya untuk mempertegas capaian pemerintahan yang baik [1].

Berdasarkan SK Kepala BATAN No. 14 /KA/XI/2013, PTKMR-BATAN mempunyai salah satu tugas yaitu melakukan pelayanan dibidang radioekologi. Hal tersebut juga sesuai dengan TUSI Subbidang Keselamatan Lingkungan adalah melakukan pelayanan analisis pemantauan keselamatan lingkungan tingkat nasional dan sertifikasi tingkat kontaminasi radionuklida diberbagai jenis bahan [2], dengan alur pelayanan terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Pengujian Sampel Layanan Keselamatan Lingkungan

Sampel yang dibawa pelanggan di daftarkan ke Unit Administrasi dan mengisi formulir permohonan yang tersedia yang berisi data data tentang nama perusahaan, alamat perusahaan, jenis uji, dan jumlah sampel. Selanjutnya sampel dibawa ke Laboratorium dan surat permohonannya dibawa ke Ka. Sub. Bid. Keselamatan Lingkungan, selanjutnya dibuatkan pembagian tugas oleh Ka. Sub.Bid. Kesling. Penerima sampel memverifikasi data sampel dan mencatatnya dalam log book penerimaan sampel serta memberi label/kode sampel. Pelaksana selanjutnya melakukan preparasi sampel oleh pelaksana preparasi sesuai SOP, selanjutnya dilakukan pengukuran sampel oleh pelaksana pengukuran. Data hasil pengukuran dievaluasi pelaksana evaluasi data, selanjutnya dibuatkan sertifikat oleh pembuat Laporan/Sertifikat. Sertifikat ditandatangani oleh Ka. Sub.Bid. Kesling/penandatanganan.

Setiap proses peluruhan zat radioaktif dari beberapa jenis nuklida akan memancarkan radiasi misalnya alfa, beta dan gamma. Radionuklida pemancar alfa dan beta dapat berasal dari radionuklida alam dan buatan yang dapat membahayakan kesehatan apabila masuk dalam tubuh manusia dan terakumulasi dalam jumlah besar dapat melalui pernapasan dan rantai makanan.

Salah satu cara untuk melakukan pemantauan konsentrasi radioaktivitas lingkungan dari jatuhnya yang berasal dari atmosfer dilakukan dengan pengukuran konsentrasi radioaktif alfa dan beta menggunakan alat cacah berlatar belakang sangat rendah sistem  $\alpha/\beta$ . dengan menggunakan detektor proporsional dengan aliran gas P-10 (campuran 90% metan dan 10% argon).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kandungan maksimum gross alfa dalam air adalah 0,1 Bq/l dan kandungan maksimum gross beta dalam air adalah 1 Bq/l [3].

Air sumber yang digunakan sebagai produk air minum dalam kemasan (AMDK) merupakan salah satu kebutuhan pokok masyarakat saat ini. Sebelum diproduksi sebagai air minum dalam kemasan, air sumber perlu diukur konsentrasi gross alfa dan beta yang terkandung didalamnya, hal ini sesuai dengan Permenkes 492/Menkes/Per/IV/2010 dimana kadar maksimum yang diperbolehkan dalam air minum, gross alfa = 0,1 Bq/l dan gross beta = 1 Bq/l [4].

Dewasa ini kehidupan masyarakat mengalami banyak perubahan sebagai akibat dari kemajuan yang telah dicapai dalam proses pembangunan dan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang begitu pesat. Air minum merupakan kebutuhan manusia paling penting. Pemenuhan kebutuhan air minum sendiri sangat tergantung pada faktor cakupan layanan air minum dan kondisi sanitasi pada masyarakat, baik pedesaan atau perkotaan. Standar kebutuhan air di Indonesia untuk masyarakat pedesaan adalah 60 lt/org/hr, sedangkan untuk masyarakat perkotaan 150 lt/org/hr. Sanitasi juga sangat berperan dalam proses pengelolaan, pendistribusian dan konsumsi air minum pada masyarakat.

Seperti diketahui, kadar air tubuh manusia mencapai 68 persen, dan untuk tetap hidup air dalam tubuh tersebut harus dipertahankan. Kebutuhan air minum setiap orang bervariasi mulai dari 2,1 liter hingga 2,8 liter per hari, tergantung pada berat badan dan aktivitasnya. Namun, agar tetap sehat, air minum harus memenuhi persyaratan fisik, kimia, maupun bakteriologis.

Air yang kelihatannya bersih dan jernih belum tentu layak untuk dikonsumsi dan memenuhi standar kualitas minum sehat. Seiring dengan peningkatan taraf kehidupan maka kebutuhan air bersih pun terus meningkat. Peningkatan kualitas air minum dengan jalan mengadakan pengolahan terhadap air yang akan diperlukan sebagai air minum dengan mutlak diperlukan terutama apabila air tersebut berasal dari air permukaan. Air dengan Kualitas baik adalah air yang berasal dari sumber mata air pegunungan yang memenuhi syarat-syarat kesehatan yaitu rasanya segar, dingin, tidak berbau, tidak berwarna, Ph normal dan TDS (*Total Dissolved Solid*) rendah [5].

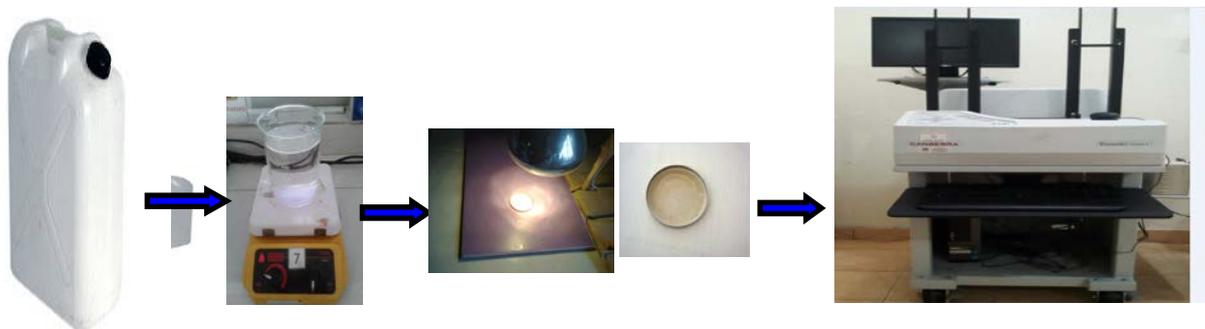
Air adalah semua air yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat (UU RI No. 7 Tahun 2004 Tentang Sumber Air Minum) [6].

Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung diminum (SK Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 907/Menkes/SK/VII/2002)[7]. Sedangkan yang dimaksud dengan air bersih adalah air yang digunakan untuk keperluan sehari-hari yang kualitasnya memenuhi syarat kesehatan dan dapat diminum apabila telah dimasak.

## METODE

### Analisis dan pengukuran gross alpha dan gross beta

Sampel air yang sudah diberi label diuapkan 1000 ml dalam *glas beker* menggunakan *hot plate*, hingga menjadi  $\pm 5$  ml. Larutan endapan ini dipindahkan kedalam planset dan diuapkan kembali dibawah lampu Infra Merah hingga kering. Selanjutnya endapan kering dimasukkan kedalam desikator dan diukur selama 3jam dengan alat LBC (Low Background Counter) MPC-9400 (Gambar 2).



Gambar 2. Preparasi sampel air dan pengukuran gross alpha dan gross beta dengan LBC

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis gross alpha dan gross beta

Hasil pengukuran dan analisis menunjukkan bahwa tingkat radioaktivitas *gross alpha* berkisar antara  $>MDC - 0,0058 \pm 0,0012$  Bq/l dengan nilai rerata  $0,0027 \pm 0,0006$  Bq/l, yang berarti masih dibawah nilai MDC alat LBC, kecuali pada sampel air no. 558/1 dan 3 diperoleh nilai masing-masing  $0,0058 \pm 0,0012$  Bq/l dan  $0,0044 \pm 0,0010$  Bq/l dimana nilainya diatas nilai MDC alat LBC. Semua nilai hasil yang diperoleh ini masih dibawah nilai yang tercantum dalam Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, kandungan maksimum gross alpha dalam air adalah 0,1 Bq/l [3], yang berarti sampel air tersebut bebas dari kontaminasi *gross alpha*. Hasil Analisis Konsentrasi gross alpha dan gross beta dalam sampel air dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil analisis konsentrasi gross alpha dan gross beta dalam sampel air layanan semester I tahun 2019

No.	Kode sampel	Gross Alpha	Gross Beta
		Konsentrasi (Bq/l)	Konsentrasi (Bq/l)
1	305-1	> MDC	$0,135 \pm 0,0139$
2	305-2	> MDC	$0,120 \pm 0,0125$
3	305-3	> MDC	$0,101 \pm 0,0106$
4	305-4	> MDC	$0,106 \pm 0,0111$
5	305-5	> MDC	$0,106 \pm 0,0111$
6	553	> MDC	$0,086 \pm 0,0091$
7	558-1	$0,0058 \pm 0,0012$	$0,073 \pm 0,000$
8	558-2	> MDC	$0,128 \pm 0,0132$
9	558-3	$0,0044 \pm 0,0010$	$0,092 \pm 0,0097$
10	594	> MDC	$0,139 \pm 0,0139$

Keterangan : MDC gross alpha 0.004 dan MDC gross beta 0.008

Pada semua sampel air minum hasil pengukuran dan analisis tingkat radioaktivitas *gross alpha* diperoleh nilai dibawah MDC alat LBC yang sekaligus berarti memenuhi persyaratan radioaktif yaitu aktivitas *gross alpha* untuk dijadikan sebagai air minum [4].

Sedangkan hasil pengukuran dan analisis tingkat radioaktivitas *gross beta* dalam sampel air dan air minum berkisar antara  $0,001 \pm 0,0002$  Bq/l -  $0,276 \pm 0,0433$  Bq/l dengan nilai rerata  $0,2295 \pm 0,0335$  Bq/l. Dari hasil yang diperoleh konsentrasi *gross beta* semua hasil yang diperoleh nilai masih dibawah MDC alat LBC. Nilai ini juga masih dibawah nilai yang

tertuang dalam Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001[3] dan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 [4].

Tabel 3. Hasil analisis konsentrasi gross alpa dan gross beta dalam sampel air minum layanan semester I tahun 2019

No.	Kode sampel	Gross Alpha	Gross Beta
		Konsentrasi (Bq/l)	Konsentrasi (Bq/l)
1	320-1	> MDC	0,175±0,0178
2	320-2	> MDC	0,045±0,0051
3	320-3	> MDC	0,107±0,0112
4	320-4	> MDC	0,110±0,0115
5	321-6	> MDC	0,155±0,0251
6	321-7	> MDC	0,162±0,0263
7	321-8	> MDC	0,107±0,0178
8	321-9	> MDC	0,276±0,0433
9	321-10	> MDC	0,125±0,0206
10	337	> MDC	0,155±0,015
11	506	> MDC	0,076±0,008
12	532	> MDC	0,133±0,0137
13	538	> MDC	0,074±0,0079
14	548	> MDC	0,252±0,0253
15	549	> MDC	0,037±0,0041
16	592-1	> MDC	0,064±0,0070
17	592-2	> MDC	0,065±0,0071
18	627-1	> MDC	0,193±0,0194
19	627-2	> MDC	0,190±0,0192
20	627-3	> MDC	> MDC
21	628	> MDC	0,081±0,0087
22	747	> MDC	> MDC

Keterangan : MDC gross alpha 0.004 dan MDC gross beta 0.008

Tabel 4. Hasil nilai rata-rata gross alpa dan gross beta dalam sampel air layanan semester I tahun 2019

	Nilai Rata-rata			
	Konsentrasi gross alpha (Bq/l)	MDC (Bq/l)	Konsentrasi gross beta (Bq/l)	MDC (Bq/l)
Sampel Air	0.0037± 0,0010	0.004	0.108 ± 0,010	0.008
Sampel Air Minum	>MDC	0.004	0.130 ± 0,013	0.008
<b>Total Sampel</b>	<b>0,0027±0,0006 [&gt; MDC]</b>	<b>0,004</b>	<b>0,119±0,0115[&gt; MDC]</b>	<b>0,008</b>

Keterangan : MDC gross alpha 0.004 dan MDC gross beta 0.008

Berdasarkan Tabel 4, nilai radioaktivitas *gross alpha* dan *gross beta* dalam sampel air layanan selama semester I tahun 2019 nilainya masih dibawah MDC alat yang digunakan yaitu LBC. Hasil yang diperoleh ini juga masih dibawah nilai dalam Peraturan

Pemerintah No. 82 tahun 2001 dan Permenkes no. 429/2010 . Dengan demikian sampel air layanan di Sub.Bid. Keselamatan Lingkungan, Bidang Radioekologi, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional, bebas dari kontaminasi *gross alpha* dan *gross beta*. Khususnya untuk sampel air minum memenuhi persyaratan radioaktif *gross alpha* dan *gross beta* untuk dijadikan sebagai sumber air minum

#### KESIMPULAN

Hasil pengukuran dan analisis menunjukkan bahwa tingkat radioaktivitas *gross alpha* masih dibawah nilai MDC alat LBC dan tingkat radioaktivitas *gross beta* dalam sampel berkisar antara  $0,001+0,0002$  Bq/l -  $0,276+0,0433$ Bq/l dengan nilai rerata  $0,119+0,0115$  Bq/l. Hasil yang diperoleh konsentrasi *gross alpha* dan *gross beta* masih di bawah nilai ambang batas konsentrasi *gross alpha* dan *gross beta* yang tertuang dalam Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 dan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 dan bebas dari kontaminasi *gross alpha* dan *gross beta* .

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada seluruh staf Sub bidang Keselamatan Lingkungan atas segala andil dan kerjasama dalam proses penelitian ini

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Presiden Republik Indonesia, Undang-undang Nomor 25 Tahun 2009 tentang Pelayanan Publik, Jakarta, 2009.
- [2] Badan Tenaga Nuklir Nasional. SK Kepala BATAN No. 14 /KA/XI/2013, PTKMR BATAN, Jakarta, 2013.
- [3] Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air, Jakarta, 2001.
- [4] Menteri Kesehatan Republik Indonesia, Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 492/Menkes/Per/IV/2010 Tanggal 19 April 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum, Jakarta, 2010.
- [5] Suriyanarayan et all. 2017. Geographic Information System of Mapping of Gross alpha beta Activity Concentrations in Ground Water Samples from Karnataka Indi,a preliminary study. Groundwater for Sustainable development <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2017.12.003>
- [6] UU RI No. 7 Tahun 2004 Tentang Sumber Air Minum, Jakarta, 2004.
- [7] Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 907/Menkes/SK/VII/2002. Jakarta, 2002
- [8] Febriyanti Ramadhan, Persyaratan Kualitas Air Minum, Politeknik Kesehatan Kementrian Kesehatan Makassar, Jurusan Kesehatan Lingkungan, Program Studi D-IV, 2016, Makassar, 2016.

#### DISKUSI/TANYA JAWAB :

##### 1. PERTANYAAN :

Sampel air layanan yang dimaksud di daerah mana?

##### JAWABAN :

Air di wilayah PTKMR

##### 2. PERTANYAAN :

Perlu dijelaskan apa efeknya?

##### JAWABAN :

Gross alfa dan beta efeknya lokal akan tetapi dalam jumlah besar akan mengarah ke kanker kulit

HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN

## ANALISIS RISIKO PROYEK PLTN DENGAN PENDEKATAN KUANTIFIKASI MONTE CARLO

Imam Bastori, Nurlaila

PKSEN-BATAN, Mampang Prapatan, Jakarta 12710  
email: [imbast@batan.go.id](mailto:imbast@batan.go.id)

### ABSTRAK

**ANALISIS RISIKO PROYEK PLTN DENGAN PENDEKATAN KUANTIFIKASI MONTE CARLO.** Proyek PLTN adalah bisnis penuh dinamika, risiko dan tantangan. Oleh karena itu sebelum proyek dijalankan perlu dilakukan analisis risiko yang memadai agar pelaksanaan proyek sesuai dengan target dan tujuan. Makalah ini memaparkan analisis risiko dengan pendekatan metode kuantifikasi Monte Carlo. Simulasi Monte Carlo adalah sebuah metode analisis dengan teknik stokastik yang dibangun berdasarkan nilai data random untuk menghasilkan suatu statistik probabilitas atau simulasi statistik, dalam rangka untuk memahami dampak dari sebuah ketidakpastian (risiko) pada proyek PLTN. Kajian dengan metoda Monte Carlo memiliki keunggulan dibandingkan cara lain karena akan menghasilkan keluaran kuantitatif yang sesuai dengan dunia nyata. Hasil kajian menunjukkan bahwa NPV (*Net Present Value*) merupakan parameter ekonomi yang memiliki ketidakpastian paling tinggi (16,71%) diikuti oleh parameter periode pengembalian investasi (4,8%), IRR (2,96%) dan terakhir biaya pembangkitan listrik (1,16%). Parameter dengan ketidakpastian tinggi akan berkontribusi pada munculnya risiko proyek yang tinggi oleh karena itu parameter tersebut harus diperhatikan secara cermat dalam upaya untuk meminimalkan risiko proyek PLTN.

Kata kunci: risiko, proyek PLTN, Monte Carlo, parameter ekonomi

### ABSTRACT

**RISK ANALYSIS OF NPP PROJECTS WITH MONTE CARLO QUANTIFICATION APPROACH.** The NPP project is a business full of dynamics, risks and challenges. Therefore, before the project is run it is necessary to conduct an adequate risk analysis so that project implementation is in accordance with the targets and objectives. This paper presents a risk analysis using the Monte Carlo quantification method approach. Monte Carlo simulation is a method of analysis with stochastic techniques that is built based on random data values to produce a statistical probability or statistical simulation, in order to understand the impact of an uncertainty (risk) on NPP project. Studies using the Monte Carlo method have advantages over other methods because they will produce quantitative output that is relevant to the real world. The results of the study indicate that the NPV (Net Present Value) is an economic parameter that has the highest uncertainty of (16.71%) followed by a return on investment parameter of (4.8%), IRR (2.96%) and finally the cost of electricity generation (1.16%). Parameters with high uncertainty will contribute to the emergence of high project risks, therefore these parameters must be considered carefully in an effort to minimize the risk of NPP projects.

Keywords: risk, NPP project, Monte Carlo, economic parameters

### PENDAHULUAN

Sampai saat ini, Indonesia belum memiliki pengalaman dalam proyek pembangunan PLTN sehingga tidak memiliki data historis biaya, harga komponen, durasi proyek, pengadaan barang dan jasa, dan sebagainya, yang semuanya itu diperlukan untuk menyusun estimasi biaya proyek. Oleh karena itu data-data tersebut perlu diambil dari lembaga-lembaga internasional, perusahaan yang telah berpengalaman membangun PLTN, dan negara-negara lain yang telah memiliki PLTN. Data-data ini harus disesuaikan dengan kondisi terkini dan keadaan Indonesia yang sesungguhnya. Penyesuaian dan asumsi-asumsi yang diambil selama proses perencanaan memunculkan efek ketidakpastian pada implementasi proyek yang semuanya akan bermuara pada risiko biaya proyek.

Dalam pandangan manajemen proyek, ketidakpastian ini harus dikurangi agar risiko finansial yang ditimbulkan oleh ketidakakuratan dalam menyusun estimasi biaya proyek dapat

diminimalkan. Makalah ini memaparkan pendekatan analisis risiko dengan perspektif bilangan random (Monte Carlo) yang digunakan untuk menghitung estimasi biaya pembangkitan listrik, *net present value (NPV)*, *internal rate of return (IRR)*, dan periode pengembalian investasi dengan pendekatan kuantifikasi risiko Monte Carlo. Sebagai pembangkit bilangan acak, Monte Carlo dapat mensimulasikan kejadian secara alami yang dapat mendekati pada kenyataan. Dalam kajian ini piranti lunak Monte Carlo yang digunakan adalah *Crystal Ball* dari Oracle yang bersifat *add-on* pada Microsoft Excel. Dengan kajian ini diharapkan ketidakpastian nilai parameter ekonomi proyek PLTN dapat diprediksi secara cermat dan akurat.

## TEORI

### NPV, IRR, dan Periode Pengembalian Investasi

*Net Present Value* atau sering disingkat dengan NPV adalah selisih antara nilai sekarang dari arus kas yang masuk dengan nilai sekarang dari arus kas yang keluar pada periode waktu tertentu. NPV ini mengestimasi nilai sekarang pada suatu proyek, aset ataupun investasi berdasarkan arus kas masuk yang diharapkan pada masa depan dan arus kas keluar yang disesuaikan dengan suku bunga dan harga pembelian awal. *Net Present Value* menggunakan harga pembelian awal dan nilai waktu uang (*time value of money*) untuk menghitung nilai suatu aset. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa NPV adalah nilai sekarang dari aset dikurangi dengan harga pembelian awal. NPV ini banyak digunakan dalam penganggaran modal untuk menganalisa profitabilitas dari sebuah proyek ataupun proyeksi investasi. Para pemilik modal ataupun manajemen perusahaan dapat menggunakan perhitungan NPV ini untuk mengevaluasi apakah akan berinvestasi atau tidak berinvestasi pada suatu proyek baru ataupun investasi pada pembelian aset baru. NPV dirumuskan sebagai berikut [2]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (1)$$

dimana:

NPV = Net Present Value

$C_t$  = Arus Kas per Tahun pada Periode t

$C_0$  = Nilai Investasi awal pada tahun ke 0

r = Suku bunga atau *discount rate* (dalam %)

t = waktu

Kriteria kelayakan proyek dengan parameter NPV ini diklasifikasikan sebagai berikut:

NPV > 0 proyek layak/dapat diterima, semakin tinggi NPV semakin baik

NPV < 0 proyek tidak layak/tidak dapat diterima

NPV = 0 *break event point* (impas)

Tingkat pengembalian atau IRR dari suatu investasi dapat didefinisikan sebagai tingkat suku bunga  $i$  yang akan menyebabkan nilai ekuivalen biaya atau investasi sama dengan nilai ekuivalen penerimaan (keuntungan). Untuk mencari IRR diperlukan perhitungan coba-coba (*trial and error*) guna mendapatkan NPV sama dengan nol. Cara yang sering digunakan adalah dengan interpolasi yang didasarkan pada perhitungan faktor diskonto terkecil dan terbesar. Secara matematis rumusnya dapat dituliskan sebagai berikut [4]:

$$IRR = i_1 + \Delta i \left( \frac{AKi_1}{AKi_1 - AKi_2} \right) \quad (2)$$

dimana:

$i_1$  = bunga modal terendah

$\Delta i$  = selisih bunga modal terendah dan tertinggi

$AKi_1$  = arus kas pada bunga terendah

$AKi_2$  = arus kas pada bunga tertinggi

Jika menggunakan fungsi pada Excel, IRR dinyatakan dengan formula = RATE(n,A,P,F) dimana n menyatakan jumlah waktu, A nilai tahunan, P nilai sekarang dan F nilai masa depan.

*Payback Period* (P) adalah jangka waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal suatu investasi, dihitung dari aliran kas bersih (*net cash-flow*) [4,8]. Aliran kas bersih adalah selisih pendapatan (*revenue*) terhadap pengeluaran (*expenditures*) per tahun. Periode pengembalian biasanya dinyatakan dalam jangka waktu per tahun. Atau dengan kata lain, P adalah suatu indikator yang dinyatakan dengan ukuran waktu, yaitu berapa tahun waktu yang diperlukan oleh proyek itu untuk mengembalikan biaya investasi yang dikeluarkan. *Payback period* ini dinyatakan dalam persamaan berikut [4].

$$M = \sum_{t=1}^{t=P} b \quad (3)$$

dimana:

t = waktu

P = waktu yang diperlukan agar investasi dapat kembali (*Payback Period*)

b = keuntungan dari proyek

M = modal

### **Kuantifikasi Risiko Proyek Dengan Simulasi Monte Carlo**

*Project Management Institute* menerapkan sebuah pendekatan standar manajemen resiko yang meliputi enam proses; perencanaan manajemen resiko, identifikasi resiko, kualifikasi resiko, kuantifikasi resiko, perencanaan respon resiko, dan pemantauan dan evaluasi resiko. Simulasi Monte Carlo ditempatkan sebagai bagian dari proses kuantifikasi resiko [7]. Meskipun simulasi Monte Carlo adalah sebuah metode yang sangat bermanfaat untuk diaplikasikan dalam bidang manajemen proyek, simulasi jadwal proyek dan simulasi perataan sumberdaya, dalam praktiknya metode ini belum banyak digunakan oleh para manajer proyek kecuali disyaratkan oleh organisasi atau perusahaan pemakai [7,10].

Analisis risiko secara kuantitatif merupakan metode untuk mengidentifikasi risiko kemungkinan kegagalan sistem dan memprediksi besarnya kerugian. Analisis ini dilakukan dengan mengaplikasikan formula matematis yang dikaitkan dengan nilai finansial. Secara matematis penghitungan risiko dilakukan dengan mengalikan tingkat kemungkinan kejadian dengan dampak yang ditimbulkan. Hasil analisis ini dapat digunakan untuk mengambil langkah strategis dalam mengatasi risiko yang teridentifikasi. Meskipun analisis kuantitatif ini menggunakan pendekatan matematis, namun pada prinsipnya analisis ini merupakan tindak lanjut yang mengikuti hasil analisis kualitatif. Kesulitan utama dalam analisis risiko kuantitatif adalah pada saat menentukan tingkat kemungkinan karena data statistik belum tentu tersedia untuk semua peristiwa.

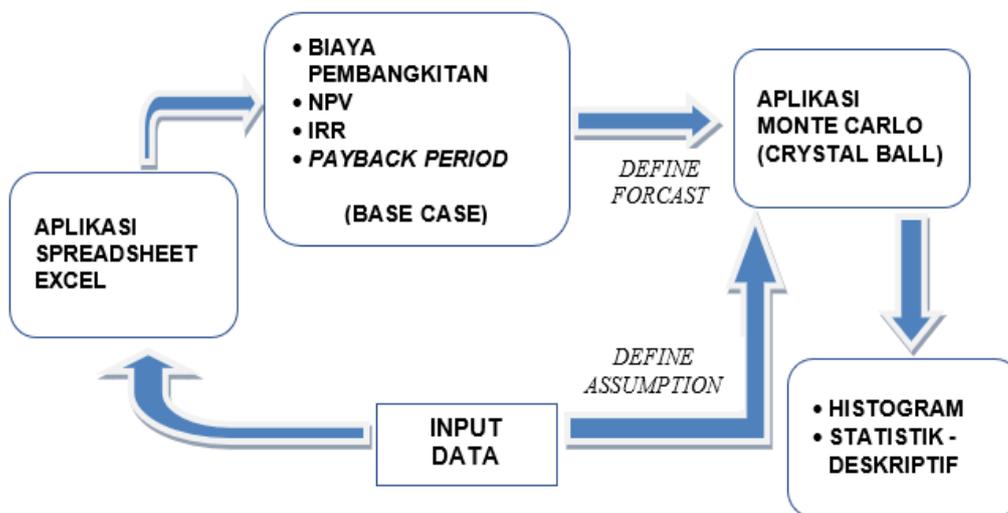
Simulasi Monte Carlo adalah sebuah metode analisis dengan teknik stokastik artinya dibangun berdasarkan nilai data random yang melahirkan sebuah statistik probabilitas atau simulasi statistik, untuk selanjutnya digunakan untuk memahami dampak dari sebuah ketidakpastian (risiko). Penggunaannya sudah sangat berkembang dalam bidang keuangan, evaluasi proyek, biaya, investasi, dan bidang manajemen proyek serta bidang lainnya. Dalam sebuah simulasi, model proyek dihitung dalam beberapa kali iterasi, dengan nilai input yang diacak dari sebuah fungsi distribusi probabilitas.

Simulasi Monte Carlo didefinisikan sebagai semua teknik sampling statistik yang digunakan untuk memperkirakan solusi terhadap masalah-masalah kuantitatif, dimana model yang dibangun berdasarkan sistem yang sebenarnya [7,9,22]. Selanjutnya setiap variable dalam model tersebut memiliki nilai probabilitas yang berbeda, yang ditunjukkan oleh distribusi probabilitas (*probability distribution function*) dari setiap variabel. Metode Monte Carlo mensimulasikan nilai stokastik tertentu terhadap nilai random yang mewakili dunia nyata. Hasil yang didapatkan dari simulasi ini adalah sebuah distribusi probabilitas dari nilai suatu sistem secara keseluruhan.

### **METODOLOGI**

Langkah pertama yang dilakukan dalam penyelesaian analisis ini adalah membuat *spreadsheet* untuk menentukan besarnya nilai dasar (*base case*) biaya pembangunan PLTN, biaya pembangkitan listrik, besarnya nilai *net present value* (NPV), *internal rate of return* (IRR), dan periode pengembalian investasi. Langkah selanjutnya, mentransformasikan seluruh input dan output dari *spreadsheet* kedalam aplikasi Crystal Ball (CB). Dalam sistem CB ini selanjutnya data input diinterpretasikan kedalam fungsi *define assumption* sedangkan data output kedalam *define forecast*. Setelah semuanya siap sesuai standar yang dipersyaratkan, aplikasi Crystal Ball dapat dijalankan dengan menekan tombol *start* pada bagian menu, secara

automatis sistem akan melakukan iterasi secara menyeluruh secara random. Hasil simulasi ini akan ditampilkan dalam bentuk histogram dan statistik deskriptif untuk masing-masing komponen/parameter. Histogram akan menampilkan nilai terendah dan nilai tertinggi, nilai rata-rata dan tingkat kepastian.



Gambar 1. Proses Simulasi

**ASUMSI**

Dalam studi ini, PLTN yang dipilih adalah PLTN jenis PWR (*Pressurized Water Reactor*) konvensional dengan kapasitas 3.000 MWth. Asumsi dan data masukan parameter teknis dan ekonomi yang digunakan dalam studi ini ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data Masukan Parameter Teknis

Item	Kuantitas
Daya listrik (MWth)	3.000
Efisiensi	34,00%
Faktor kapasitas	85,0%
Burn-up (MWd per ton BBN)	43
Jumlah jam per tahun	8.760

Tabel 2. Asumsi dan Data Masukan Parameter Ekonomi

Item	Kuantitas
Tahun dasar	2019
Umur PLTN	50
Lama konstruksi	6 tahun
Tingkat diskonto	10%
Amortisasi	20 tahun
Harga Jual Listrik	12 sen USD/kWh
Harga Uranium (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	25,9 USD/lb
Energi Listrik per Tahun	7.594.920.000 kWh
<i>Overnight Capital Cost</i>	2.300 USD/kW
Ongkos O&M Tetap	35 USD/kW
Ongkos O&M Variabel	2,1 USD/MWh

Sumber pendanaan diasumsikan dengan pola konvensional (*conventional scheme*) yang didanai oleh pemasok yang berasal dari pinjaman lembaga keuangan dalam negeri (*local loan*) maupun luar negeri (*foreign loan*) dan modal sendiri (*equity*). Sumber pendanaan luar negeri

berasal dari Bank A, Bank B dan Bank C. Untuk dalam negeri dibiayai dengan modal sendiri sebesar kekurangan dari pinjaman. Semua pembiayaan baik yang berasal dari luar negeri maupun dalam negeri dalam mata uang dolar Amerika (*US Dollar*). Komposisi antara hutang (*loan*) dan modal sendiri (*equity*) adalah 35% dan 65% dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 3. Komposisi Hutang dan Modal

Uraian	Bunga (%)	Porsi (%)
Hutang (35%) :		
Bank A	6	10
Bank B	7	10
Bank C	5	15
Modal (65%) :		
Saham Istimewa	6	30
Saham Biasa	5	35

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan dengan menggunakan *spreadsheet* memberikan nilai pada masing-masing parameter yang diukur sebagai berikut.

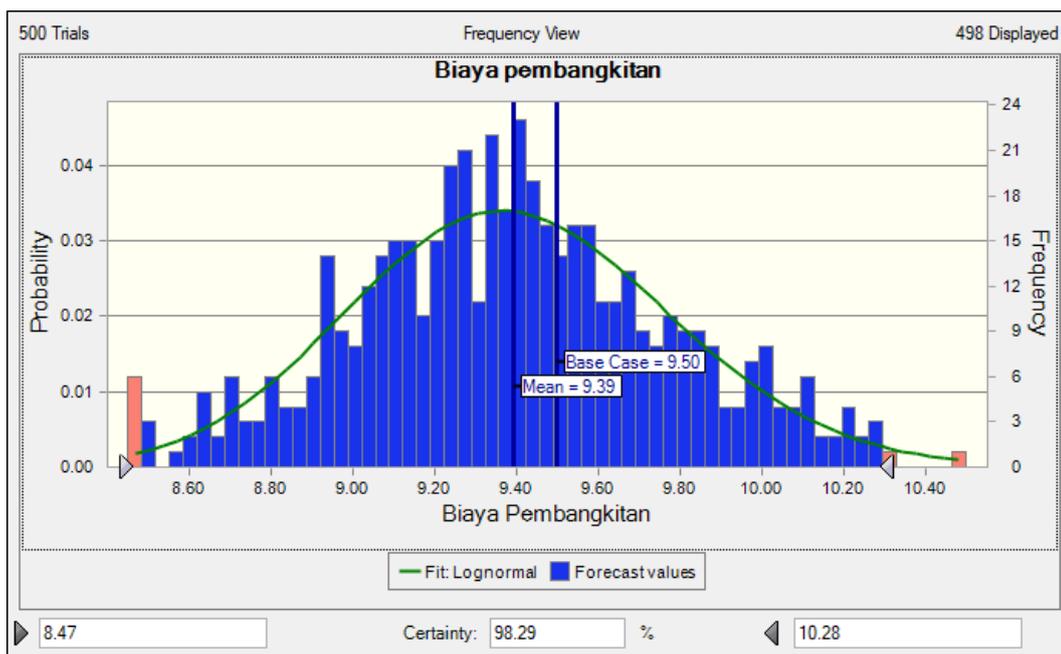
Tabel 4. Hasil Perhitungan

Item	Base Case	Low Case	High Case	Rata-rata
Biaya pembangkitan listrik	9,50 sen USD/kWh	8,47 sen USD/kWh	10,28 sen USD/kWh	9,39 sen USD/kWh
NPV ( <i>Net Present Value</i> )	\$150,484 juta	\$1,623 juta	\$430,247 juta	\$175,623 juta
Internal Rate of Return ( <i>IRR</i> )	6,41%	3,45%	9,67%	6,60%
Periode pengembalian investasi	23,98 tahun	13,87 tahun	47,30 tahun	25,13 tahun

*Base case* merupakan nilai yang diperoleh dari perhitungan menggunakan aplikasi *spreadsheet* Excel. Nilai ini selanjutnya disimulasikan oleh Monte Carlo untuk mendapatkan nilai *forecast* (ramalan) yang disajikan dalam bentuk histogram maupun statistik deskriptif seperti nilai minimum, maksimum, rata-rata dan deviasi. Piranti lunak yang digunakan untuk membuat simulasi Monte Carlo adalah Crystal Ball. Hasil iterasi nilai-nilai *base case* secara lengkap dipaparkan pada Tabel 4. Nampak pada tabel tersebut ada nilai rata-rata hasil iterasi, dan nilai *low case* dan *high case* yang mewakili nilai minimum dan maksimum hasil iterasi.

### Biaya Pembangkitan

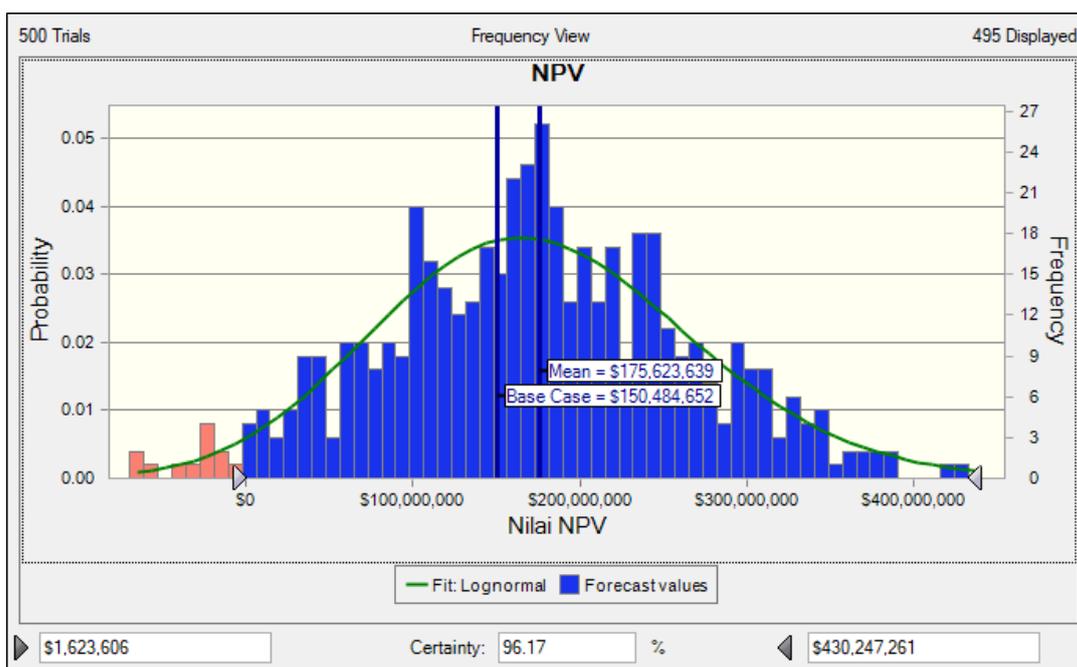
Biaya pembangkitan sebagai parameter penting dalam menentukan ke-ekonomian suatu pembangkit. Sebagaimana terlihat pada Gambar 2, biaya pembangkitan berkisar antara 8,47 – 10,28 sen \$/kWh dengan 8,47 sen \$/kWh sebagai *low case* dan 10,28 sen \$/kWh sebagai *high case*. Nilai rata-rata dalam distribusi ini adalah 9,39 sen \$/kWh dengan *base case* perhitungan bernilai 9,50 sen \$/kWh. Di sini nampak besarnya ketidakpastian biaya pembangkitan berkisar antara -1,03 – 0,78 sen \$/kWh. Secara umum, biaya pembangkitan dipengaruhi oleh depresiasi aset, biaya bahan bakar, biaya operasi dan perawatan, biaya dekomisioning, dan biaya modal. Ketidakpastian pada biaya-biaya ini menyebabkan ketidakpastian pada biaya pembangkitan. Dari sudut pandang manajemen proyek, skenario paling optimis diwakili oleh nilai *low case* 8,47 sen \$/kWh sedangkan skenario paling pesimis direpresentasikan oleh nilai *high case* 10,28 sen \$/kWh.



Gambar 2. Distribusi Probabilitas Biaya Pembangkitan

**Net Present Value (NPV)**

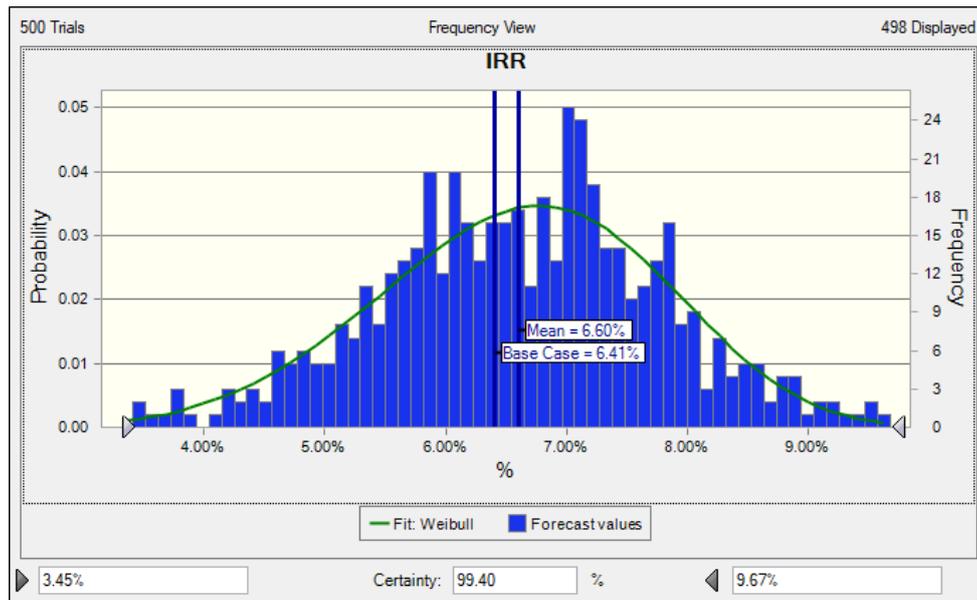
NPV merupakan nilai sekarang dari aset yang dikurangi dengan harga pembelian awal/modal. Dalam bahasa Indonesia, *Net Present Value* atau NPV ini disebut juga dengan “Nilai Bersih Sekarang” atau “Nilai Bersih Saat Ini”. Sebagaimana terlihat pada Gambar 4, nilai NPV terdistribusi dalam rentang \$1,6 juta sampai dengan \$430,2 juta dengan nilai rata-rata \$175,6 juta dan *base case* \$150,5 juta. Apabila NPV bernilai negatif maka proyek PLTN merugi, jika bernilai 0 maka proyek PLTN hanya bisa mengembalikan modal dan jika bernilai positif mengindikasikan proyek PLTN meraup keuntungan. Pada skenario optimis nilai NPV \$1,6 juta sedangkan pada skenario pesimis nilai NPV \$430,2 juta. Fakta ini menunjukkan bahwa baik pada skenario optimis dan pesimis proyek PLTN menguntungkan.



Gambar 3. Distribusi Probabilitas Net Present Value (NPV)

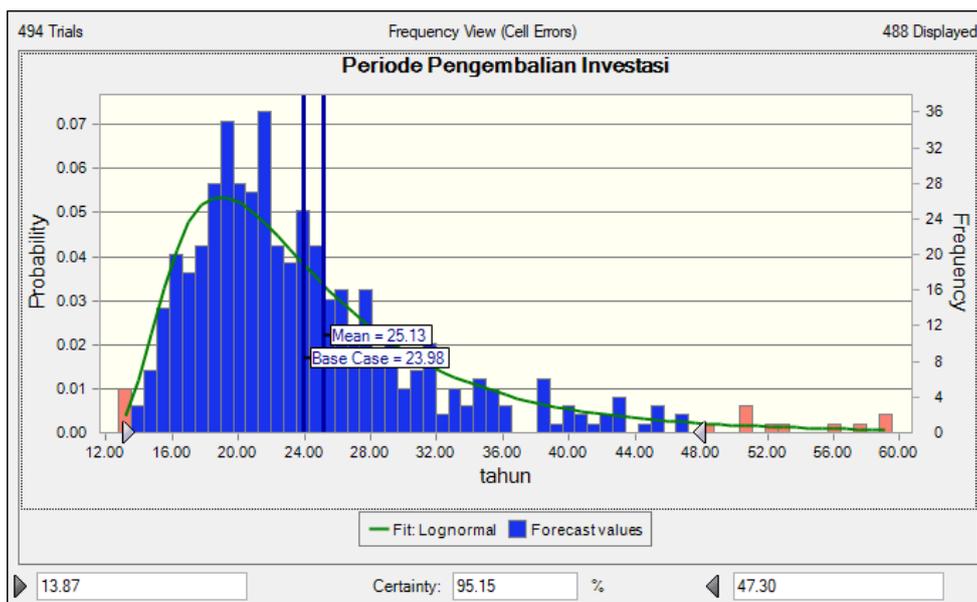
### Internal Rate of Return (IRR)

Pada sudut pandang bisnis PLTN, IRR merupakan tingkat pengembalian investasi PLTN dalam jangka waktu tertentu. Pada pendekatan menggunakan Monte Carlo seperti terlihat pada Gambar 4, nampak nilai IRR terdistribusi pada interval 3,45% - 9,67% dengan tingkat kepastian 99,4%. IRR rata-rata berdasarkan perhitungan ini sekitar 6,6% dengan basis perhitungan awal (base case) 6,41%. Nilai 3,45% merupakan skenario optimis dan nilai 9,67% merupakan skenario pesimis dari proyek. Nilai-nilai tersebut juga merupakan prediksi dunia nyata dari nilai stokastik IRR yang dihitung oleh aplikasi spreadsheet Excel. Berdasarkan nilai prediksi ini, IRR sudah melebihi nilai rata-rata biaya modal tertimbang WACC (*Weighted Average Cost of Capital*) yang besarnya hanya sekitar 2,02%. Fakta ini sejalan dengan nilai prediksi NPV yang terdistribusi pada suatu rentang nilai positif. Hal ini merupakan indikator bahwa proyek PLTN akan memberikan keuntungan yang layak bagi investor.



Gambar 4. Distribusi Probabilitas IRR

### Periode Pengembalian Investasi



Gambar 5. Distribusi Probabilitas Periode Pengembalian Investasi

Gambar 5, merupakan grafik yang menggambarkan distribusi jangka waktu pengembalian investasi PLTN. Nilai terendah dari distribusi ini 13,87 tahun, nilai tertinggi 47,3 tahun dan nilai rata-ratanya 25,13 tahun dengan tingkat kepastian 95,15%. Pada kasus ini skenario periode pengembalian investasi optimis 47, 3 tahun sedangkan pada skenario pesimis 13,87 tahun. Nampak jelas dari kasus ini nilai *base case* 23,98 tahun yang disimulasikan dengan Monte Carlo memberikan nilai prediksi terendah 13,87 tahun dan tertinggi 47,3 tahun serta nilai rata-rata prediksi 25,13 tahun. Dari fakta ini ada perbedaan antara nilai hitung menggunakan aplikasi *spreadsheet* dan prediksi dunia nyata. Perbedaan ini merupakan akibat ketidakpastian nilai stokastik yang dihasilkan dari perhitungan rumus matematis terhadap nilai random dunia nyata yang disimulasikan oleh Monte Carlo. Secara lengkap ketidakpastian masing-masing parameter proyek PLTN dipaparkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Ketidakpastian Nilai Parameter Proyek PLTN

Item	Base Case	Rata-rata	Ketidakpastian
Biaya pembangkitan listrik	9,50 sen USD/kWh	9,39 sen USD/kWh	1,16%
NPV ( <i>Net Present Value</i> )	\$150,484 juta	\$175,623 juta	16,71%
Internal Rate of Return (IRR)	6,41%	6,60%	2,96%
Periode pengembalian investasi	23,98 tahun	25,13 tahun	4,8%

Berdasarkan Tabel 5, parameter proyek yang memiliki ketidakpastian tertinggi terjadi pada nilai NPV sedangkan terendah pada biaya pembangkitan listrik. Hal ini berarti bahwa nilai hasil perhitungan NPV dengan rumus matematis lebih banyak meleset dibandingkan dengan parameter lain. Dengan fakta ini NPV menjadi parameter paling rentan, oleh karena itu ketidakcermatan dalam memperhitungkan NPV akan menimbulkan risiko yang besar pada proyek.

#### KESIMPULAN

NPV (*Net Present Value*) merupakan parameter ekonomi yang memiliki ketidakpastian paling tinggi (16,71%) diikuti oleh parameter periode pengembalian investasi (4,8%), IRR (2,96%) dan terakhir biaya pembangkitan listrik (1,16%). Parameter dengan ketidakpastian tinggi akan berkontribusi pada munculnya risiko proyek yang tinggi oleh karena itu parameter tersebut harus diperhatikan secara cermat dalam upaya untuk meminimalkan risiko proyek PLTN.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Frame, J. Davidson. (2003). *Managing Risk in Organization: A Guide for Managers*, San Francisco: Jossey-Bass.
2. <https://ilmumanajemenindustri.com/pengertian-npv-rumus-npv-net-present-value/>
3. [www.mdpi.com/journal/sustainability](http://www.mdpi.com/journal/sustainability). Min-Sung Kim, Eul-Bum Lee, In-Hye Jung, Douglas Alleman (December 2018). *Risk Assessment and Mitigation Model for Overseas Steel-Plant Project Investment with Analytic Hierarchy Process—Fuzzy Inference System*.
4. Moch. Djoko Birmano, Imam Bastori. *Perhitungan Ekonomi Dan Pendanaan PLTN Dan Pembangkit Konvensional Menggunakan Spreadsheet Inovasi*. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 10 No.2, Desember 2008.
5. Anthony Mills, *A Systematic Approach to Risk Management for Construction*, Structural Survey, Volume 19, Number 5, 2001, pp. 245-252, MCB University Press, ISSN 0263-080X.
6. Hoffman, David. (2002). *Managing Operational Risk*, John Wiley & Sons, Inc.
7. PMBOK (2013). *Project Management Body of Knowledge*, Fifth Edition.
8. Imam Bastori, Moch. Djoko Birmano. *Analisis Penerapan Manajemen Risiko Finansial Pada Proyek PLTN di Indonesia*, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, Vol 14 No. 1, Juni 2012.
9. Harold Kerzner, Ph.D.(2006). *Project Management*, Ninth Edition, Willey & Son.
10. Dipohusodo. (1996). *Manajemen Konstruksi*, Jakarta, Kanisius.
11. Taha, Hamdy A. (2003). *Operation Research : An Introduction Seventh Edition*. New Jersey: Pearson Education.
12. Wulfram, Ervianto. (2004). *Manajemen Proyek Konstruksi*, Yogyakarta, ANDI Offset.

13. Soeharto, Iman. (1998). *Manajemen Proyek Dari Konseptual Sampai Operasional*, Jakarta, Erlangga.
14. [https://en.wikipedia.org/wiki/Atucha\\_II\\_Nuclear\\_Power\\_Plant](https://en.wikipedia.org/wiki/Atucha_II_Nuclear_Power_Plant)
15. [https://en.wikipedia.org/wiki/Cernavod%C4%83\\_Nuclear\\_Power\\_Plant](https://en.wikipedia.org/wiki/Cernavod%C4%83_Nuclear_Power_Plant)
16. <http://e-journal.uajy.ac.id/1515/3/2TS12381.pdf>
17. Project Management in Nuclear Power Plant Construction: Guidelines and Experience, IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-2.7
18. Nuclear power plant organization and staffing for improved performance: lessons learned, IAEA Tecdoc-1052.
19. Kountur, Ronny. (2006). *Manajemen Risiko*, Jakarta: PPM.
20. Mun, Jonathan. (2006). *Modeling Risk*, New Jersey: John Willey & Sons.
21. Norris, Catriona, Perry, John, & Simon, P. (2000). *Project Risk Analysis and Management*. Buckinghamshire: The Association for Project Management.
22. Office of Project Management Process Improvement. (2003). *Project Risk Management Handbook*. Sacramento.
23. Smith, D.J. (1994). Incorporating Risk Into Capital Budgeting Decisions Using Simulation. *Management Decisions* (Vol. 32, No. 9).
24. <https://www.cameco.com/invest/markets/uranium-price>

**DISKUSI/TANYA JAWAB :**

**1. PERTANYAAN :**

Bagaimana cara agar parameter ketidakpastian dalam penentuan resiko proyek PLTN normal/tidak tinggi sehingga dapat meminimalisirkan resiko proyek PLTN tersebut?

**JAWABAN :**

Untuk menangani risiko yang tinggi dilakukan dengan perencanaan proyek yang baik dan manajemen proyek yang baik juga.

**2. PERTANYAAN :**

Apa metode monte carlo valid untuk menghitung biaya sesuai IAEA?

**JAWABAN :**

Metode monte carlo sudah biasa digunakan diseluruh dunia untuk menghitung risiko, merupakan metode sesuai dalam buku PMBOK yang menjadi acuan IAEA dalam implementasi proyek PLTN.

HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN

## **IDENTIFIKASI POTENSI BAHAYA TSUNAMI DI CALON TAPAK PLTN DAERAH PULAU RAKIT, KEC. PLAMPANG, SUMBAWA BESAR, NTB**

**Hadi Suntoko<sup>1</sup>, Totok Yatimantoro<sup>2</sup>, Heni Susiati<sup>1</sup>, Sunarko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, BATAN, Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan

<sup>2</sup> Pusat Kajian Peringatan Dini Tsunami, BMKG, Jl. Antariksa, Jakarta Pusat, 12710

email: hadi\_suntoko@batan.go.id

### **ABSTRAK**

**IDENTIFIKASI POTENSI BAHAYA TSUNAMI DI CALON TAPAK PLTN DAERAH PULAU RAKIT, KEC. PLAMPANG, SUMBAWA BESAR, NTB.** Pulau Rakit, Kec. Plampang, NBT merupakan calon tapak PLTN yang memiliki rawan bencana, salah satunya adalah gempa bumi yang dapat dipicu oleh aktifnya sesar Flores. Tahun 2018 sesar tersebut aktif yang sumber gempunya berada di Lombok Utara, menyebabkan ratusan orang meninggal dan ribuan rumah rusak berat. Faktor yang mengakibatkan kerusakan gempabumi antara lain besarnya energi, episenter, lama getaran, kondisi tanah dan model bangunan. Gempa besar dapat menjadi parameter untuk dilakukan kajian yang komperhensif penyebab terjadinya tsunami di daerah penelitian, melalui pemodelan tsunami yang menghasilkan banjir pantai di calon tapak PLTN. Potensi tsunami dapat diidentifikasi adanya sesar aktif, magnitude, kedalaman gempa, batimetri atau topografi. Tujuan penelitian ini mengenali potensi bahaya genangan air akibat tsunami dengan memodelkan banjir pantai. Metode yang digunakan adalah estimasi dampak perambatan banjir pantai menggunakan pemodelan numerik, sesuai tahapan pemilihan tapak. Asumsi yang digunakan adalah penyebaran gelombang tsunami yang menjalar dalam bentuk gelombang panjang, partikel air yang tidak memiliki percepatan vertikal dan tekanan air. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa tsunami yang mencapai Pulau Rakit tertinggi berada di sebelah pantai timur sedangkan pantai sebelah selatan dan utara menunjukkan genangan air yang relatif rendah 0 - 1 m.

Kata kunci: sesar, tsunami, gempabumi.

### **ABSTRACT**

**IDENTIFICATION OF TSUNAMI HAZARD POTENTIALS IN CANDIDATE OF NPP SITE IN RAKIT ISLAND, KEC. PLAMPANG, SUMBAWA BESAR, NTB.** Rakit Island, Kec. Plampang, NBT is a candidate site for nuclear power plants that is prone to disasters, one of which is an earthquake that can be triggered by the active Flores fault. In 2018 the fault was active, the source of the earthquake was in North Lombok, causing hundreds of deaths and thousands of homes severely damaged. Factors that cause earthquake damage include the amount of energy, epicenter, duration of vibration, soil conditions and building models. Large earthquakes can be a parameter for a comprehensive study of the causes of tsunamis in the study area, through modeling tsunamis that produce coastal flooding in the prospective nuclear power plant site. Potential tsunamis can be identified by active faults, magnitude, earthquake depth, bathymetry or topography. The purpose of this study is to recognize the potential danger of standing water due to the tsunami by modeling coastal flooding. The method used is the estimated impact of coastal flood propagation using numerical modeling, according to the stage of site selection. The assumption used is the distribution of tsunami waves that spread in the form of long waves, water particles that do not have vertical acceleration and water pressure. The results obtained show that the tsunami that reached the highest Rakit Island was on the east coast while the south and north coast showed relatively low standing water 0-1 m.

Keyword: fault, tsunami, earthquake.

### **PENDAHULUAN**

Daerah-daerah interes yang direkomendasikan untuk tapak PLTN adalah hasil tahap awal dalam pemilihan tapak yang belum mempertimbangkan secara detail aspek oseanografi. Aspek oseanografi merupakan aspek keselamatan tapak yang mempertimbangkan potensi banjir pantai, baik berasal dari tsunami, eustasi maupun banjir pantai akibat pasang surut yang dapat mempengaruhi kelayakan tapak PLTN [1]. Pulau Rakit, berlokasi di Kecamatan

Plampang, Sumbawa Besar, NTB menjadi fokus penelitian dalam tahap pemilihan tapak sebelumnya dan memiliki potensi bahaya tsunami. Tata letak Pulau Rakit berada di teluk Saleh/Samota dan diapit oleh dua sesar besar menjadikan daerah tersebut memiliki rawan bencana, salah satunya bencana tsunami. Tsunami dapat dipicu oleh sesar aktif Flores maupun tektonik akibat subduksi megathrust. Tahun 2018 sesar Flores aktif bergerak menghasilkan M 7.6 skala Richter yang sumber gempanya berada di daratan Lombok Utara, menyebabkan ratusan orang meninggal dan ribuan rumah rusak berat, namun tidak menyebabkan tsunami [2].

Tsunami dapat dideskripsikan sebagai gelombang laut dengan periode panjang yang ditimbulkan oleh suatu gangguan impulsif seperti terjadinya gempa bumi, erupsi vulkanik, atau oleh *land-slide* (longsoran) [3]. Gelombang semacam ini berbeda dengan gelombang laut lainnya yang bersifat kontinyu, seperti gelombang laut yang ditimbulkan oleh gaya gesek angin atau gelombang pasang surut yang ditimbulkan oleh gaya tarik benda angkasa. Periode gelombang tsunami berkisar antara 10-60 menit yang mempunyai panjang gelombang besar hingga mencapai 100 km. Kecepatan rambat gelombang tsunami di laut mencapai 500-1000 km/jam dan tergantung dari kedalaman laut dan penjarannya dapat berlangsung mencapai ribuan kilometer [4].

Kajian Nasional Bahaya Tsunami Indonesia (Horspool *et al.*, 2013), wilayah dengan peluang terbesar mengalami peringatan tsunami besar (tsunami >3 meter) dalam kurun satu tahun sekali, salah satunya adalah Nusa Tenggara Barat yang semuanya memiliki peluang sebesar 2-10%. Nusa Tenggara Barat memiliki bahaya tsunami tertinggi dalam periode ulang 100 tahun dan dapat mencapai ketinggian antara 5-10 meter dalam periode waktu tersebut [5]. Menurut Sutowijoyo (2005), apabila memperhatikan pusat-pusat gempa yang umumnya berada di Samudera Hindia dengan kedalaman pusat gempa 0-99 km (termasuk gempa dangkal hingga sedang) dan frekuensi gempa besar yang cukup sering, maka terdapat kemungkinan daerah sekitar wilayah pantai Selatan dan Utara NTB terlanda tsunami [6]. Zona subduksi Selatan akan menghujam zona sebelah Utara sehingga menimbulkan patahan yang disebut dengan patahan busur belakang. Kedua sumber tsunami ini sangat berbahaya, tsunami yang disebabkan oleh zona subduksi memerlukan waktu 30–50 menit menuju pantai selatan sedangkan sumber tsunami di sebelah utara. Tinggi rendaman gelombang tsunami semakin meningkat pada pantai yang berbentuk corong atau teluk. Teluk-teluk merupakan tempat yang paling potensial terjadi tsunami, karena tempat-tempat ini topografi garis pantai cenderung menyempit sehingga mengakibatkan akumulasi dan terkonsentrasinya energi gelombang tsunami. Kalau di tengah lautan tinggi gelombang tsunami paling besar sekitar 5 m, pada saat mencapai pantai tinggi gelombang dapat mencapai puluhan meter. Karena terjadi penumpukan massa air, maka pada saat mencapai pantai, tsunami akan merayap masuk daratan jauh dari garis pantai [7].

Tujuan penelitian adalah untuk mengidentifikasi potensi bahaya banjir yang disebabkan oleh tsunami. Secara umum pemicu tsunami akibat patahan atau sesar dan sangat mungkin terjadi di NTB yang dikenal rawan bencana gempa oleh akibat sesar aktif di sekitar laut NTB. Metode yang digunakan adalah deskripsi parameter dan pemodelan penjaran tsunami menggunakan *software* Tsunami di sekitar pantai Samota (Saleh Mojo Tambora), terutama di Pulau Rakit. Hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk menentukan kelayakan tapak dari aspek keselamatan tapak yang disebabkan oleh kejadian eksternal (*external events*).

## TEORI

### Teori Dasar Tsunami

Istilah “tsunami” berasal dari bahasa Jepang, yaitu dari kata *tsu* yang berarti pelabuhan dan *ami* yang berarti ombak [8]. Oleh karena itu, secara sederhana tsunami dapat diartikan sebagai gelombang yang menghantam pelabuhan. Tsunami umumnya dibangkitkan oleh gangguan impulsif pada medium laut yang berasal dari dasar laut seperti gempa bumi tektonik, longsoran bawah laut, erupsi vulkanik dan yang lainnya. Meskipun demikian, gempa bumi tektonik merupakan penyebab dominan terjadinya tsunami [9].

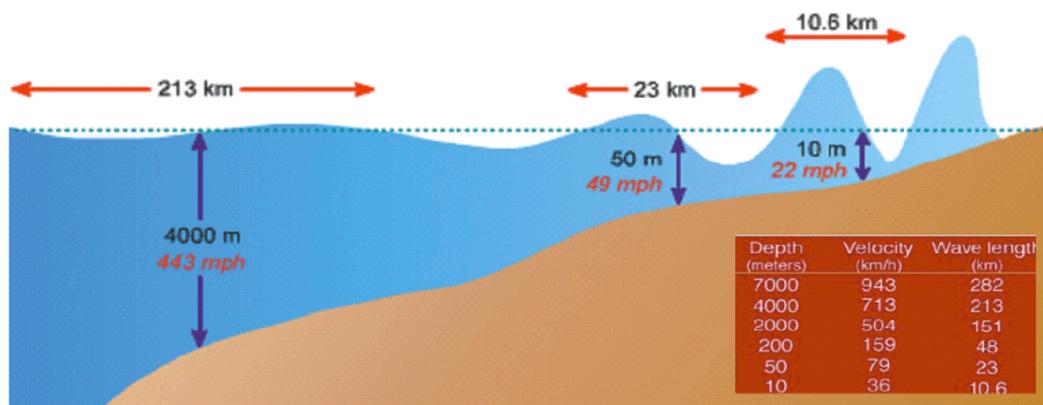
Tsunami bergerak keluar dari daerah pembangkitannya dalam bentuk serangkaian gelombang perairan dangkal (*shallow water wave*) dengan panjang gelombang dapat mencapai ratusan kilometer dengan amplitudo gelombang relatif kecil ( $\pm 1$  meter) ketika berada di perairan dalam [10]. Gelombang ini memiliki kecepatan (*wave speed*) yang dipengaruhi oleh kedalaman laut (*depth*) dan percepatan gravitasi bumi. Ketika gelombang tsunami berada di perairan dalam dan diasumsikan sebagai gelombang *sinusoidal linier*, maka hubungan antara kecepatan gelombang tsunami dan kedalaman laut dapat ditunjukkan

oleh persamaan (1) berikut [11]:

$$v = (gd)^{0.5} \quad (1)$$

$v$  = kecepatan gelombang (wave speed) tsunami (m s<sup>-1</sup>)  
 $g$  = percepatan gravitasi (9.81 m s<sup>-2</sup>)  
 $d$  = kedalaman laut (m)

Kecepatan gelombang tsunami akan mengalami perlambatan dan amplitudonya akan mengalami peningkatan secara dramatis ketika memasuki perairan dangkal dekat pantai (Gambar 1). Hal ini disebabkan adanya prinsip kekekalan energi gelombang yang dipengaruhi oleh kecepatan dan ketinggian gelombang. Tinggi gelombang di perairan dalam yang sebelumnya hanya ± 1 meter, akan bertambah tinggi hingga dapat mencapai ± 30 meter di perairan dangkal dan pesisir pantai.



Gambar 1. Hubungan antara kecepatan dan panjang gelombang tsunami terhadap kedalaman laut (inatews.bmkg.go.id, 2014) [11]

Deformasi dasar laut yang dapat membangkitkan tsunami adalah deformasi arah vertikal (sesar naik atau sesar turun). Pergerakan vertikal lantai samudra naik (uplift) atau turun dengan cepat sebagai respon dari gempa bumi, maka akan menaikkan dan menurunkan air laut dalam skala besar. Karakteristik gempa tektonik yang dapat menyebabkan terjadinya tsunami adalah gempa tektonik di zona subduksi.

$$M_o = \mu \cdot A \cdot D \quad (2)$$

$M_o$  = momen seismik (Nm)

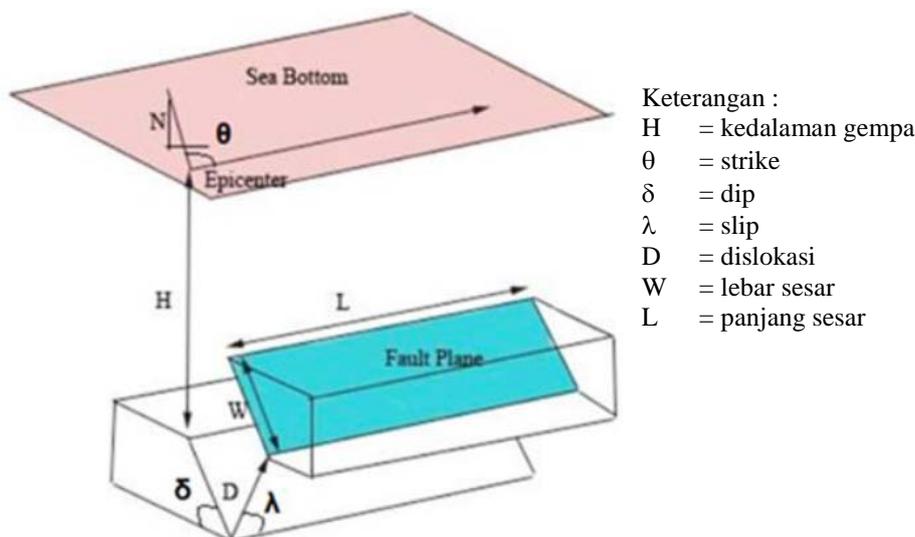
$\mu$  = rigiditas (tingkat kekakuan benda, semakin keras bendanya maka energi yang diperlukan untuk menggerakannya semakin besar, artinya momen seismiknya semakin besar (  $3 \times 10^{10}$  Nm<sup>-2</sup>)

$A$  = luas bidang sesar (m<sup>2</sup>)

$D$  = deformasi atau dislokasi (m)

Gempa harus mempunyai momen seismik yang besar dengan posisi hiposenter dangkal sebagai syarat untuk dapat menghasilkan deformasi di dasar laut. Momen seismik digunakan untuk menghitung jumlah energi yang dilepaskan oleh gempa dengan memperhitungkan perpindahan yang terjadi dalam slip di sepanjang sesar (fault). Hubungan antara momen seismik dan deformasi dirumuskan sebagai berikut [9].

Parameter sesar (*fault*) yang berhubungan dengan deformasi bawah permukaan dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Parameter *fault break* [12]

### Pemodelan Numerik Penjalaran Tsunami

Simulasi tsunami umumnya digunakan untuk penilaian potensi bahaya yang dapat ditimbulkan. Estimasi dampak perambatan tsunami dapat dikuantifikasi menggunakan pemodelan numerik. Asumsi yang digunakan dalam pemodelan numerik ini adalah gelombang tsunami menjalar dalam bentuk gelombang panjang (ketinggian gelombang jauh lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang), partikel air tidak memiliki percepatan vertikal dan tekanan air sama dengan tekanan akibat gaya gravitasi. Beberapa persamaan dasar dan pendekatan yang digunakan untuk memodelkan tsunami, antara lain sebagai berikut ini [13].

### Kondisi Kestabilan dan Konsistensi

Persamaan penjalaran gelombang tsunami diselesaikan menggunakan metode beda hingga (finite different) berdasarkan ekspansi deret Taylor. Skema numerik yang diaplikasikan pada persamaan dasar penjalaran gelombang tsunami memerlukan kondisi kestabilan agar dapat diperoleh solusinya. Penggunaan skema numerik yang stabil dapat mencegah perkembangan kesalahan dari berbagai penyebab (seperti pembulatan, pemotongan jumlah digit angka) seiring dengan berjalannya tahapan proses perhitungan [12]. Kondisi kestabilan ini dapat dicapai dengan memperhatikan persyaratan sesuai dengan perumusan berikut.

$$\Delta t < \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{\max}}} \quad (3)$$

$\Delta t$  = langkah waktu (s)

$\Delta x$  = ukuran grid dalam arah x (m)

$g$  = percepatan gravitasi (9.8 ms<sup>-2</sup>)

$h_{\max}$  = kedalaman maksimum batimetri(m)

Konsistensi merupakan hal lain yang perlu diperhatikan dalam memodelkan tsunami secara numerik. Solusi numerik dikatakan konvergen jika pendekatan yang digunakan stabil dan konsisten. Konsistensi ini berkaitan dengan sejauh mana persamaan beda hingga (finite different) yang digunakan menghasilkan solusi yang mendekati persamaan diferensial parsialnya (Partial Differential Equation). Pendekatan beda hingga yang digunakan dikatakan konsisten jika kesalahan akibat pemotongan jumlah digit angka dapat dihilangkan melalui peningkatan resolusi grid [12].

### METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini, adalah pemodelan penjalaran tsunami dengan menggunakan bantuan software TUNAMI (Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of Tsunami) yang dimodifikasi, merupakan program simulasi untuk

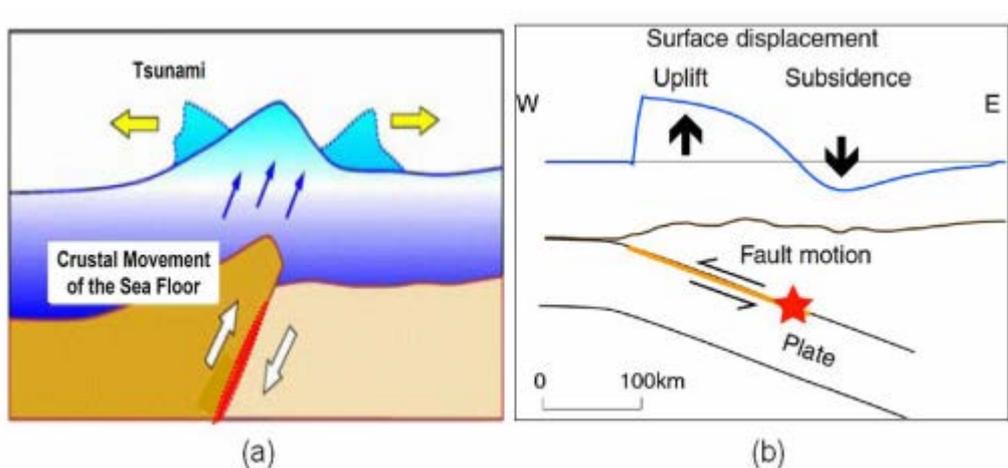
pemodelan tsunami yang bersifat numerik dengan teori linear di laut dalam dan teori perairan dangkal di daratan serta memiliki panjang grid yang konstan di seluruh wilayah [14].

Parameter yang digunakan adalah batimetri, topografi, sumber pembangkit (tektonik) dan software. Pemetaan batimetri digunakan bantuan software GMT (Generic Mapping Tool) berbasis LINUX atau dengan program Windows melalui terminal CYGWIN dan GSVIEW. Output dari software TUNAMI berupa *run up* dan waktu tiba tsunami di titik terdampak. Daerah yang diteliti adalah pesisir pantai Provinsi NTB khususnya wilayah Pulau Rakit Kecamatan Plampang, Sumbawa Besar yang memiliki data permukaan cukup lengkap. Data batimetri yang digunakan dalam penelitian ini adalah data GEBCO 30 arcsec, sedangkan untuk topografi menggunakan data SRTM 1 arcsec. Hasil pemodelan tsunami digunakan untuk penentuan ketinggian banjir pantai/tsunami yang terjadi di P. Rakit dan sekitarnya.

Secara umum tsunami dapat diklasifikasikan berdasarkan penyebab dan jarak sumber pemicunya [5,15]. Berdasarkan penyebabnya, tsunami diklasifikasikan sebagai tsunami seismik jika disebabkan oleh gempa tektonik bawah laut (ocean bottom landslide) dan tsunami non-seismik jika disebabkan oleh tanah longsor bawah laut (submarine landslide), letusan gunung berapi, jatuhnya meteor, dan penyebab lainnya [5]. Sedangkan berdasarkan pemicunya, tsunami dapat terjadi dari dua sumber gempa yaitu tsunami lokal dan tsunami jarak jauh. Tsunami lokal merupakan tsunami yang terjadi akibat gempabumi tektonik di laut yang memiliki pusat gempa dengan jarak  $< 100$  km dari daerah bencana tsunami (IOC, 2006), terjadi dalam kurun waktu 5-40 menit setelah gempa utama [3]. Tenggang waktu antara saat terjadinya gempa utama dan waktu tiba gelombang tsunami di pantai ini dapat digunakan untuk menganalisis karakteristik gempa yang sedang terjadi. Selanjutnya dapat diketahui apakah gempa berpotensi menimbulkan tsunami atau tidak. Umumnya, tsunami terjadi di Indonesia merupakan tsunami lokal. Karena sistem informasi yang ada di Indonesia masih belum cukup memadai, maka gelombang tsunami biasanya telah menyapu pantai sebelum informasi kejadian tsunami sampai ke masyarakat. Hal ini menyebabkan Indonesia belum dapat memaksimalkan sistem peringatan dini tsunami (Tsunami Early Warning System) [3]. Tsunami jarak jauh (far field tsunami) tsunami yang terjadi akibat gempabumi tektonik di laut yang memiliki pusat gempa dengan jarak kurang ratusan hingga ribuan kilometer dari pantai (IOC, 2006). Waktu datang gelombang tsunami ini berada dalam kurun waktu beberapa jam hingga 24 jam setelah gempa utama.

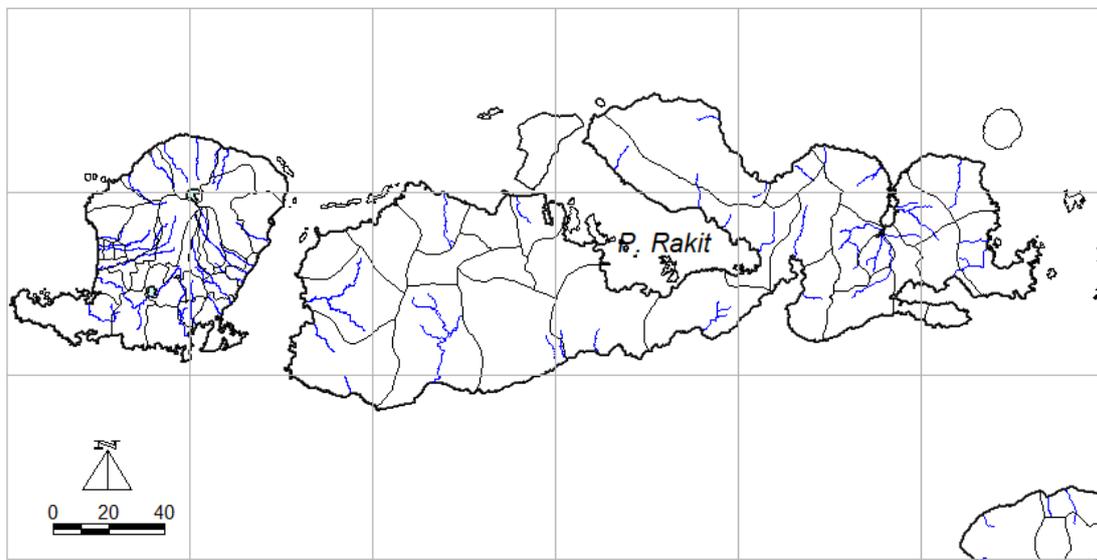
Area sumber tsunami dianggap mengikuti bidang deformasi sesar (fault) gempabumi di dasar laut berdasarkan teori elastisitas Okada. Dalam penampang rekaan sumber tsunami, perubahan awal muka air laut mengikuti pola gerakan bidang sesar (fault) karena panjang gelombang dasar samudra lebih besar daripada kedalaman di atasnya (Gambar 2). Prinsip ini diberikan pada model numerik tsunami sebagai nilai rekaan dari perambatan gelombang tsunami.

Pergerakan/deformasi tanah dasar laut yang membangkitkan tsunami banyak disebabkan oleh deformasi arah vertikal atau disebabkan oleh sesar naik/turun. Pergeseran seperti ini dimanifestasikan oleh komponen dip-slip, pergerakan vertikal lantai samudra naik (uplift) atau turun dengan cepat sebagai respon dari gempabumi, sehingga dapat menaikkan dan menurunkan air laut dalam skala besar, mulai dari lantai samudra sampai ke permukaan.



Gambar 3. (a). Pergerakan deformasi kerak samudra di dasar laut diikuti pergerakan

permukaan air laut berdasarkan teori elastisitas Okada (JMA, 2007), (b). Bentuk pergerakan sumber tsunami di dasar laut mengikuti deformasi bidang sesar (Satake, 2006).



Gambar 4. Lokasi pantai yang digunakan untuk penjalaran pemodelan tsunami

Secara umum deformasi di dasar laut itu terjadi jika ada kejadian gempa besar dengan posisi hiposenter dangkal dan menghasilkan momen seismik. Momen seismik digunakan untuk menghitung jumlah energi yang dilepaskan oleh gempa dengan memperhitungkan perpindahan yang terjadi dalam slip di sepanjang sesar (fault).

Keberterimaan potensi bahaya tsunami dari pemodelan tsunami di calon tapak PLTN adalah ada tidaknya genangan air atau banjir pantai yang mencapai ke daratan hingga ketinggian lebih dari 1 meter. Jika ada maka akan dipertimbangkan.

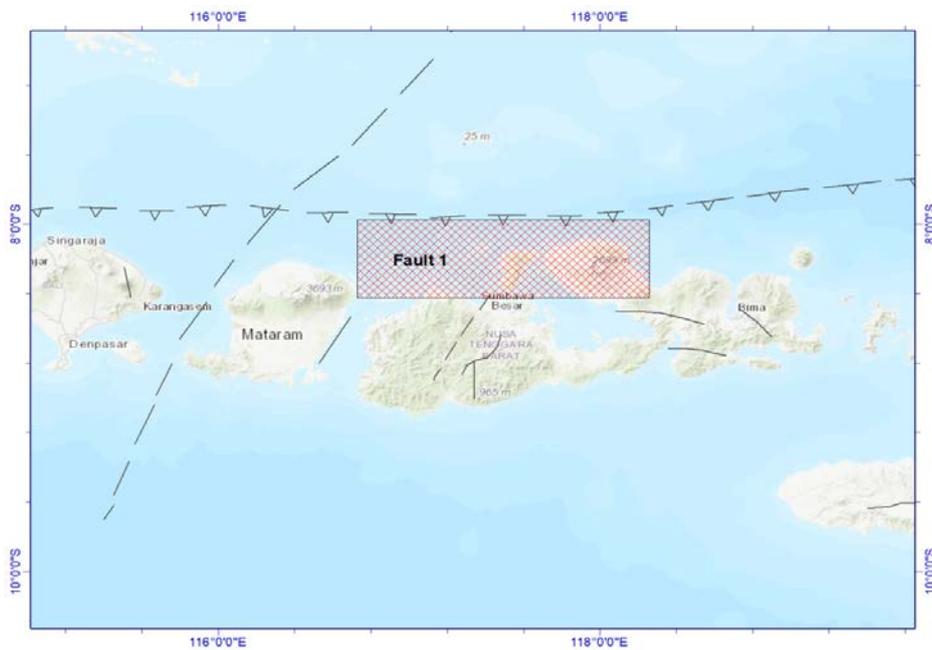
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah terdampak tsunami di NTB berdasarkan simulasi pemodelan tsunami dari sumber gempa *megathrust* berada di pantai selatan NTB berjarak 150 km dari subduksi. Sedangkan di pantai Utara NTB dampak tersebut dapat dirasakan di pantai Sumbawa Barat bagian utara, Sumbawa Besar dan zona wisata laut Samota. Daerah telitian berada di kawasan Samota, teluk Saleh sehingga dalam pemodelan tsunami memerlukan data batrimetri/topografi di kawasan Samota. Jarak sumber gempa/sesar Flores dengan P. Rakit atau kawasan Samota berkisar antara 50 km. Geometri sumber gempa Flores dapat dilihat di Tabel 1. Dampak bencana tsunami yang paling terasa adalah daerah-daerah yang berpenduduk padat, terutama di daerah-daerah pinggir pantai, yang memiliki tingkat kerentanan terhadap resiko tsunami. Daerah-daerah tersebut meliputi seluruh kawasan Pulau Sumbawa meliputi kota-kota kecamatan di pesisir utara Pulau Sumbawa, Kecamatan Hu'u, Sape, Sanggar, kawasan Teluk Bima. Sedangkan kawasan teluk Samota meliputi Kecamatan Plampang, Kempo, Sumbawa, Empang, Moyo Hilir, dan Lape Lapok (Gambar 4).

Identifikasi potensi bahaya tsunami difokuskan di P. Rakit atau Teluk Saleh, menggunakan data batrimetri berasal dari Gebco 30 daerah, kemudian data topografi berasal dari SRTM 1 resolusi 30m daerah dengan tinggi kontur maksimum 175 m dari permukaan laut. Menggunakan software TUNAMI berbasis LINUX, menghasilkan nilai tertinggi adalah 1.86 m. Nilai tersebut berada di tide 5 yaitu sebelah pantai tenggara P. Rakit (Gambar 5). Tide 5 merupakan nama lokasi dalam pembagian pemodelan tsunami yang dapat diketahui ketinggiannya airnya.

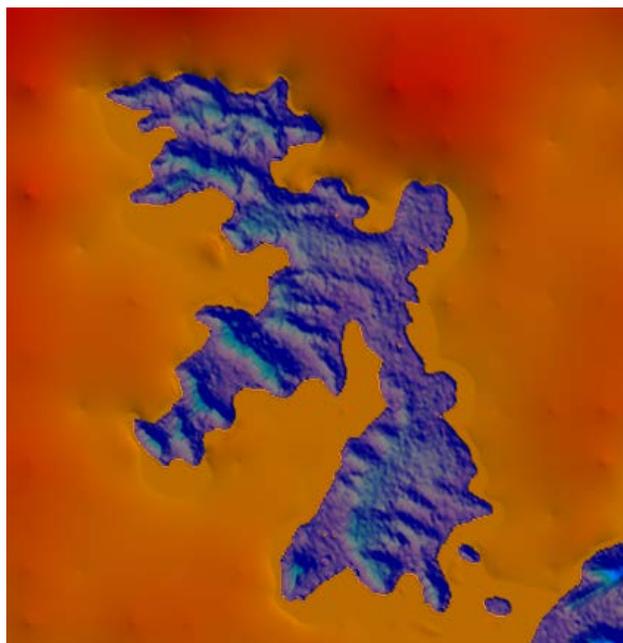
Tabel 1. Geometri Patahan Pembangkit Tsunami

Parameter	Fault_1
Fault origin Longitude (deg)	116.729
Fault origin Latitude (deg)	-7.973
Strike (deg)	90
Dip (deg)	20
Slip angle	90
Slip (m)	10
Fault length(m)	175000
Fault width(m)	75000
Depth (m)	10000

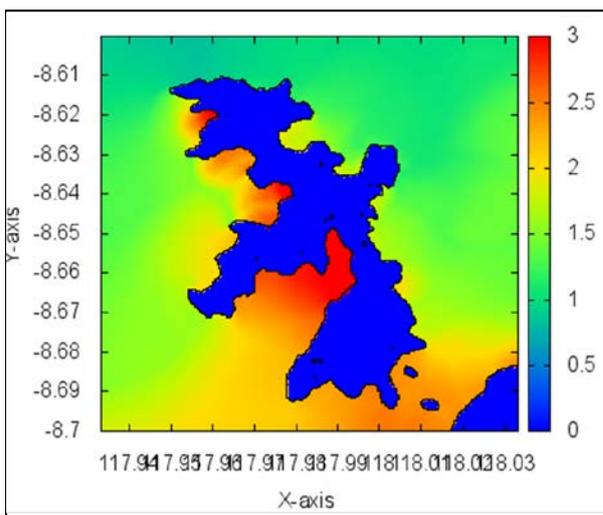


Gambar 5. Peta penyebaran patahan aktif flores di Sumbawa, NTB

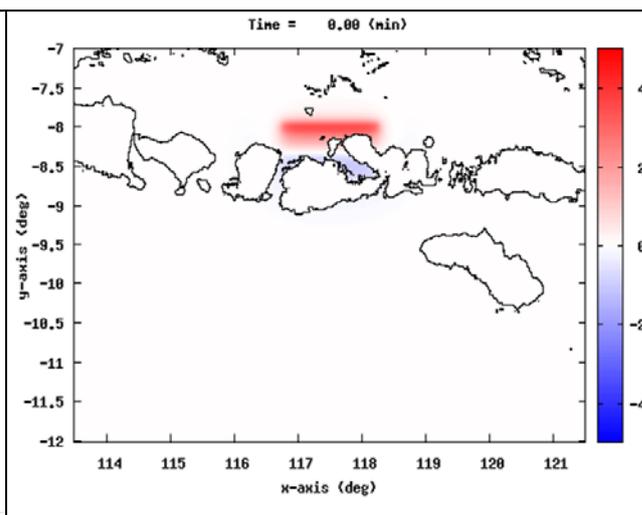
Sumber Gempabumi, luasan dan sumber gempa/patahan, dihitung berdasarkan Scalling Law Wells & Coppersmith (1994) yang kemudian dimodifikasi. Gempa tersebut menurut katalog gempa BMKG pernah terjadi dengan magnitudo yang cukup besar dan terakhir Agustus 2018 skala 7.8 Richter dan tidak menghasilkan tsunami. Secara umum tsunami terjadi jika sumber gempa terjadi di laut model besarnya adalah sesar normal atau sesar naik, Gambar 5. Untuk pemodelan dalam penelitian ini digunakan sesar normal skala Richter M 8, kedalaman gempa dangkal. Sesar yang menjadi parameter pemodelan tsunami adalah sesar aktif Flores, secara geometri memiliki panjang 175 km, lebar 75 km dan kedalaman gempa 10 km, Tabel 1.



Gambar 6. Data batimetri (Gebco 30)



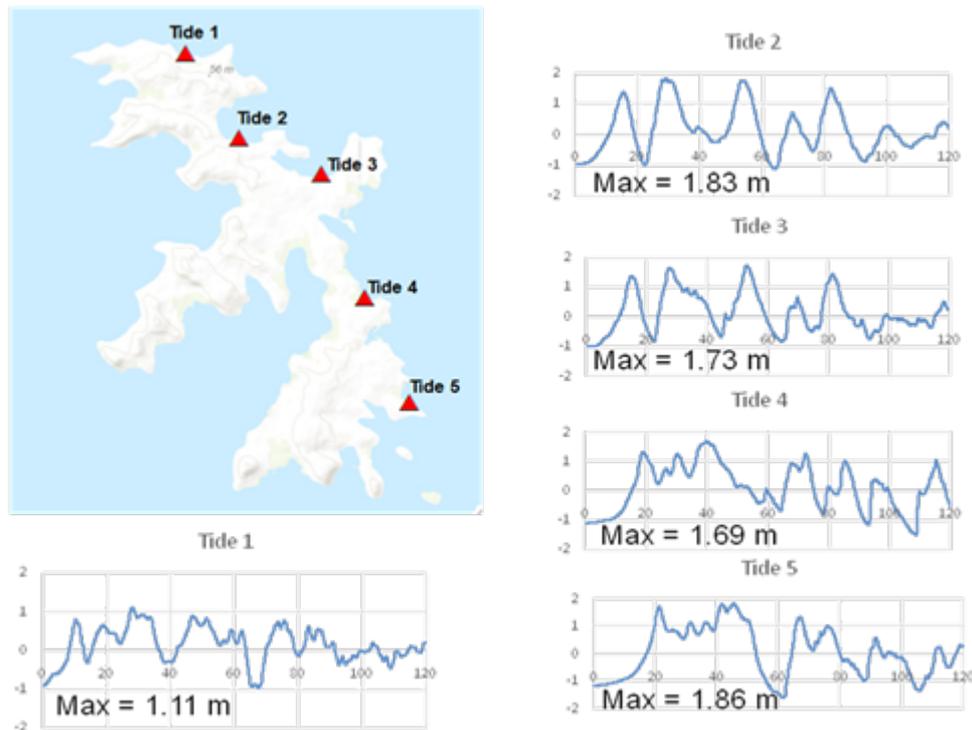
Gambar 7. Data batimetri (Gebco 30)



Gambar 8. Penjalaran air akibat tsunami

Batimetri yang menggambarkan kedalaman laut P Rakit dan sekitarnya digunakan sebagai parameter pemodelan tsunami, data tersebut berasal dari data Gebco 30. Melihat dari kedalaman laut, daerah terdalam di P Rakit berada di pantai timur laut, menunjukkan warna lebih tua dari kedalaman sekitarnya, Gambar 6. Sesuai dengan kedalamannya banjir pantai akan lebih tinggi dibanding pantai lainnya di sekitar tapak P. Rakit.

Hasil pemodelan tsunami menunjukkan tinggian air di pantai yang dapat terjadi di provinsi NTB dan sekitarnya. Penjalaran banjir pantai yang di modelkan dari *software* GMT (*Generic Mapping Tool*) yang merupakan *software open source* berbasis LINUX. Output dari *software* TUNAMI yaitu berupa *run up* dan waktu tiba tsunami di titik terdampak. Tinggian air dapat dianalisis setiap titik tide yang terbagi menjadi 6 tide, tertinggi di tide 5 (Gambar 10).



Gambar 10. Hasil pemodelan tsunami di P. Rakit

## KESIMPULAN

Dari hasil pemodelan tsunami yang telah dilakukan dapat diperoleh hasil bahwa gempabumi potensi tsunami bisa berdampak di Pulau Rakit, NTB, ketinggian tsunami di pesisir pantai Pulau Rakit bervariasi antara 1.11 m – 1.86 m. Inundasi terdapat di sebagian area di Pulau Rakit meskipun kecil, dimana yang terdampak paling luas di Pulau Rakit bagian selatan. Hal ini diakibatkan karena topografi yang lebih rendah di bagian selatan.

Data batimetri dan topografi sangat berpengaruh dalam penjalaran tsunami. Diperlukan data kekasaran lahan untuk menentukan nilai *Manning Coefficient* untuk menghasilkan pemodelan tsunami yang lebih baik. Kecepatan tsunami akan menurun drastis saat nilai roughness cukup tinggi. Untuk itu sebaiknya dibuat kawasan hutan pantai (*green belt*) di area antara pantai dan lokasi tapak untuk meningkatkan *roughness*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur Alhamdulillah kehadapan Allah SWT, atas izinnya dapat menyelesaikan penelitian pemodelan tsunami, sesuai rencana. Hal ini semua berkat kerjasama yang baik, untuk itu kami menyampaikan terima kasih setinggi tingginya kepada Bapak Dr. Suparman Kapus PKSEN, dan Dr. Sunarko selaku Kabid KDT. Terima kasih juga kami sampaikan kepada narasumber Tatok Yatimantoro, SSi., Dipl. Tsu., MMD, serta teman-teman yang telah mendukung penelitian ini hingga selesai.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PKSEN, "Laporan Dokumen Pemetaan Potensi Tapak PLTN di Indonesia, studi kasus di NTB", Dokumen laporan penelitian (tidak terpublikasi) tahap pra survei, Jakarta (2018).
- [2] BMKG, "Laporan Pengamatan Gempa di Nusa Tenggara Barat", Laporan pemantauan gempa, Jakarta, 2018.
- [3] PUSPITO N. "Indonesia Memang Rawan Tsunami". [www.bppt.go.id](http://www.bppt.go.id), 2007.
- [4] HORSPOOL, N., PRANANTYO, I., GRIFFIN J., LATIEF, H., NATAWIDJAYA, D., KONGKO, W., THIO, H., "A Probabilistic Tsunami Hazard Assessment for Indonesia". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 31053122. doi: 10.5194/nhess-14-3105-2014
- [5] SUTOWIJOYO, "Tsunami, Karakteristik dan Penyebabnya". Website <http://io.ppi-jepang.org>, 2005.

- [6] TATOK YATIMANTORO dkk., "Analisis Potensi Rambatan Tsunami Di pantai Utara Desa Dulukapada dan Deme1 Kab. Gorontalo Utara Untuk Mitigasi Bencana Tsunami", Laporan penelitian, 2018.
- [7] SATAKE, KENJI, "Tsunami and Earthquake, Geological Survey of Japan", National Institute of Advance Industrial Science and Technology, IISEE (International Institute of Seismology and Earthquake Engineering), Tsukuba, Jepang, 2006.
- [8] IOC. "Tsunami Glossary". Intergovernmental Oceanographic Commission, UNESCO. IOC Technical Series, 85, Paris, 2008.
- [9] KANAMORI, H., "Mechanism of tsunami earthquake". Physics of the Earth and Planetary Interiors 6: 246-259. Japan, 1972.
- [10] BMKG. "Buku Pedoman Pelayanan Peringatan, Dini Tsunami" InaTEWS, Jakarta inatews.bmkg.go.id, 2014.
- [11] IMAMURA, F., YALCINER, AHMET CEVDET, OZYURT, GUILIZAR, "Revision, Tsunami Modelling Manual", DCRC (Disaster Control Research Center), Tohoku University, Japan, April 2006.
- [12] GOTO, C., OGAWA, Y., SHUTO, N., and IMAMURA, F. "Numerical Method of Tsunami Simulation With The Leap-Frog Scheme (IUGG/IOC Time Project)". IOC Manual. UNESCO, No. 35. Japan, 1997.
- [13] YANAGISAWA, HIDEAKI, "Numerical Simulation of Tsunami and its Application". Lecture Note. IISEE, Tsukuba, Japan [12]. JMA (Japan Meteorological Agency), March 2007 Edition, Draft of Manual on Operation Systems for Tsunami Warning Service Japan, 2012.
- [14] LATIEF, H., PUSPITO, N. T., & IMAMURA, F.. "Tsunami Catalog and Zones in Indonesia". Journal of Natural Disaster Science, 22 (1), 25-43, Jakarta, 2000.
- [15] BRYANT, EDWARD. "Tsunami The Underrated Hazard" (Second Edition). Springer-Praxis Books In Geophysical Sciences. ISBN 978-3-540-74273-9 Springer Berlin Heidelberg New York, 2008.

**DISKUSI/TANYA JAWAB :**

**1. PERTANYAAN :**

Untuk masalah tsunami mengapa mengambil nilai 5m, padahal kejadian tsunami bisa dengan tinggi gelombang 7m.

**JAWABAN :**

Untuk 5m itu adalah posisi bangunan di atas p.a.i yang kemudian dianalisis tsunami hasilnya 1,9m (2m) sehingga masih layak untuk menjadi tapak potensial.

**2. PERTANYAAN :**

Material dari letusan gunung api (Tambora) apakah bisa dipertimbangkan dengan menggunakan analisis ini?

**JAWABAN :**

Sangat bisa dianalisis sejauh memang memungkinkan material turun ke laut, yang perlu diperhatikan adalah topografinya

## **ANALISIS PERENCANAAN INFRASTRUKTUR KELISTRIKAN KALIMANTAN BARAT UNTUK PERSIAPAN PEMBANGUNAN PLTN**

**Laili Farah, Citra Candranurani**

*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir,*

*Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan 12710*

*email: laili.farah@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

**ANALISIS PERENCANAAN INFRASTRUKTUR KELISTRIKAN KALIMANTAN BARAT UNTUK PERSIAPAN PEMBANGUNAN PLTN.** Telah dilakukan analisis studi aliran daya sistem kelistrikan Kalimantan Barat (Kalbar) dengan menggunakan software ETAP. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui kesiapan infrastruktur kelistrikan di Kalbar dengan cara mengetahui lokasi optimum penyaluran daya dari PLTN nantinya sesuai rencana pengoperasian di tahun 2031. Metode yang digunakan adalah studi aliran daya dengan model perhitungan Newton Raphson untuk merencanakan dan mengetahui besarnya daya yang ada, serta memperoleh kondisi mula pada perencanaan sistem yang baru. Skenario yang dipakai adalah semua PLTD yang beroperasi di tahun 2019 di-off kan. Hasil penelitian menunjukkan optimumnya penyerapan daya dari PLTN terjadi di tiga lokasi yaitu GI Sei Raya, GI Siantan, dan GI Kota Baru. Lokasi yang paling optimum berada di GI Sei Raya dengan faktor kapasitas 75,4%. Sedangkan faktor kapasitas di GI Siantan adalah 73,2% dan di GI Kota Baru adalah 72,8%. Kesimpulannya adalah letak ketiga GI ini dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk lokasi beroperasinya PLTN karena lokasi tersebut berada di pinggir pantai. Agar lebih optimum dan efisien perlu dilakukan skenario tambahan untuk mencapai penyerapan daya PLTN sebesar minimum 80%.

Kata kunci: Kalbar, lokasi optimum, PLTN, studi aliran daya

### **ABSTRACT**

**ANALYSIS OF ELECTRICITY INFRASTRUCTURE PLANNING, WEST KALIMANTAN FOR PREPARATION OF NPP DEVELOPMENT.** West Kalimantan (Kalbar) electricity system power flow analysis has been conducted using ETAP software. The research objective is to determine the readiness of electricity infrastructure in West Kalimantan by knowing the optimum location of power distribution from the nuclear power plant later according to the operating plan in 2031. The method used is the study of load flow with Newton Raphson calculation models to plan and find out the amount of power available, and obtain the initial conditions in the planning of the new system. The scenario used is that all PLTDs operating in 2019 will be turned off. The results showed the optimum absorption of power from nuclear power plants occurred in three locations, namely GI Sei Raya, GI Siantan and GI Kota Baru. The most optimum location is in GI Sei Raya with a capacity factor of 75.4%. While the capacity factor in the GI Siantan is 73.2% and in the GI Kota Baru is 72.8%. The conclusion is the location of the three GIs can be taken into consideration for the location of the operation of the nuclear power plant because the location is on the coast. To be more optimum and efficient, additional scenarios need to be carried out to achieve a minimum 80% absorption of nuclear power.

Keyword: West Kalimantan, optimum location, load flow study

### **PENDAHULUAN**

Kebutuhan listrik di Kalbar setiap tahunnya terus meningkat dan jumlah kapasitas daya pembangkit yang eksisting di Kalbar hampir seimbang dengan beban puncak. Di tahun 2019, beban puncak di Provinsi Kalbar bisa mencapai 541 MW dengan laju pertumbuhan beban puncak setiap tahunnya yaitu sebesar 5,6%. Sedangkan total daya yang terpasang di Kalbar adalah 662,6 MW dan total daya mampunya sebesar 633,1 MW. Total daya mampu ini sudah termasuk dengan daya yang diimpor dari Serawak, Malaysia sebesar 230 MW dimana beroperasi 100 MW pada saat beban dasar dan tambahan 130 MW pada saat beban puncak. Selain itu, sebagian besar pasokan listrik masih didominasi oleh pembangkit berbahan bakar

minyak. Komposisi pembangkit ini menyebabkan biaya pokok produksi (BPP) di Provinsi tersebut meningkat [1].

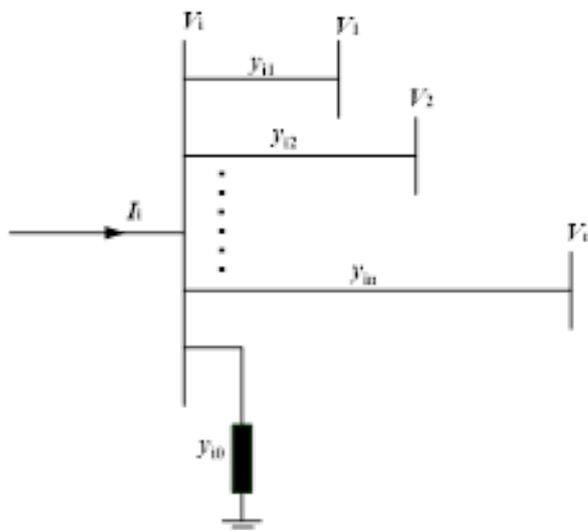
Sistem kelistrikan di Kalbar belum memiliki cadangan pembangkitan sehingga bisa menyebabkan pasokan listriknya kekurangan ketika ada pembangkit yang tidak dioperasikan. Untuk meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik di Kalbar sekaligus menurunkan BPP di Provinsi tersebut, berbagai alternatif solusi dilakukan seperti membangun pembangkit yang non-BBM seperti PLTU yang terinterkoneksi ke sistem Kalbar (Sistem Khatulistiwa), pengembangan transmisi yang nantinya akan diarahkan ke Selatan dan ke Timur dengan jaringan 150 kV, dan pembangunan pembangkit EBT di daerah-daerah *isolated*. Alternatif solusi tersebut didasarkan atas potensi sumber energi di Provinsi Kalbar yang tersebar mulai dari tenaga air, biomassa, biogas, batubara, dan uranium. Potensi uranium di Kabupaten Melawi juga dapat digunakan sebagai energi primer PLTN 100 MW [1].

Pemanfaatan uranium ini masih merupakan rencana dan menunggu adanya kebijakan dari Pemerintah dengan didukung studi kelayakan pembangunan PLTN. Dengan adanya rencana tersebut, maka Penulis melakukan penelitian mengenai aliran daya dari PLTN di Pemrov Kalbar dalam rangka persiapan infrastruktur kelistrikan menggunakan PLTN dengan menggunakan data kelistrikan Kalbar di tahun 2019. Pengoperasian PLTN sendiri direncanakan akan memikul beban dasar [2].

Penelitian Citra dkk menggunakan 3 tahapan proses untuk mengetahui lokasi yang paling optimum penyaluran daya PLTN sebagai upaya persiapan infrastruktur kelistrikan di Kalbar. Tahapan tersebut diawali dengan perhitungan perkiraan beban, pembangkit yang dibutuhkan, dan perencanaan kebutuhan transmisi. Tahapan perkiraan beban yang dilakukan adalah dengan menghitung beban berdasarkan laju pertumbuhan beban dari tahun 2023 hingga tahun 2031. Data yang digunakan menggunakan data sistem kelistrikan Kalbar di tahun 2013 [2].

## DASAR TEORI

Studi aliran daya adalah metode analisis sinusoidal yang menggunakan persamaan aljabar non linier untuk mengetahui nilai dari tegangan, sudut daya, daya aktif dan reaktif di suatu bus. Studi ini digunakan salah satunya untuk merencanakan perluasan system tenaga listrik dan dalam menentukan operasi terbaik untuk sistem jaringan kelistrikan. Ada 3 metode dasar dalam perhitungan aliran daya yaitu: Gauss-Seidal, Newton Raphson, Decoupled, dan Fast Decoupled. Metode yang paling sering digunakan adalah metode Newton-Raphson [3].



Gambar 1. Konsep model sistem bus

Arus pada setiap bus adalah:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j - Y_i V_i \quad (1)$$

Atau dalam bentuk polar, persamaan (1) di atas menjadi:

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2)$$

Persamaan daya pada bus  $i$  dapat ditulis :

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (3)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2) ke persamaan (3), akan diperoleh persamaan :

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (4)$$

Daya aktif dan daya reaktif di setiap bus ditunjukkan pada persamaan (5) dan persamaan (6):

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (6)$$

## METODOLOGI

Metodologi penelitian ini diawali dengan pengumpulan data. Data yang dikumpulkan adalah data system Kalbar yang eksisting meliputi data pembangkit, transmisi, transformator, dan beban. Selanjutnya dari data tranformator dan beban dihitung proyeksi beban dan kebutuhan transformatornya dari tahun 2028 hingga tahun 2031.

Data yang telah dikumpulkan dan juga proyeksinya tersebut kemudian dimasukkan ke dalam software ETAP dengan memodelkan single line diagramnya. Tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan aliran daya dengan software ETAP. Single line diagram system kelistrikan Kalbar merupakan system interkoneksi 150 kV, beberapa isolated system, dan GI Mambong (SESCO Malaysia). Isolated system terdiri dari system Sambas, Bengkayang, Ngabang, Ketapang, Sanggau, Sekadau, Putussibau, Sintang, dan Nanga Pinoh. Beban puncak pada tahun 2019 adalah 541 MW dan menjadi 878 MW di tahun 2028 atau laju pertumbuhan rata-ratanya adalah 5,6% per tahun.

Table 1. Perencanaan sistem kelistrikan Kalbar tahun 2019-2028

No.	Tahun	Beban Puncak (MW)	Pembangkit (MW)	Transmisi (kms)
1	2019	541	178	480
2	2020	580	245	1478
3	2021	624	178	408
4	2022	670	100	740
5	2023	704	103	-
6	2024	737	11	-
7	2025	772	108	60
8	2026	808	100	-
9	2027	842	-	-
10	2028	878	14	-

Pengembangan pembangkit yang paling banyak direncanakan hingga tahun 2028 adalah PLTU. Jumlah kapasitas pembangkit yang direncanakan seluruhnya adalah 1.035 MW. Sebagiannya sudah masuk dalam status konstruksi yaitu PLTU Parit Baru 1 & 2, PLTU Kalbar 1, dan PLTU Pantai Kura-Kura dengan total 405 MW. Sisanya merupakan pembangkit yang masih dalam status rencana. Pembangkit yang masih dalam status rencana sebagian besar merupan pembangkit yang berasal dari energi baru terbarukan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Proyeksi beban dari tahun 2029 hingga tahun 2031 dibuat dengan pertumbuhan sebesar 5,6% per tahun. Beban puncak di tahun 2031 berdasarkan proyeksi tersebut adalah 1034 MW. Dengan beban seperti itu, maka dihitung kebutuhan tranformatornya di setiap GI.

Tabel 2. Proyeksi kebutuhan beban tahun 2029-2031

No.	Tahun	Beban Puncak (MW)
1	2029	927
2	2030	979
3	2031	1034

Penambahan pembangkit dilakukan dalam rangka menjaga keandalan system system Kalbar seiring dengan pertumbuhan beban yang meningkat tiap tahunnya. Pengoperasian PLTN direncanakan mulai di tahun 2031 dengan kapasitas 100 MW dan dikatakan optimum bila mampu membangkitkan daya sebesar kapasitasnya. Analisis pada penelitian ini dilakukan di 20 GI dalam system kelistrikan Kalbar untuk melihat lokasi yang paling optimal menyalurkan daya dari PLTN secara maksimal.

Table 3. Lokasi penempatan PLTN

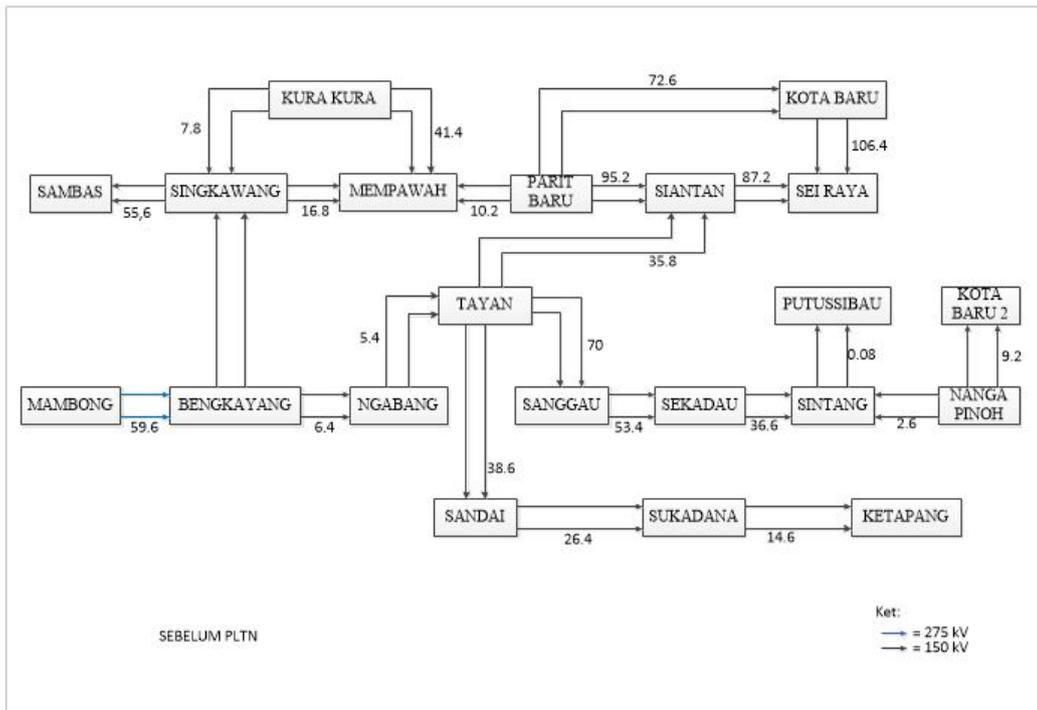
No.	Gardu Induk	Daya Keluaran PLTN (MW)
1	Siantan	73.2
2	Seiraya	75.4
3	Parit Baru	70.6
4	Mempawah	68.4
5	Singkawang	63.7
6	Kota Baru	72.8
7	PLTU Kura-kura	62.3
8	Sambas	62.6
9	Sanggau	68.5
10	Tayan	64.1
11	Bengkayang	58.4
12	Ngabang	60,0
13	Sekadau	69.5
14	Sintang	69,0
15	Nanga Pinoh	59.9
16	Ketapang	59.2
17	Sandai	61.5
18	Kota Baru 2	53.1
19	Sukadana	60.8
20	Putussibau	55.7

Pada Tabel 3 ditampilkan hasil keluaran daya dari PLTN di setiap GI di system kelistrikan Kalbar. PLTN sebagai salah satu peembangkit pemikul beban dasar dapat beroperasi dalam jangka waktu lama. Selain itu unit pembangkit pemikul dasar harus dapat dioperasikan dengan faktor kapasitas tinggi yaitu 75% - 100%. Berdasarkan hal tersebut, terdapat tiga lokasi yang dapat menyalurkan daya paling besar yaitu GI Seiraya, GI Siantan, dan GI Kota Baru. Lokasi penempatan PLTN paling optimum adalah di GI Seiraya dengan factor kapasitas sebesar 75,4%.

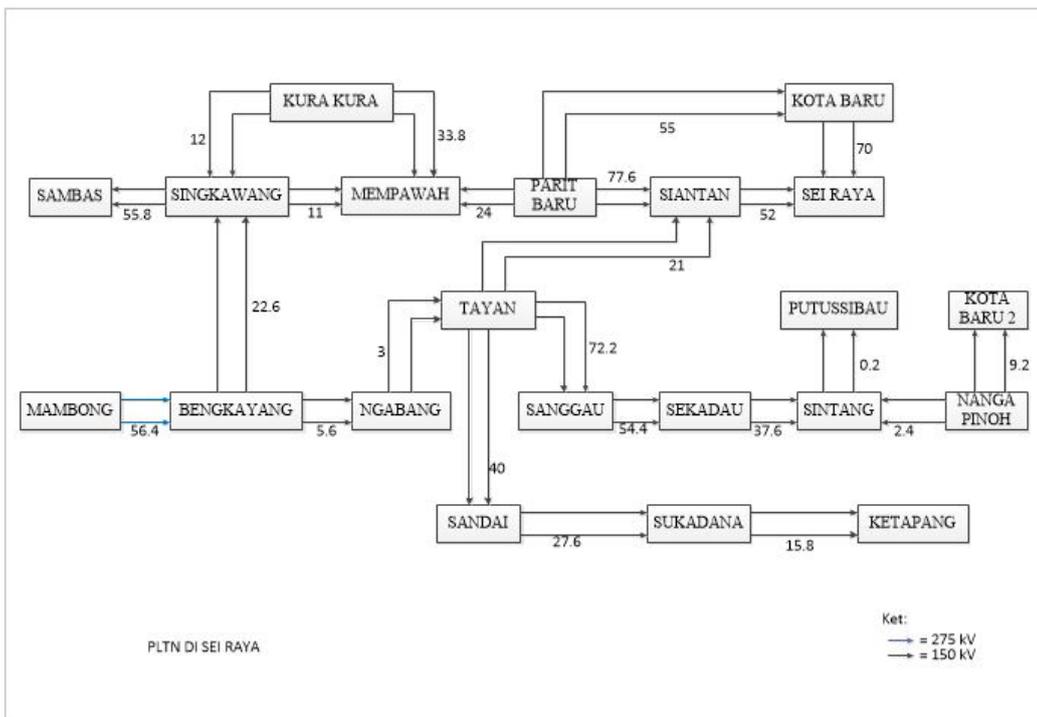
Pada Gambar 2 ditunjukkan bahwa sebelum PLTN beroperasi di tahun 2031, jumlah impor listrik dari SESCO melalui GI Mambong sebesar 59,6 MW. Kondisi ini akan berubah dengan beroperasinya PLTN di system Kalbar. Banyak faktor yang mempengaruhi hal tersebut diantaranya parameter saluran dan parameter pembangkit.

Gambar 3 menunjukkan bahwa setelah daya PLTN disalurkan melalui GI Seiraya menyebabkan impor listrik dari SESCO turun menjadi 56,4 MW. GI Seiraya yang sebelumnya membutuhkan suplai daya dari GI lain sebesar 193.6 MW berkurang menjadi 122 MW dengan adanya daya PLTN yang disambungkan ke GI Seiraya.

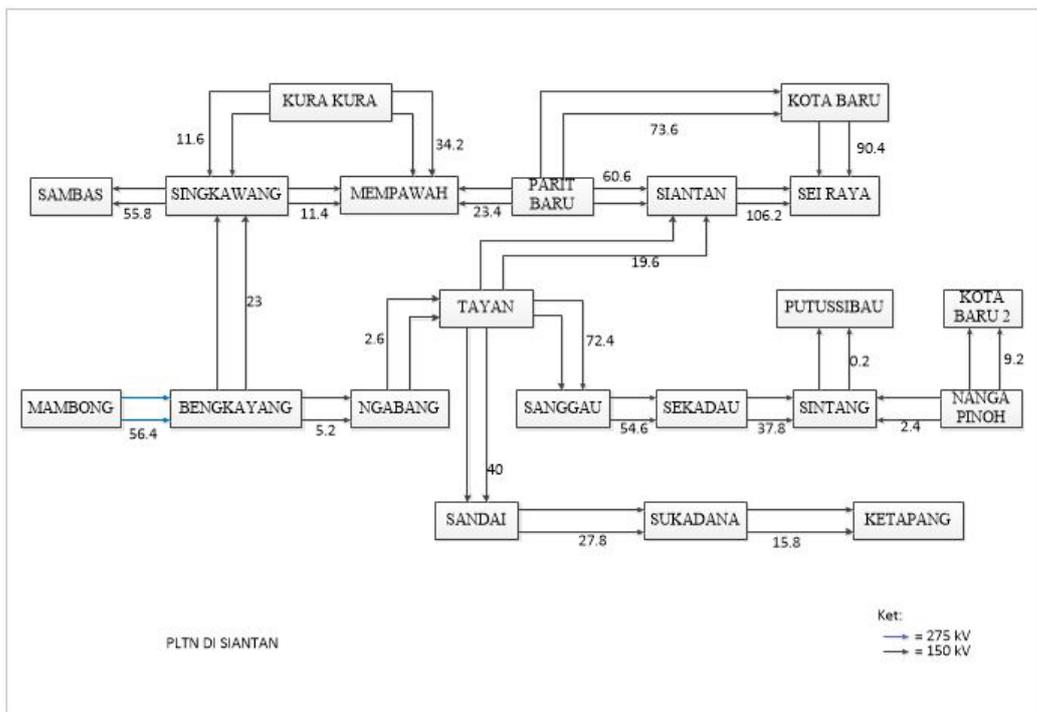
Gambar 4 menunjukkan aliran daya Kalbar setelah daya PLTN disalurkan melalui GI Siantan. Penyaluran daya PLTN pada GI ini menyebabkan impor listrik dari SESCO turun dari 59,6 MW menjadi 56,4 MW. Sebelum daya PLTN disambungkan, GI Siantan membutuhkan suplai daya dari GI lain sebesar 131 MW dan memasok daya ke GI lain sebesar 87,2 MW. Setelah adanya penyambungan daya PLTN, GI Siantan membutuhkan suplai daya 80,2 MW dan memasok daya ke GI lain sebesar 106,2 MW.



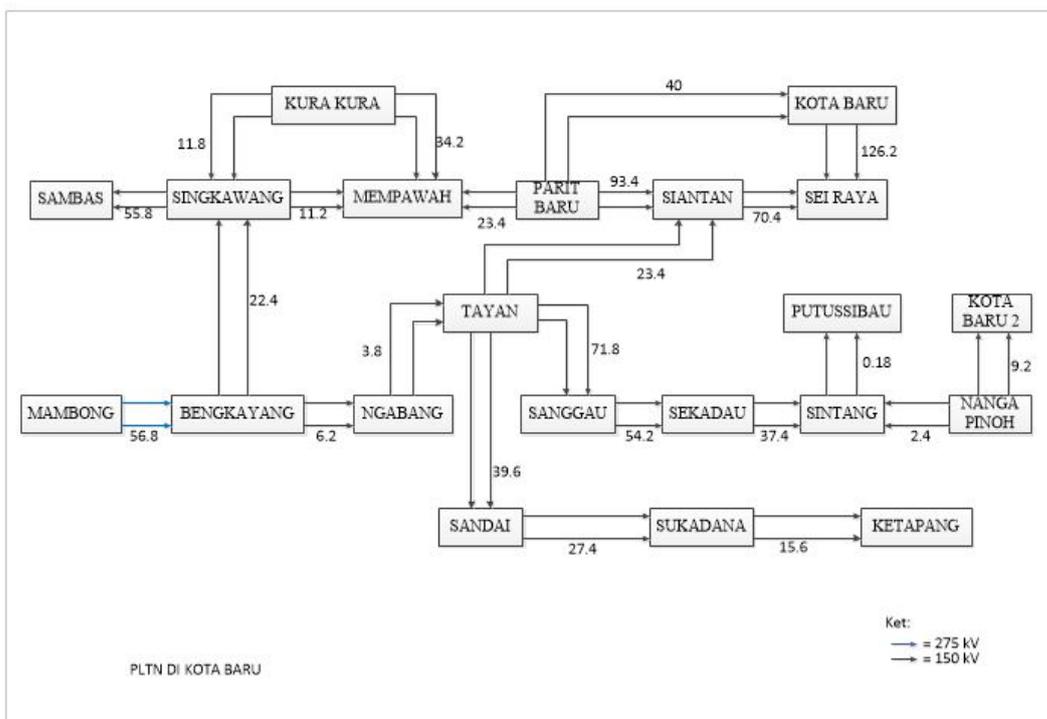
Gambar 2. Aliran daya Kalbar tahun 2031 sebelum PLTN beroperasi



Gambar 3. Aliran daya Kalbar setelah daya PLTN disalurkan melalui GI Seiraya



Gambar 4. Aliran daya Kalbar setelah daya PLTN disalurkan melalui GI Siantan



Gambar 5. Aliran daya Kalbar setelah daya PLTN disalurkan melalui GI Kota Baru

Gambar 5 menunjukkan bahwa setelah daya PLTN disambungkan ke GI Kota Baru menyebabkan impor listrik dari SESCO tutun dari 59,6 MW menjadi 56,8 MW. GI Kota Baru yang sebelumnya membutuhkan suplai daya dari GI lain sebesar 72,6 MW turun menjadi 40 MW.

Ketiga GI yang disebutkan di atas memiliki factor kapasitas di atas 70% apabila daya PLTN di sambungkan ke GI tersebut. Selain itu, terdapat kesamaan di antara ketiga GI tersebut yaitu impor listrik dari SSCO berkurang dan menjadi surplus listrik.

## KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan hasil bahwa ada 3 kandidat lokasi penyaluran daya PLTN yang optimal yaitu GI Seiraya, GI Siantan, GI Kota Baru. Ketiga GI tersebut memiliki factor kapasitas di atas 70%. Factor kapasitas ini masih kurang dari 80% seperti yang disyaratkan (di atas 80%).

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] PT. PLN (PERSERO), "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT. PLN (Persero) 2019- 2028", PT. PLN (Persero), Jakarta, 2019.
- [2] Citra Candranurani, dkk, "Analisis Aliran Daya Untuk Penentuan Lokasi Penyaluran Daya PLTN Pada Sistem Kalimantan Barat", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, Vol. 17, No. 1, Tahun 2015.
- [3] NURHANI AMIN, "Perbandingan Metode Gauss-Siedel dan Metode Newton- Raphson dalam Solusi Aliran Daya", Jurnal SMARTek, Vol. 9 No. 3, Hal. 212-222, 2011.
- [4] Emmy Hsea dan YUSAK TANOTO, "Perbandingan Analisa Aliran Daya dengan Menggunakan Metode Algoritma Genetika dan Metode Newton Raphson", Jurnal teknik elektro Vol 4, No. 2, hal. 63-69, Universitas Kristen Petra, 2004.
- [5] DESDM, "Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025", Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM), Jakarta, 2006.
- [6] G. RECHBERGER dkk, "Systematical Determination of Load Flow Cases for Power System Planning", Bucharest Power Tech Conference, Romania, 2009.
- [7] Hadi Saadat, "Power System Analysis", WCB/McGraw-Hill, Singapore, 1999.
- [8] Wiku LW dan Rizki FSB, "Studi Pengembangan Kelistrikan Kalimantan Barat dengan Opsi Nuklir Berdaya Kecil dan Menengah", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir, hal. 87-96, 2014.
- [9] A. Supriyadi, "Analisa Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Software ETAP 12.6", Forum Teknologi, Vol 6, No 3
- [10] A. Gustian Nigara, dkk. "Analisis Aliran Daya Sistem Tenaga Listrik pada Bagian Texturizing di PT Asia Pasific Fibers Tbk Kendal menggunakan Software ETAP Power Station 4.0", Jurnal Teknik Elektro, Vol 7, No. 1, Tahun 2015.
- [11] Deni Sefrudin. "Analisis Electric Load Flow (Aliran Daya Listrik) Dalam Sistem Tenaga Listrik Menggunakan Software ETAP Power Station 4.00 Di Pt. Lokatex Pekalongan", Edu Elekrika Journal. Vol 4, No. 1, Tahun 2015.
- [12] Cahyo Kumolo. "Analisis Gangguan Hubung Singkat Pada Sistem Tenaga Listrik di KSO Pertamina EP-GEO Cepu Indonesia Distrik 1 Kawangan Menggunakan Software ETAP 12.6", Publikasi Ilmiah Teknik Elektro UMS, Vol 16, No1, Tahun 2016.

## DISKUSI/TANYA JAWAB :

### 1. PERTANYAAN :

Apa yang dimaksud dengan komponen kelas 1E?

### JAWABAN :

Yang dimaksud dengan komponen elektrikal class 1E adalah komponen elektrikal yang berhubungan dengan sistem keselamatan

### 2. PERTANYAAN :

Untuk input data ke program ETAP apakah juga dilakukan pemetaan infrastruktur kelistrikan yang ada di Kalimantan Barat? Infrastruktur kelistrikan apa saja yang diperhitungkan

### JAWABAN :

Untuk penginputan data, memang dilakukan pemetaan infrastruktur berupa jaringan transmisi di sistem kelistrikan Kalimantan Barat. Data jaringan transmisi ini meliputi panjang transmisi dan juga impedansi kabel

HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN

## KAJIAN PENATAAN PERMUKIMAN TRADISIONAL BANTARAN SUNGAI KAPUAS DI KABUPATEN SINTANG

Firsta Rekayasa Hernovianty<sup>1</sup>, Erni Yuniarti<sup>1</sup>, Muji Listyo Widodo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, Jl. Prof H. Hadari Nawawi, Pontianak, 78124

<sup>2</sup>Fakultas Teknik Universitas Panca Bhakti, Jl. Kom Yos Sudarso, Pontianak, 78113

email: teta.firsta02@gmail.com

### ABSTRAK

**KAJIAN PENATAAN PERMUKIMAN TRADISIONAL BANTARAN SUNGAI KAPUAS DI KABUPATEN SINTANG.** Daerah Aliran Sungai Kapuas khususnya di Kabupaten Sintang masih banyak dijumpai kearifan lokal masyarakat setempat dalam mengadaptasi manfaat sungai berupa rumah-rumah terapung (lanting). Semakin berkembangnya kegiatan pembangunan dan tingginya pertambahan penduduk menyebabkan perubahan penggunaan lahan di kawasan bantaran sungai ikut dimanfaatkan untuk kegiatan permukiman penduduk yang tumbuh secara organik dan tidak tertata. Dengan demikian perlu adanya arahan konsep penataan permukiman tradisional di kawasan tepi sungai Kabupaten Sintang untuk menghindari terjadinya penurunan kualitas sungai dan mewadahi kecenderungan perkembangan berbagai aktivitas yang berpotensi timbul di kawasan bantaran sungai. Pendekatan penelitian adalah pendekatan kualitatif berupa kajian studi literatur yang menitikberatkan pada analisis kebijakan dan peraturan serta analisis konsep penataan permukiman tradisional tepian air. Berdasarkan hasil penelitian yang mempertimbangkan kecenderungan perkembangan permukiman di Kabupaten Sintang menunjukkan bahwa penataan permukiman kawasan tepian air masih menunjukkan prospek yang cukup cerah. Adapun konsep yang ditawarkan berkaitan dengan pengembangan *eco living style* dengan mengedepankan keseimbangan lingkungan dan konteks tata ruang.

Kata kunci: permukiman tradisional, bantaran sungai, sungai kapuas

### ABSTRACT

**STUDY OF TRADITIONAL SETTLEMENT OF KAPUAS RIVERBANKS IN SINTANG REGENCY.** The Kapuas River Basin, especially in Sintang Regency, there is still a lot of local wisdom founded in the local community which adapting the benefits of the river in the form of floating houses (lanting). Increasing development activities and high population growth have led to land use changes in the riverbanks which have also been utilized for residential activities that grow organically and are not organized. Thus, there is a need for guidance on the concept of structuring traditional settlements in the riverbanks of Sintang Regency to avoid a decline in river quality and to accommodate the development trends of various activities that have the potential to arise in riverbanks. The research approach is a qualitative approach in the form of a literature study that focused on the analysis of policies and regulations as well as an analysis of the traditional settlement on waterfront concept. Based on the results of research that considers the development trends of settlements in Sintang Regency shows that the settlement of waterfront areas still shows a bright prospect. The concepts offered are related to the development of *eco living style* by promoting environmental balance and spatial context.

Keyword: traditional settlements, riverbanks, kapuas rivers

### PENDAHULUAN

Sungai mempunyai peran penting dalam hubungannya dengan berbagai aktifitas masyarakat secara keseluruhan, baik aktifitas permukiman ataupun aktifitas sosial ekonomi lainnya. Pemanfaatan sungai sebagai jalur transportasi akan mengakibatkan penggunaan lahan yang bervariasi pada bagian tepinya, dimana penggunaan lahan tepian ini selain akan membawa dampak positif bagi pertumbuhan dan perkembangan wilayah, namun juga berpotensi mengakibatkan permasalahan pengembangan wilayah [1]. Fungsi DAS merupakan suatu fungsi gabungan yang dilakukan oleh semua faktor yang ada di DAS tersebut yaitu vegetasi, topografi, tanah dan permukiman [2].

Kawasan tepian sungai merupakan kawasan tepian air yang memiliki berbagai potensi, terutama berkaitan dengan fungsi dan aksesibilitas yang lebih strategis. Dengan memanfaatkan sungai manusia dapat berpindah-pindah, mendapatkan permukiman baru untuk selanjutnya menetap dan berkembang menjadi permukiman yang lebih ramai, menjadi desa, lalu berkembang menjadi kota. Peningkatan laju pertumbuhan penduduk yang demikian pesatnya menyebabkan timbulnya berbagai permasalahan, seperti masalah kebutuhan akan ruang, penurunan kualitas lingkungan, penyediaan perumahan, serta konsekuensi peningkatan kebutuhan sarana-prasarana perkotaan akan semakin memperparah kondisi fisik kawasan tepian sungai [3].

Kabupaten Sintang dilalui oleh dua sungai besar yaitu Sungai Kapuas dan Sungai Melawi. Dilihat dari fungsinya, sungai juga dimanfaatkan sebagai jalur transportasi, pemenuhan kebutuhan air bagi penduduk, bahkan tempat tinggal. Adanya keberagaman etnis yang tinggal di sepanjang sungai juga memberikan ciri khas tersendiri bagi Sungai Kapuas. Di Daerah Aliran Sungai Kapuas khususnya di Kabupaten Sintang masih banyak dijumpai berbagai bentuk kearifan lokal masyarakat setempat dalam mengadaptasi manfaat sungai dengan aktivitas sehari-hari. Hal ini dapat dibuktikan dengan adanya beberapa pemanfaatan sungai mulai dari bercocok tanam, tambak ikan, rumah-rumah terapung (lanting) dan MCK-MCK yang juga terapung.

Kawasan tepi air merupakan bagian elemen fisik yang sangat potensial untuk dikembangkan dan dijadikan sebagai kawasan yang hidup (*livable*) dan tempat berkumpulnya masyarakat. Hal ini dikarenakan oleh adanya berbagai aktivitas yang dapat diwadahi di kawasan termasuk kebutuhan penduduk untuk bermukim dan menikmati keindahan alam tepi air [4]. Budaya masyarakat yang biasa hidup di bantaran sungai mengakibatkan berkembangnya permukiman penduduk di sepanjang bantaran sungai Kapuas. Permasalahan yang timbul di permukiman bantaran Sungai Kapuas yaitu permukiman penduduk tumbuh secara organik dan tidak tertata. Dengan demikian perlu adanya arahan konsep penataan permukiman tradisional di kawasan tepi sungai Kabupaten Sintang untuk menghindari terjadinya penurunan kualitas sungai dan mewadahi kecenderungan perkembangan berbagai aktivitas yang berpotensi timbul di kawasan bantaran sungai.

## TEORI

### Permukiman Tepi Air

Perumahan adalah kumpulan rumah sebagai bagian dari permukiman, baik perkotaan maupun perdesaan, yang dilengkapi dengan prasarana, sarana, dan utilitas umum sebagai hasil upaya pemenuhan rumah yang layak huni. Permukiman adalah bagian dari lingkungan hunian yang terdiri atas lebih dari satu satuan perumahan yang mempunyai prasarana, sarana, utilitas umum, serta mempunyai penunjang kegiatan fungsi lain di kawasan perkotaan atau kawasan perdesaan [5]. Permukiman tepi sungai adalah permukiman organik/spontan meskipun pada akhirnya secara spasial permukiman tersebut memunculkan pembentuk lingkungannya sendiri [6]. Pola penyediaan perumahan/permukiman menurut Turner dalam Yunus (2000) secara garis besar perumahan dibagi menjadi dua kelompok yaitu:

- *Housing for people*, dimana penyediaan perumahan untuk masyarakat dilakukan oleh badan pemerintah atau lembaga yang ditunjuk dan diawasi oleh pemerintah. Pada kasus di kawasan tepi sungai khususnya Indonesia pola penyediaan permukiman ini tidak pernah dilakukan.
- *Housing by people*, dimana penyediaan perumahan untuk masyarakat dilakukan sendiri oleh masyarakat tersebut secara individual maupun kelompok. Pada kasus di kawasan tepi sungai khususnya Indonesia pola penyediaan permukiman ini dilakukan bahkan tanpa pengawasan pemerintah dan penentu kebijakan lainnya.

### Klasifikasi Kawasan Sekitar Aliran Sungai

Berdasarkan aktifitas-aktifitas yang dikembangkan, kawasan sekitar aliran sungai dapat dikategorikan sebagai berikut [7]:

- *Cultural*, mewadahi aktifitas budaya, pendidikan dan ilmu pengetahuan.
- *Environmental*, pengembangan kawasan tepi sungai yang bertumpu pada usaha peningkatan kualitas yang mengalami degradasi, memanfaatkan potensi dari keaslian lingkungan yang tumbuh secara alami.

- *Historical*, pada umumnya dikembangkan sebagai upaya konservasi dan restorasi bangunan sejarah yang berada di tepi sungai.
- *Mixed-Use*, penerapan konsep mixed-use merupakan salah satu upaya untuk menyatukan berbagai kepentingan yang pada umumnya menjadi dilemma dalam megembangkan kawasan tepi sungai perkotaan.
- *Recreational*, pengembangan kawasan tepi sungai dengan fungsi aktifitas rekreasi dapat didukung dengan berbagai fasilitas antara lain: taman bermain, taman air, taman duduk, taman hiburan, area untuk memancing, dan lain-lain.

### Morfologi Pemukiman Tepi Sungai

Pola atau bentuk dari pemukiman yang ada di tepi sungai disebabkan oleh perkembangan penduduk yang mendiaminya [8]. Pola dan bentuk pemukiman tepi sungai ini juga dipengaruhi oleh bentuk geografi dan pola bentuknya, dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

Tabel 1. Klasifikasi Pola Permukiman Tepi Sungai [8]

No	Jenis Morfologi	Deskripsi
1.	Morfologi arah daratan	Pemukiman ini menempati dan berkembang dari tepi sungai ke arah daratan mengikuti garis topografi sungai, di mulai dari rumah-rumah yang di bangun pada bantaran di sepanjang muara sungai, rapat antara satu bangunan rumah dengan yang lainnya. Pola pemukiman ini berbentuk piramid terbalik.
2.	Morfologi arah ke air	Pola pemukiman ini mengarah ke tengah sungai dan pemukiman ini didirikan diatas air sungai, berbentuk panggung. Dasar sungai biasanya tidak terlalu dalam dan tinggi bangunan rumah umumnya antara 2,5 - 5 meter untuk menghindari air pasang surut. Pola pemukiman ini berbentuk pyramid
3.	Morfologi selari	Pemukiman ini terbentuk dan berkembang melalui topografi tepian sungai dan pada belakang rumah-rumah dibangun jalan yang terbuat dari titian kayu sejajar dengan rumah lapisan pertama tadi. Pola pemukiman ini berbentuk melengkung mengikuti topografi tepi sungai. Terbentuknya ruang melalui proses alamiah dan organik. Tidak ada pola khusus dalam penempatan ruang pola permukiman hanya mengikuti pola aliran sungai.
4.	Morfologi atas air	Terbentuknya pemukiman ini diatas tanah di tepian sungai yang selalu terjadi pasang surut sungai atau rawa-rawa di tepi sungai, bentuk rumah panggung terbuat dari kayu dan tata letak bangunannya tidak teratur.
5.	Morfologi muka muara	Perkembangan pemukiman ini disepanjang muara sungai dan selat diatas sungai yang mempunyai bentang kecil. Di kedua tepian sungai dihubungkan titian/jembatan kayu yang tidak mengganggu lalu lintas perahu nelayan.
6.	Morfologi gabungan	Pemukiman ini terbentuk berdasarkan gabungan dua atau lebih pola morfologi pemukiman yang diatas. Bentuk pemukiman ini sangat kompleks dan kadang-kadang sulit untuk ditentukan berpola pemukiman apa.

### METODOLOGI

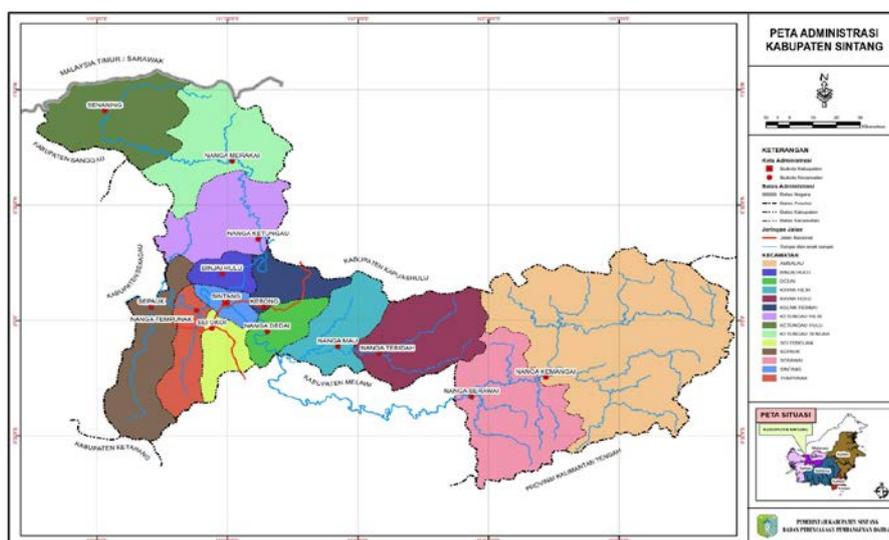
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan studi literatur yang menitikberatkan pada arahan penataan permukiman kawasan tepian sungai. Hal ini diperlukan dalam rangka pengembangan wilayah Kabupaten Sintang secara berkelanjutan dengan mengedepankan budaya lokal dan pelestarian lingkungan. Adapun tahapan analisis yang dilakukan sebagai berikut:

1. Analisis kebijakan dan peraturan pemanfaatan lahan tepian sungai. Beberapa acuan hukum yang berupa undang-undang dan peraturan sebagai dasar pengaturannya penataan bantaran sungai, antara lain :

- o Undang-Undang No. 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang;
  - o Undang-Undang No 1 Tahun 2011 tentang perumahan dan kawasan permukiman;
  - o Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 63/PRT/1993 tentang Garis Sempadan Sungai, Daerah Manfaat Sungai, Daerah Penguasaan Sungai dan Bekas Sungai;
  - o Peraturan Pemerintah No. 35 tahun 1991 tentang Sungai.
2. Analisis konsep penataan permukiman tradisional tepian air (*waterfront*). Peneliti menggali strategi-strategi penataan hunian tepian sungai dengan merujuk beberapa konsep best practice yang telah dilakukan di beberapa daerah baik di dalam maupun di luar Indonesia. Selain itu, pendekatan perencanaan wilayah juga diperlukan untuk memadukan kebijaksanaan berbagai sektor pembangunan ke dalam lingkungan kehidupan dan pengembangan wilayah Kabupaten Sintang.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Kabupaten Sintang memiliki luas wilayah 21.635 Km<sup>2</sup>, yang terdiri dari 14 Kecamatan, 6 Kelurahan dan 281 Desa. Kabupaten Sintang menempati posisi strategis baik dalam konteks nasional, regional dan internasional. Kabupaten Sintang berbatasan langsung dengan Sarawak, Malaysia Timur serta berlanjut ke Brunei Darussalam. Dengan demikian kawasan ini akan menjadi gerbang keluar masuk barang dan orang dari maupun ke Sarawak serta Brunei Darussalam melalui jalur darat.



Gambar 1 Peta Wilayah Administrasi Kabupaten Sintang  
Sumber: Bappeda.sintang.go.id

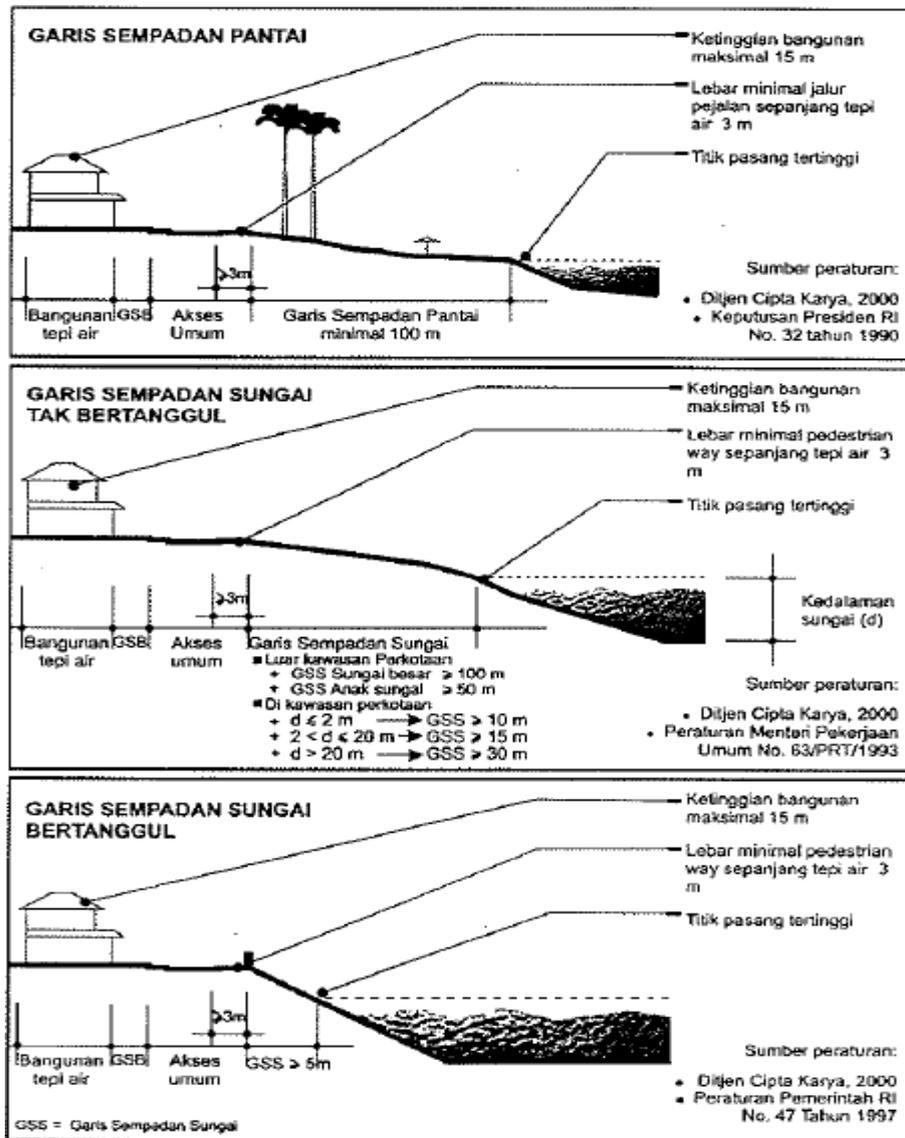
Kabupaten Sintang termasuk dalam katagori kabupaten tertinggal, dan menempati urutan ketujuh dari 10 kabupaten tertinggal yang ada di Kalimantan Barat. Proporsi penduduk miskin di Kabupaten Sintang berdasarkan data BPS Provinsi Kalimantan Barat tahun 2010, berjumlah 46.900 jiwa atau 12,86 % dari total 364.759 jumlah penduduknya. Dimana tingkat kemiskinan di Kabupaten Sintang berada di urutan kelima dari 10 Kabupaten tertinggal di Kalimantan Barat.

### 1. Analisis Kebijakan dan Peraturan

Berdasarkan rencana pola ruang wilayah yang tertuang didalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW), Kabupaten Sintang mempunyai kawasan perlindungan setempat, yaitu kawasan sempadan sungai dan kawasan sekitar mata air. Adapun kawasan sempadan sungai terletak di sepanjang Sungai Kapuas dan Sungai Melawi. Sempadan sungai adalah kawasan sepanjang kiri-kanan sungai yang mempunyai manfaat penting untuk mempertahankan kelestarian fungsi sungai. Perlindungan terhadap sempadan sungai dilakukan untuk melindungi sungai dari kegiatan manusia yang mengganggu dan merusak kualitas air sungai, kondisi pinggir dan dasar sungai serta mengamankan aliran sungai. Kriteria sempadan sungai adalah sekurang-kurangnya 100 meter dari kiri-kanan sungai besar dan 50 meter di kiri-kanan anak sungai yang berada di luar permukiman.

Beberapa kebijakan yang berkaitan dengan penataan kawasan tepi sungai, antara lain:

- o Garis sempadan sungai berfungsi untuk melindungi wilayah tepi sungai dari kegiatan yang merusak kualitas air sungai, kondisi fisik pinggir dan dasar sungai serta mengamankan aliran sungai.



Gambar 2. Peraturan Bangunan dan Garis Sempadan Kawasan Tepi Air  
Sumber : Hasil analisis kebijakan, 2019

- o Akses berupa jalur kendaraan berada diantara batas terluar dari sempadan tepi air dengan areal terbangun. Pada umumnya di Kabupaten Sintang dan daerah Kalimantan lainnya akses tepian sungai menggunakan papan kayu yang disambung membentuk suatu akses jalan, yang biasa dikenal dengan *gertak/titian*. Titian merupakan jalur pedestrian lokal yang dibangun di atas air atau tanah rawa menggunakan konstruksi tiang dengan lantai dari susunan kayu memanjang. Selanjutnya, titian juga berfungsi sebagai interaksi antar masyarakat, tempat bermain, tempat mencuci, tempat bersantai dan lain-lain. Namun saat ini, kondisi beberapa titian/gertak cukup memprihatinkan karena tidak dirawat dengan baik, material kayu terlihat lapuk dan rusak walaupun masih bisa berfungsi.
- o **Peruntukan bangunan** diprioritaskan sebagai penggunaan lahan yang bergantung dengan air (*water dependent uses*); penggunaan lahan yang bergantung dengan

adanya air (*water related uses*) dan penggunaan lahan yang sama ringan lahan tak berhubungan dengan air (*independent and unrelated to water uses*). Jarak antara satu areal terbangun yang dominan diperuntukkan pengembangan bagi fasilitas umum dengan fasilitas lainnya maksimum sebesar 2 km [9].

- o **Bangunan.** Kepadatan bangunan di kawasan tepi air maksimum 25% dengan tinggi bangunan maksimum 15 m dihitung dari permukaan tanah rata-rata pada areal terbangun. Orientasi bangunan harus menghadap tepi air dengan mempertimbangkan posisi bangunan terhadap matahari dan arah tiupan angin. Bangunan di areal sempadan tepi air hanya berupa tempat ibadah, bangunan fasilitas umum (MCK), bangunan tanpa dinding dengan luas maksimum 50 m<sup>2</sup>/unit. Selain itu, tidak dilakukan pemagaran pada areal terbangun, kecuali pemagaran dengan tinggi maksimum 1 meter dan menggunakan pagar transparan atau dengan tanaman hidup [9].



Gambar 3. Sketsa Rumah Panggung Tepian Sungai [10]

Dari gambar di atas, terlihat setiap rumah dibangun menghadap ke sungai (parit). Di depan rumah tampak tangga titian yang gunanya untuk turun ke parit. Parit merupakan jalan utama di pemukiman ini, sebab dengan sampanlah mereka melakukan pergerakan, baik antar rumah maupun bila mau ke pusat kota. Selain itu air parit juga digunakan untuk keperluan MCK (mandi, cuci dan kakus).

## 2. Konsep Penataan Permukiman Tradisiona

Pemandangan yang khas dari Kabupaten Sintang adalah adanya rumah-rumah dengan tipe rumah panggung yang dibangun berderet menghadap sungai dan rumah lanting (rumah terapung) yang berada di atas air di tepi sungai. Adapula jalur pedestrian di atas air/*alley culture* atau dalam bahasa lokal biasanya disebut titian/gertak (Mentayani dan Budi, 2011). Penduduk yang bermukim di sepanjang aliran sungai memanfaatkan sungai sebagai prasarana transportasi. Selain itu terdapat pula batang, yaitu sebuah tempat yang berbentuk persegi panjang dengan struktur rakit, berlantai namun tidak beratap. Batang berfungsi sebagai tempat untuk MCK, tempat bongkar muat barang dan penumpang dari alat transportasi kelotok (dengan bahan bakar) serta sebagai dermaga untuk menambatkan jukung (tanpa bahan bakar).



Gambar 4. Suasana permukiman tradisional tepian air di Kabupaten Sintang  
Sumber : Hasil Dokumentasi, 2015

Salah satu kawasan permukiman bantaran sungai di Kabupaten Sintang dapat kita lihat pada permukiman lanting Sepadan yang terletak di Kota Sintang. Keunikan Lanting Sepadan adalah pada lingkungannya, dimana terdapat kumpulan lanting atau rumah terapung/rakit yang pada umumnya digunakan sebagai tempat tinggal, gudang maupun tempat usaha di bantaran sungai Kapuas. Dilihat dari kondisi fisiknya, rumah lanting merupakan bangunan sangat sederhana dengan bentuk empat persegi panjang berkonstruksi kayu dengan tata ruang yang dibangun tanpa sekat. Agar tidak hanyut terbawa arus sungai, rumah lanting sudah terlebih dahulu ditambatkan dengan tali pada tonggak atau pohon di tepi sungai yang panjangnya disesuaikan dengan kondisi pasang surut. Pemandangan kehidupan masyarakat bantaran bersama dengan sungai dan rumah lantingnya merupakan daya tarik wisata tersendiri yang tersebar di sepanjang bantaran sungai Kabupaten Sintang.

Namun dalam perkembangannya, keunikan permukiman tradisional tepian air di Kabupaten Sintang mulai tergerus oleh perkembangan zaman. Salah satu permasalahan penataan permukiman tepian sungai yang banyak dijumpai di wilayah Kabupaten Sintang adalah pergeseran orientasi dimana sungai tidak lagi menjadi 'muka depan' aktivitas namun justru menjadi 'muka belakang', permukiman menghadap ke jalan sebagai akses utama aktivitas. Hal tersebut mengubah wajah sungai menjadi tidak teratur, kotor dan bahkan tidak sehat.

Salah satu konsep permukiman yang dapat dikembangkan di bantaran sungai yaitu *eco living style* yang memadukan pola hidup masyarakat dengan memprioritaskan pelestarian kualitas sungai. *Eco living style* adalah upaya mengembalikan fungsi kawasan sungai sebagai bagian gaya hidup berhuni/bertempat-tinggal yang berwawasan lingkungan. Tujuan konsep ini adalah untuk mewujudkan kawasan strategis berbasis daya dukung lingkungan yang mampu mendukung dan menguatkan kegiatan ekonomi kawasan melalui infrastruktur hijau dan pola hidup yang menjaga kelestarian lingkungan. Adapun arahan konsep *eco living style* untuk penataan permukiman tepian sungai Kabupaten Sintang, antara lain : memperhatikan dan menjaga kelestarian lingkungan sungai dengan tidak membuang sampah ke sungai, meningkatkan pemanfaatan transportasi asir dan mengutamakan peran sungai sebagai area depan. Selain itu , kesadaran masyarakat tepian sungai juga harus ditingkatkan uantuk dapat beradaptasi dan bersinergi dengan fungsi sungai.

## **KESIMPULAN**

Mengingat perkembangan yang terjadi Provinsi Kalimantan Barat saat ini, serta kecenderungan yang ada di Kabupaten Sintang sendiri (antara lain dengan pengembangan wisata tepian air dan mempertahankan lokalitas daerah), maka terlihat bahwa penataan permukiman kawasan tepian air masih menunjukkan prospek yang cukup cerah. Untuk itu perlu diperhatikan hal-hal penting yang berkaitan dengan pengembangan *eco living style* di kawasan tepian air Kabupaten Sintang, antara lain: 1) Menjaga keseimbangan lingkungan kondisi alamiah kawasan perairan maupun ekosistemnya yang spesifik. Perlu adanya prasarana untuk mencegah erosi pantai dan diadakan pengaturan sirkulasi air untuk mencegah terjadinya banjir di areal yang dibangun atau kawasan sekitarnya. Habitat setempat seperti jenis-jenis burung adan ikan perlu mendapatkan perhatian agar tidak mengalami kepunahan; 2) Memperhatikan konteks tata ruang sebagai perantara antara perairan dan daratan. Kawasan bantaran sungai perlu menempatkan diri sebagai bagian dari kota induknya, antara lain melalui pencapaian yang mudah dan jelas melalui infrastruktur hijau yang menjaga kualitas sungai. Selain itu juga perlu mempertahankan ciri daerah yang bersangkutan, melalui pelestarian potensi budaya yang ada serta pelestarian bangunan yang bernilai sejarah atau bernilai arsitektur tinggi.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terimakasih kepada pihak penyelenggara Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir (SIEN) 2019 untuk berkenan mempublikasikan tulisan ini.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Noor I.F. "Tugas Akhir : Arahan Penataan Kawasan Tepian Sungai Kandilo Kota Tanah Grogot Kabupaten Pasir Propinsi Kalimantan Timur". Jurusan Perencanaan Wilayah Dan Kota, Semarang : Universitas Diponegoro. (2005).
- [2] Sujarto D. "Penataan Ruang Dalam Pengembangan Kota Baru", Jakarta : Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. (1996).

- [3] Suripin. "Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air". Yogyakarta : Andi. (2002).
- [4] Satrawati I. "Prinsip Perancangan Kawasan Tepi Air (Kasus: Kawasan Tanjung Bunga)". Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota Vol. 14 No. 3/Desember 2003, hlm 95-117. Bandung : Institut Teknologi Bandung. (2003).
- [5] Undang Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2011 Tentang Perumahan Dan Kawasan Permukiman (2001).
- [6] Budihardjo E. "Kota Berwawasan Lingkungan". Bandung : Penerbit PT Alumni. (1993).
- [7] Saptorini H. "The Formulation of Sustainable Urban Housing Policies". Jurnal Teknisia Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Vol. VII, No.1, Yogyakarta, April 2002. (2002).
- [8] Hassan A.S dan Ku Azhar Ku Hassan. "Corak Perumahan Tradisional Berkepadatan Tinggi : Perkampungan di Sepanjang Pantai Barat Semenanjung Malaysia". Malaysia : Penerbit Universiti Sains Malaysia. (2001).
- [9] Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum. "Petunjuk Teknis Penataan Bangunan dan Lingkungan di Kawasan Tepi Air". 2000.
- [10] Mulki G.Z. "Sistem Informasi Iklim bagi Para Petani di Delta Kapuas". Palembang, Proceeding HATHI (2008).
- [11] Mentayani I dan Budi P. "Arsitektur Tepian Sungai (Studi Kasus : Potret Life Style Masyarakat di Kota Banjarmasin)." Prosiding Seminar Nasional SCAN#2 : 2011 (Hal II-367 – II-373). Yogyakarta. (2011).
- [12] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 63/PRT/1993 tentang Garis Sempadan Sungai, Daerah Manfaat Sungai, Daerah Penguasaan Sungai dan Bekas Sungai (1993).
- [13] Peraturan Pemerintah No. 35 tahun 1991 tentang Sungai (1991).
- [14] Satrawati I. "Prinsip Perancangan Kawasan Tepi Air (Kasus: Kawasan Tanjung Bunga)". Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota Vol. 14 No. 3/Desember 2003, hlm 95-117. Bandung : Institut Teknologi Bandung. (2003).
- [15] Undang Undang Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang (2007).
- [16] Yunus H.S. "Struktur Tata Ruang Kota". Yogyakarta : Pustaka Pelajar. (2000).

#### **DISKUSI/TANYA JAWAB :**

##### **1. PERTANYAAN :**

Kajian ini sangat penting dalam melakukan evaluasi aspek dispersi dan distribusi penduduk dalam pemilihan tapak PLTN (sebagai data). Untuk daerah bantaran sungai, pola pemukiman biasanya lebih padat dibanding daerah agak pedalaman bagaimana di daerah Kalimantan Barat pada umumnya?

##### **JAWABAN :**

Kepadatan bangunan bantaran sungai cukup padat namun kualitas infrastruktur minim elektrifikasi juga cenderung kurang

##### **2. PERTANYAAN :**

Mempertimbangkan kecenderungan perkembangan pemukiman di Kab. Sintang bagaimana kondisi distribusi kelistrikan? Bagaimana faktor elektrifikasi? Jika ada rumah atau pemukiman belum mendapatkan listrik apa penyebabnya?

##### **JAWABAN :**

Rasio elektrifikasi di Kab. Sintang tergolong rendah karena sumber daya listrik terbatas dan jangkauan pelayanannya cukup jauh dan sulit diakses

## POTENSI DAN KEMAMPUAN INDUSTRI ELEKTRIKAL UNTUK MENDUKUNG PROGRAM PLTN DI INDONESIA

Dharu Dewi<sup>1</sup>, Arief Tris Yuliyanto<sup>1</sup>, Taswanda Taryo<sup>2</sup>, Susyadi<sup>2</sup>, Moch. Djoko Birmano<sup>1</sup>,  
Rr. Arum Puni Rijanti<sup>1</sup>, Rustama<sup>3</sup>, Mudjiono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>PKSEN BATAN, Jl. Kuningan Barat, Jakarta, 12710

<sup>2</sup>PTKRN BATAN, Kawasan PUSPIPTEK, BATAN Serpong

<sup>3</sup>PTRR BATAN, Kawasan PUSPIPTEK, BATAN Serpong

email: dharu\_dewi@batan.go.id

### ABSTRAK

**POTENSI DAN KEMAMPUAN INDUSTRI ELEKTRIKAL UNTUK MENDUKUNG PROGRAM PLTN DI INDONESIA.** Industri elektrikal untuk mendukung ketenagalistrikan di Indonesia semakin berkembang dengan baik dan diharapkan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) dapat meningkat. Industri elektrikal merupakan salah satu industri yang dapat memasok komponen Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) Pertama di Indonesia. Industri elektrikal nasional sudah mampu memasok komponen elektrikal untuk tegangan menengah. Tujuan studi adalah mengidentifikasi industri elektrikal yang dapat memasok komponen elektrikal untuk PLTN. Metodologi yang digunakan dalam studi ini adalah kajian literatur melalui penelusuran internet, dan data kementerian perindustrian. Hasil kajian menunjukkan bahwa beberapa komponen elektrikal penunjang ketenagalistrikan dapat dibuat di dalam negeri seperti *Gas Insulated Switchgear (GIS)*, generator, transformator, tower transmisi, konduktor, trafo distribusi, dan panel listrik. Industri elektrikal yang dapat memasok komponen elektrikal antara lain PT. ABB Sakti Industri, PT. Trafoindo Perkasa Tbk, PT. Kabelindo.

Kata kunci: potensi, kemampuan, industri, elektrikal, PLTN, program

### ABSTRACT

**THE POTENCY AND CAPABILITY OF ELECTRICAL INDUSTRIES FOR SUPPORT THE NPP PROGRAM IN INDONESIA.** The electrical industries to support electricity in Indonesia is growing well and it is hoped that the Level of Domestic Components can increase. If the First Nuclear Power Plant (NPP) in Indonesia is to be built, then the electrical industries are one of the needs of the type of industry that supplies electrical components. Indonesia's national industry has been able to supply medium voltage electrical components. The purpose of the study is to identify the electrical industries that can supply electrical components for nuclear power plants. The study methodology is a literature review through internet searching, and data from the Ministry of Industry. The results of the study, several electrical components supporting electricity can be made domestically such as Gas Insulated Switchgear (GIS), generators, transformers, transmission towers, conductors, distribution transformers, and electrical panels. The electrical industries which can supply electrical components includes the PT. ABB Sakti Industri, PT. Trafoindo Perkasa Tbk, PT. Kabelindo and others.

Keyword: potency, capability, industry, electrical, NPP, program

### PENDAHULUAN

Saat ini BATAN telah melakukan kajian desain rinci untuk program Reaktor Daya Non Komersial (RDNK) 10 MWt di wilayah Serpong, Tangerang. Selain itu pemerintah daerah Provinsi Kalimantan Barat memiliki rencana untuk penyiapan program pembangunan PLTN di Kalimantan Barat dengan kapasitas 100 MWe sehingga penyiapan infrastruktur PLTN khususnya infrastruktur industri juga sangat dibutuhkan. PLTN merupakan solusi untuk memenuhi kebutuhan energi listrik yang cukup besar pada masyarakat dan industri.

PLTN merupakan teknologi tinggi yang terdiri dari banyak komponen baik komponen besar maupun komponen kecil. Komponen PLTN terdiri dari komponen elektrikal, komponen mekanikal, komponen instrumentasi & kontrol serta komponen pekerjaan sipil. Komponen tersebut diproduksi dan dipasok oleh industri baik industri nasional maupun industri internasional. Dalam kaitannya untuk meningkatkan TKDN pada program pembangunan

PLTN, industri elektrikal yang dapat memproduksi dan memasok komponen elektrikal perlu diidentifikasi sehingga dapat diketahui potensi dan kemampuan industri elektrikal yang dianggap mampu untuk memasok dan berpartisipasi dalam pembangunan PLTN di Indonesia.

Tujuan kajian ini adalah mengidentifikasi industri elektrikal yang memiliki potensi dan kemampuan untuk memasok komponen elektrikal sehingga dapat berpartisipasi dalam pembangunan PLTN di Indonesia. Hasil dari kegiatan ini diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dalam penggunaan industri dalam negeri untuk memasok komponen elektrikal pada pembangunan PLTN di Indonesia.

### TEORI/POKOK BAHASAN

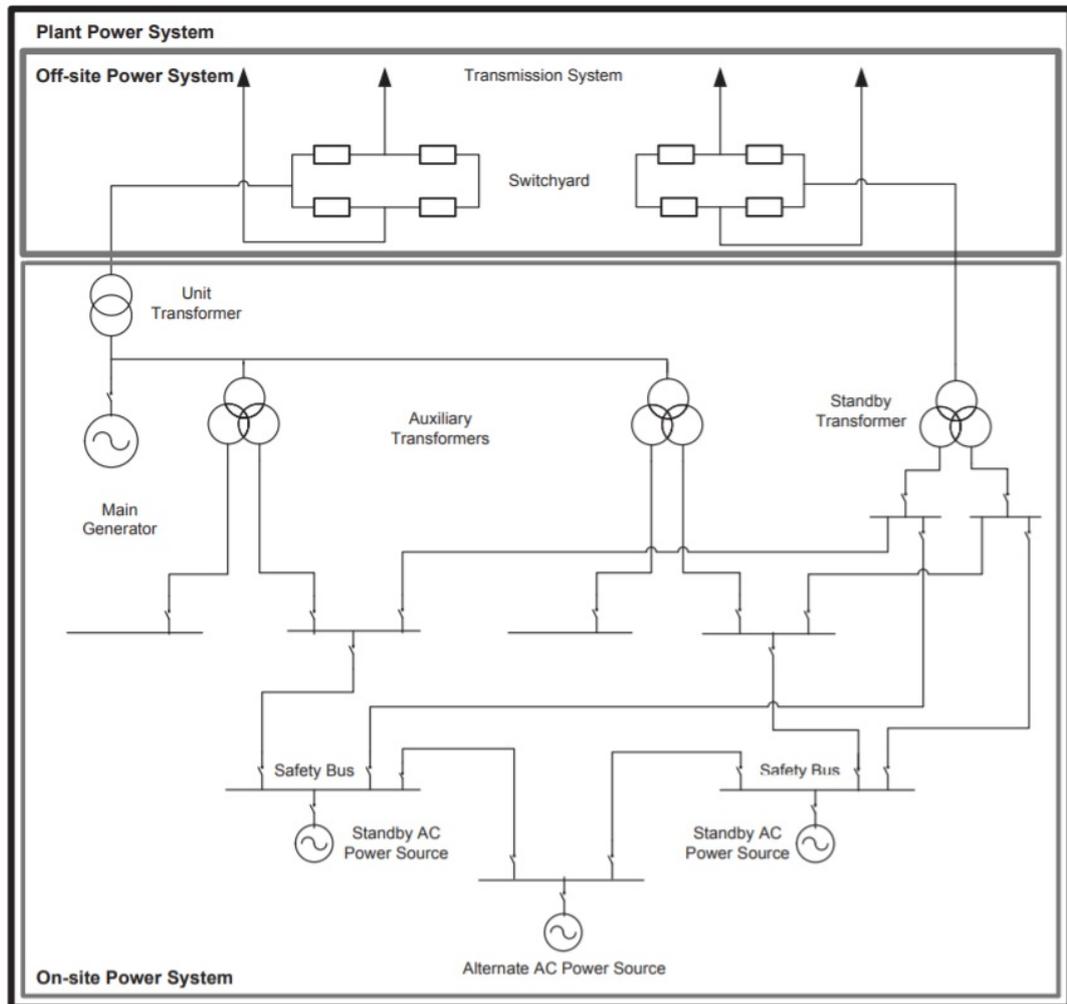
Sistem daya elektrikal merupakan pasokan daya ke sistem yang penting untuk keselamatan yang merupakan dasar untuk keselamatan pembangkit nuklir. Berdasarkan panduan standar keselamatan IAEA yakni *Design of Electrical Power System for Nuclear Power Plants Specific Safety Guide* No. SSG-34 tahun 2016, sistem daya PLTN secara umum terdiri dari sistem daya *on site* dan sistem daya *off site* [1]. Kedua sistem tersebut bersama-sama menyediakan daya yang diperlukan pada seluruh kondisi pembangkit sehingga pembangkit dijaga pada kondisi yang aman. Pasokan daya *preferred* merupakan pasokan daya dari sistem transmisi, atau dari generator utama sampai menuju sistem daya elektrikal yang terklasifikasi keselamatan. Pasokan daya ini terdiri dari sistem transmisi, *switchyard*, generator utama, dan sistem distribusi sampai menuju sistem daya elektrikal terklasifikasi keselamatan. Sistem daya *off site* terdiri dari sistem transmisi (jaringan) dan gardu induk (*switchyard*) yang terkoneksi dengan pembangkit dan jaringan. Sistem daya *off site* akan secara normal menyediakan daya AC ke seluruh pembangkit pada seluruh mode operasi dan seluruh kondisi pembangkit. Selain itu juga menyediakan saluran transmisi untuk daya keluarnya. Rugi – rugi pada daya *off site* dapat memiliki dampak negatif pada kemampuan daya pembangkit untuk mencapai dan menjaga kondisi *shutdown* yang aman [2].

Sistem daya *on site* terdiri dari sistem distribusi dan suplai daya dengan pembangkit. Sistem daya *on site* dibedakan kedalam 3 tipe sistem daya elektrikal yang terkait dengan persyaratan daya yang berbeda yakni sistem daya AC, sistem daya DC dan sistem daya AC *uninterruptible*. Sistem daya *on site* meliputi sistem Class 1E dan Non Class 1E [3]. Komponen utama dari sistem daya *on-site* meliputi generator utama, transformator *step up*, transformator pendukung, transformator *standby* dan sistem distribusi unit pengumpan, *switchgear*, baterai, *rectifier*, inverter, *power supply uninterruptible*, kabel, dan sumber daya AC *standby*. Kegagalan komponen atau subsistem dapat menghasilkan kegagalan daya yang dikirimkan ke beban atau dalam kasus tertentu pada sistem daya *blackout* [4]. Jenis komponen elektrikal yang mengalami kegagalan berdasarkan hasil kajian Won Chul Cho dan Tae Ho Han [5] pada PLTN Korea Selatan selama 10 tahun terakhir adalah terjadi pada komponen *circuit breaker*, *emergency generator*, *transformator*, *motor*, *generator*, *exciter*, *inverter*, *fire protection*, *protection relay*, *bus*, *MOV*, kabel, *charger*, baterai, *switchyard*, dan lain-lain.

Pada panduan standar IAEA, terdapat istilah sistem daya prefer (*preferred power system*). Sistem daya prefer adalah sistem daya untuk pasokan normal bagi sistem pembangkit keseluruhan yang penting bagi keselamatan. Pasokan daya ini mencakup bagian sistem daya *on site* dan *off site*.

Batasan antara sistem daya *off site* dan *on site* adalah titik dimana komponen dikendalikan oleh operator sistem transmisi yang terkoneksi dengan peralatan yang dikendalikan oleh operator PLTN. Batasan secara umum pada sisi jaringan transformator yang terhubung dengan tegangan transmisi, atau pada sisi jaringan dari pemutus arus tegangan tinggi yang terkait dengan pembangkit.

Sistem daya elektrikal harus didisain dan dikonstruksikan terkait dengan kode dan standar nasional dan internasional untuk memastikan tingkat keandalan dan ketersediaan yang tinggi pada seluruh mode operasi pembangkit.



Gambar 1. Hubungan antara sistem daya *off site* dan *on site* untuk sistem daya elektrik PLTN [1]

## METODOLOGI

Metodologi yang digunakan adalah kajian literatur melalui penelusuran internet dan data industri elektrik dari Kementerian Perindustrian yang diperoleh berdasarkan pengalaman industri dalam memasok pembangkit listrik konvensional.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem ketenagalistrikan di Indonesia merupakan rangkaian instalasi tenaga listrik yang terdiri dari sistem pembangkitan, sistem transmisi, dan sistem distribusi yang saling terintegrasi. Sistem transmisi merupakan penyaluran energi listrik dari pembangkit listrik ke gardu induk. Sebelum energi listrik ditransmisikan, hal pertama yang harus dilakukan adalah menaikkan tegangan yang dipasok dari generator menjadi 70 kV, 150 kV, atau 500 kV, sebab tegangan yang dikeluarkan dari generator besar yang modern hanya berkisar antara 13,8 kV dan 24 kV. Jenis saluran transmisi yang ada pada system ketenagalistrikan system Jawa Bali terdiri dari Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 70 kV, Saluran Udara Tegangan Tinggi (SUTT) 150 kV, dan Saluran Udara Tegangan Ekstra Tinggi (SUTETI) 500 kV. Sistem distribusi merupakan penyaluran energi listrik dari gardu induk ke konsumen. Keuntungan transmisi dengan tegangan lebih tinggi akan menjadi jelas jika kita melihat pada kemampuan transmisi suatu saluran transmisi. Kemampuan ini biasanya dinyatakan dalam Mega-Volt-Ampere (MVA). Tetapi kemampuan transmisi dari suatu saluran dengan tegangan tertentu tidak dapat diterapkan dengan pasti, karena kemampuan ini masih tergantung pada batasan-batasan termal dari penghantar, jatuh tegangan (*drop voltage*) yang diperbolehkan, keandalan, dan persyaratan kestabilan sistem. Jika PLTN diintegrasikan

ke sistem jaringan, maka kondisi ini bergantung pada jumlah kapasitas PLTN yang digunakan. Penurunan tegangan dari tingkat transmisi terjadi pada gardu induk bertenaga besar, di mana tegangan diturunkan ke daerah antara 70 kV dan 150 kV, sesuai dengan tegangan saluran transmisinya. Beberapa pelanggan untuk keperluan industri sudah dapat dipasok dengan tegangan ini. Penurunan tegangan berikutnya terjadi pada gardu distribusi primer, di mana tegangan diturunkan lagi menjadi 1 sampai 30 kV pada transformator distribusi. Transformator ini juga menyediakan tegangan sekunder pada jaringan tegangan rendah untuk pemakaian rumah tinggal. Standar tegangan rendah yang digunakan adalah 380 V antara antar fasa dan 220 V dia antara masing-masing fasa dengan tanah yang dinyatakan dengan 220/380V [6]. Transformator standby (Standby Transformer) dan unit transformator bantu (*unit auxiliary transformer*) merupakan komponen penting dalam sistem kelistrikan suatu pembangkit dan berperan sebagai penyalur daya listrik terhadap semua beban unit pembangkit seperti motor listrik, sistem kontrol, UPS, dan lain-lain [7].

Kementerian Perindustrian telah menerbitkan regulasi untuk nilai TKDN minimal yang harus dipenuhi sesuai dengan kapasitas pembangkit yang dibangun untuk pembangunan infrastruktur ketenagalistrikan melalui Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 54/M-IND/PER/3/2012 tentang Pedoman Penggunaan Produk Dalam Negeri Untuk Pembangunan Infrastruktur Ketenagalistrikan [8]. Dalam peraturan tersebut, Nilai TKDN yang dipersyaratkan untuk pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) dengan kapasitas terpasang sampai dengan 15 MWe per unit minimum sebesar 70%, sedangkan untuk kapasitas terpasang di atas 100 MWe per unit adalah minimum sebesar 40 %. Namun persyaratan nilai TKDN minimum untuk konstruksi PLTN belum dipersyaratkan oleh Kementerian Perindustrian. Penggunaan standar mutu internasional maupun standar nasional Indonesia bagi produk industri nasional akan dapat mengidentifikasi potensi dan peluang industri nasional tersebut dan diharapkan dapat meningkatkan TKDN dalam pembangunan PLTN pertama di Indonesia [9].

Berdasarkan data komponen pada sistem ketenagalistrikan, beberapa komponen utama yang diperlukan dalam pasokan sistem ketenagalistrikan terdiri dari transformator utama, transformator distribusi, transformator stand by dan transformator bantu unit, *switchgear*, kabel dan lain-lain. "Industri nasional sudah mampu memproduksi komponen sistem ketenagalistrikan mulai dari peralatan pembangkit listrik sampai transmisi dan distribusi listrik. Sebagai contoh adalah pabrik Panel Listrik Tegangan Tinggi – Gas Insulated Switchgear (GIS) yang diproduksi oleh PT. ABB Sakti Industri di Tangerang. GIS merupakan sistem *switchgear* (pemutus arus *on* atau *off*) yang dikemas dalam tabung *compact* dengan menggunakan bahan bakar gas sebagai media isolasinya. GIS memberikan perlindungan terhadap pemadaman listrik serta menjamin kestabilan pasokan listrik. Produk GIS untuk memenuhi kebutuhan transmisi tenaga listrik di Indonesia mencapai 150 set per tahun dengan nilai TKDN hingga 35 persen. Industri nasional sampai saat ini dapat memenuhi dan memasok komponen dari sistem ketenagalistrikan sampai mencapai tegangan menengah 170 kV. Penggunaan produk dalam negeri akan meningkatkan kinerja di sektor industri nasional [10]. Untuk produk transformator utama maupun transformator distribusi, industri nasional yang mampu memasok komponen tersebut adalah PT. ABB Sakti Industri, PT. Trafoindo Prima Perkasa, PT UNINDO, PT. Bambang Djaya dan lain-lain. Tabel 1 memperlihatkan data komponen elektrikal dan data industri yang dapat memasok komponen elektrikal tersebut.

Tabel 1. Data Komponen Elektrikal dan Data Industri untuk Sistem Pembangkitan Listrik

Transformator Utama	PT. ABB Sakti Industri, PT. CG Power System Indonesia PT. UNINDO PT. Trafoindo Prima Perkasa PT. Siemens PT. Scheneider Indonesia PT. Bambang Djaya PT. Lion Metal Works. Tbk PT. Asata Utama Electric Industries
---------------------	---

//Transformator Distribusi	PT. Bambang Djaja, PT. Trafoindo Perkasa Tbk PT. Unindo, PT. Asata Utama Electric Industries.
Transformator <i>Stand by</i> dan transformator bantu	PT. Lion Metal Works. Tbk PT. Asata Utama Electric Industries
<i>Switchgears Metal - clad</i> tegangan menengah	PT. Citra Interlindo PT. Himalaya Trasmeka PT. Industira, PT. LG Industrial System Indonesia PT. Schneider Indonesia PT. UNINDO
<i>Gas Insulated Switchgear</i>	PT. ABB Sakti Industri PT. Hitachi Power System PT. Trafindo Perkasa Tbk PT. UNINDO PT. Babcock & Wilcox Indonesia PT. Basuki Pratama Engineering PT . Cilegon Fabricators PT. Indonesian Marine Corp. Ltd
Panel kontrol <i>Switchyard</i>	PT. UNINDO PT. Industira PT. Panelindo Makmur Sentosa PT. Schneider Indonesia
Panel proteksi <i>Bus Switchyard</i>	PT. Citra Interlindo PT. Indokomas Buana Perkasa
Kabel Daya <i>Class 1E</i>	PT. BICC Berca Cables PT. GT Kabel Indonesia PT. Kabelindo Murni PT. Sucaco Tbk PT. Voksel Electric Tbk PT. Karya Utama Prima Pratama PT. Pirelli Cables Indonesia PT. Siemens Kabel Optik
Kabel Instrumentasi dan kontrol <i>Class 1E</i>	PT. BICC Berca Cables PT. GT Kabel Indonesia PT. Kabelindo Murni PT. Sucaco Tbk PT. Voksel Electric Tbk PT. Karya Utama Prima Pratama PT. Pirelli Cables Indonesia PT. Siemens Kabel Optik
Kabel Daya <i>Non-1E</i> dan Lampu ( <i>lighting</i> )	PT. BICC Berca Cables PT. GT Kabel Indonesia PT. Kabelindo Murni PT. Karya Utama Prima Pratama
Sistem Daya Darurat Tegangan Rendah (LV Emergency Power System)	PT. ABB Sakti Industri PT. Schneider Indonesia
<i>Circuit Breaker Generator</i>	PT. PINDAD PT. Citra Interlindo

Charger Baterai Class IE	PT. Bambang Djaja PT. Pauwels Trafo Asia PT. Trafoindo Perkasa Tbk PT. UNINDO
Charger Baterai Non Class IE	PT. Bambang Djaja PT. Pauwels Trafo Asia PT. Trafoindo Perkasa Tbk PT. UNINDO
Kabel Komunikasi	PT. BICC Berca Cables PT. GT Kabel Indonesia PT. Kabelindo Murni PT. Karya Utama Prima Pratama PT. Sucaco Tbk PT. Voksel Electric Tbk PT. Pirelli Cables Indonesia PT. Siemens Kabel Optik
Kabel khusus A	PT. BICC Berca Cables PT. GT Kabel Indonesia PT. Kabelindo Murni PT. Karya Utama Prima Pratama PT. Sucaco Tbk PT. Voksel Electric Tbk PT. Pirelli Cables Indonesia PT. Siemens Kabel Optik
Kabel khusus B	PT. BICC Berca Cables PT. GT Kabel Indonesia PT. Kabelindo Murni PT. Karya Utama Prima Pratama PT. Sucaco Tbk PT. Voksel Electric Tbk PT. Pirelli Cables Indonesia PT. Siemens Kabel Optik
Kabel grounding	PT. BICC Berca Cables PT. GT Kabel Indonesia PT. Kabelindo Murni PT. Sucaco Tbk PT. Voksel Electric Tbk PT. Karya Utama Prima Pratama PT. Pirelli Cables Indonesia PT. Siemens Kabel Optik
Konektor	PT. Megatech Gemilang PT. Selectrix Indonesia PT. Sinarindo Wiranusa Elektrik
Tiang Listrik	PT. Jaya Mandiri PT. Indoconst Persada PT. Bukaka Teknik Utama PT. WIKA Beton PT. Pembangunan Perumahan PT. Bakrie Pipe Industries PT. Hume Sakti Indonesia PT. Kencana Teknikatama Sentosa PT. Makmur Jaya PT. Beton Prima Indonesia

Dari Tabel 1 diatas, industri nasional memiliki potensi dan kemampuan yang cukup besar untuk memasok komponen elektrikal untuk sistem ketenagalistrikan khususnya untuk komponen tegangan menengah sampai 170 kV, sehingga komponen elektrikal dapat diproduksi dan dipasang dari dalam negeri.

## KESIMPULAN

Industri elektrikal memiliki potensi dan kemampuan untuk memasok beberapa komponen elektrikal untuk sistem ketenagalistrikan seperti Gas Insulated Switchgear (GIS), transformator, trafo distribusi, generator, konduktor, kabel listrik, konektor dan panel listrik. Industri elektrikal yang dapat memasok komponen elektrikal meliputi industri PT. ABB Sakti Industri, PT. Trafoindo Perkasa TBk, PT. Kabelindo Murni, PT. UNINDO, PT. Sucaco, dan lain – lain.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada bapak Ir. Sriyana, MT selaku Kepala Bidang Kajian Infrastruktur PKSEN BATAN yang telah mengoreksi makalah ini untuk menjadi lebih baik. Ucapan terima kasih disampaikan pula kepada narasumber Bapak Ir. Ali Rahman MT (mantan Kepala Subdit Peralatan Pabrik dan Alat Berat, Kementerian Perindustrian) yang telah memberikan data industri yang berpengalaman dalam pembangunan pembangkit listrik konvensional. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada KPTF PKSEN dan para editor Seminar SIEN.

## DAFTAR PUSTAKA

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Design of Electrical Power System for Nuclear Power Plants”, Specific Safety Guide No. SSG-34 tahun 2016.
2. Zhiping Li, “Loss of Offsite Power Frequency Calculation II”, Probabilistic Safety Assessment and Management PSAM, 12 June 2014, Honolulu, Hawaii.
3. A.M. Agwa, H.M. Hassan, “Onsite power system risk assessment for nuclear power plants considering components ageing”, Nuclear Energy, 110 (2019), 384 – 392. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2018.10.020>.
4. A. M. Agwa, E. A. Eisawy and H. M. Hassan, “Assessment of Offsite Power Reliability For Nuclear Power Plants By Fault Tree Analysis”, Journal Of Al-Azhar University Engineering Sector, Vol. 14, No. 50, January, 2019, 99-107.
5. Won Chul Cho, Tae Ho Ahn, “A classification of electrical component failures and their human error types in South Korean NPPs during last 10 years”, Nuclear Engineering and Technology 51 (2019) 709-718, <https://doi.org/10.1016/j.net.2018.12.011>.
6. PPPTK BMTI dan Departemen Pendidikan Nasional, “Transmisi Tenaga Listrik, Modul Bahan Ajar SMK Kelas XI SM 3 Kurikulum 2013 Teknik Jaringan Transmisi Tenaga Listrik, 2013.
7. Tri Cardo Purba, Zuraidah Tharo, Siti Anisah, “Analisis Perencanaan Pemeliharaan Standby Startup Transformer (Sst) Dan Unit Auxiliary Transformer (Uat) Di Pitu Mabur Elektrindo”, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi (FST UNPAB 2018).
8. Kementerian Perindustrian, Peraturan Menteri Perindustrian No. 54/M-IND/PER/3/2012 tentang Pedoman Penggunaan Produk Dalam Negeri untuk Pembangunan Infrastruktur Ketenagalistrikan.
9. Dharu Dewi, Sriyana, dkk, “Laporan Akhir Rantai Pasokan Industri Pembangunan Indonesia”, PKPP - Kemenristek, 2012.
10. Kementerian Perindustrian, “Industri Alat Tenaga Listrik Kian Memenuhi Kebutuhan Domestik”, [Kemenperin.go.id/artikel/19767/Industri-Alat-Tenaga-Listrik-Kian-Memenuhi-Kebutuhan-Domestik](http://Kemenperin.go.id/artikel/19767/Industri-Alat-Tenaga-Listrik-Kian-Memenuhi-Kebutuhan-Domestik), Siaran Pers, Selasa, 9 Oktober 2019.

## DISKUSI/TANYA JAWAB :

### 1. PERTANYAAN :

Apa yang dimaksud dengan komponen kelas 1E?

### JAWABAN :

Yang dimaksud dengan komponen elektrikal kelas 1E adalah komponen elektrikal yang berhubungan langsung dengan sistem keselamatan

HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN

## ANALISIS PENYEBARAN RADIONUKLIDA DARI SMR 100 MW UNTUK OPSI NUKLIR DI KALIMANTAN BARAT

Wiku Lulus Widodo<sup>1</sup>, Riski FSB<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir – BATAN

<sup>2</sup>Prodi Pasca Sarjana Teknik Elektro – UGM

email: wikululu@batan.go.id

### ABSTRAK

**ANALISIS PENYEBARAN RADIONUKLIDA DARI SMR 100 MW UNTUK OPSI NUKLIR DI KALIMANTAN BARAT.** Telah dilaksanakan analisis penyebaran radionuklida dari fasilitas PLTN dengan kapasitas 100 MW. Lokasi PLTN diasumsikan berada di wilayah Singkawang bagian pantai barat. Radionuklida yang dianalisis adalah I-131, I-133, Kr-85 dan Xe-133 yang merupakan produksi fisi dari reaksi nuklir. Perhitungan penyebaran radionuklida ini menggunakan perangkat lunak SIMPACT yang dirilis oleh IAEA. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penyebaran I-131 memiliki paparan maksimum sebesar 0.0179 Bq/m<sup>3</sup> dengan jangkauan 50 km ke arah timur, 80 km ke arah utara dan 45 km ke arah selatan. Penyebaran I-133 memiliki paparan maksimum sebesar 0.0280 Bq/m<sup>3</sup> dengan jangkauan 45 km ke arah timur, 70 ke arah utara, dan 35 ke arah selatan. Penyebaran Kr-85 memiliki paparan maksimum sebesar  $1,72 \times 10^{-3}$  Bq/m<sup>3</sup> dengan jangkauan 85 km ke arah timur, lebih dari 100 km baik ke arah utara maupun ke arah selatan. Penyebaran Xe-133 memiliki paparan maksimum sebesar  $3,15 \times 10^{-2}$  Bq/m<sup>3</sup> dengan jangkauan 90 km ke arah timur, lebih dari 100 km ke arah utara, dan 95 km ke arah selatan.

Kata Kunci : Radionuklida, PLTN SMR, Kalimantan Barat, I-131, I-133, Kr-85, Xe-133

### ABSTRACT

**ANALYSIS OF THE RADIONUKLIDA DISPERSION FROM SMR 100 MW FOR NUCLEAR OPTIONS IN WEST KALIMANTAN.** Radionuclide distribution analysis has been carried out from a 100 MW nuclear power plant facility. The location of the NPP is assumed to be in the Singkawang region on the west coast. Radionuclides analyzed were I-131, I-133, Kr-85 and Xe-133 which are fission products from nuclear reactions. Radionuclide distribution calculations using SIMPACT software released by the IAEA. The calculation results show that the spread of I-131 has a maximum exposure of 0.0179 Bq / m<sup>3</sup> with a range of 50 km to the east, 80 km to the north and 45 km to the south. Spread I-133 has a maximum exposure of 0.0280 Bq / m<sup>3</sup> with a range of 45 km to the east, 70 to the north, and 35 to the south. The Kr-85 distribution has a maximum exposure of  $1.72 \times 10^{-3}$  Bq / m<sup>3</sup> with a range of 85 km to the east, more than 100 km both north and south. The Xe-133 distribution has a maximum exposure of  $3.15 \times 10^{-2}$  Bq / m<sup>3</sup> with a range of 90 km to the east, more than 100 km to the north, and 95 km to the south.

Keywords: Radionuclide, SMR NPP, West Kalimantan, I-131, I-133, Kr-85, Xe-133

### PENDAHULUAN

Tujuan dari studi ini adalah untuk memperkirakan radionuklida yang terdispersi (tersebar) dari PLTN SMR yang diperkirakan akan dibangun di Kalimantan Barat. Isu emisi radionuklida yang berpotensi memaparkan radiasi merupakan hal penting yang berkaitan dengan penerimaan masyarakat terhadap program pembangunan PLTN. Informasi yang terbuka terkait potensi dan tingkat konsentrasi penyebaran radionuklida sangat diharapkan oleh masyarakat umum sehingga mereka mampu untuk menilai apakah program pembangunan PLTN akan didukung atau tidak.

Pelepasan emisi radionuklida ke atmosfer mirip dengan emisi karbon. Emisi radionuklida dari PLTN berasal dari produk reaksi fisi yang berbentuk gas dalam temperatur reaktor nuklir [1,2]. Produk fisi ini berpotensi terlepas dari kelongsong bahan bakar karena berbentuk gas dan keluar dari bangunan reaktor melalui saluran khusus (chemney) untuk melepas gas tersebut ke lingkungan. Radionuklida yang terlepas ke lingkungan akan tersebar ke berbagai arah bergantung pada angin, temperatur, kelembaban udara dan kontur tanah di area sekitar PLTN[3].

Posisi ketinggian lokasi PLTN dari permukaan laut beserta ketinggian saluran pelepasan gas produk fisi akan mempengaruhi seberapa jauh jangkauan sebaran radionuklida yang terlepas ke lingkungan[4,5]. Kapasitas pembangkit PLTN juga mempengaruhi konsentrasi emisi radionuklida yang terlepas ke lingkungan, hal ini dikarenakan semakin besar kapasitas menunjukkan semakin banyak reaksi fisi yang berlangsung sehingga produk fisi lebih banyak [6,7]. Pada umumnya dalam kondisi PLTN beroperasi normal, probabilitas gas produk fisi yang terlepas relatif kecil sehingga konsentrasi radionuklida yang tersebar masih rendah jika dibanding dengan potensi radiasi dari alam.

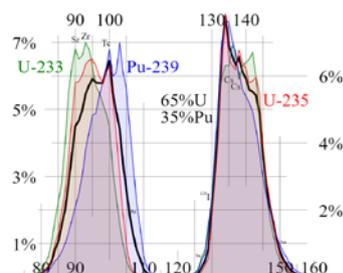
PLTN yang akan dibahas dalam studi ini adalah berkapasitas 100 MW sehingga masuk kategori PLTN SMR (Small Medium Reactor) [8,9]. PLTN SMR yang diasumsikan dalam studi ini adalah SMR SMART yang didesain oleh KHNP Korea selatan[10]. Perhitungan potensi produk fisi yang terlepas dari reaktor SMART ini dihitung berdasarkan spesifikasi teknis sistem perangkat bahan bakar reaktor tersebut. Beberapa faktor yang berpengaruh adalah nilai Burn-up dari bahan bakar, kapasitas thermal reaktor, dan probabilitas gas produk fisi yang terlepas dari perangkat bahan bakar reaktor.

Kalimantan Barat adalah salah satu provinsi di Indonesia dengan ibu kota di Pontianak yang berada di sekitar sungai Kapuas. Sensus 2010 mencatat populasi pada 4.395.983 dengan komposisi laki-laki sekitar 51% dan perempuan 49%. Perkiraan terbaru jumlah penduduk Kalimantan Barat untuk Desember 2018 adalah 5.001.660 [11]. Wilayah provinsi NTB seluas 146.800 km<sup>2</sup> dengan letak geografis bujur dari 108°30' BT hingga 114°10' BT dan lintang dari 2°08' LU hingga 3°02' LS. Tata guna lahan di Kalimantan Barat didominasi oleh hutan, padang belukar dan perkebunan. Lahan pemukiman di Kalimantan Barat masih relatif kecil jika dibandingkan dengan total luas area seluruh provinsi. Tenaga kerja di Kalimantan Barat didominasi oleh sektor pertanian dan perdagangan hal ini dikarenakan perkebunan sawit dan komoditi lainnya didukung adanya lahan yang luas.

Hal yang dibahas dalam studi analisa ini terdiri dari beberapa hal antara lain pembahasan perangkat lunak SIMPACT yang dirilis oleh IAEA untuk membantu mensimulasikan emisi radionuklida dari PLTN SMR. Pembahasan juga terkait dengan penggunaan untuk perhitungan penyebaran emisi, domain area Kalimantan Barat yang digunakan dalam model di SIMPACT, kondisi lingkungan sekitar lokasi PLTN SMR, dan hasil penyebaran emisi radionuklida beserta konsentrasinya. Kesimpulan dan rekomendasi mengarah pada informasi seberapa jauh sebaran emisi radionuklida dan konsentrasinya, sehingga menjadi informasi bahwa PLTN SMR selama beroperasi normal akan berstatus layak untuk dibangun di Kalimantan Barat.

## TEORI DAN POKOK BAHASAN

Produk fisi nuklir adalah fragmen atom yang tersisa setelah inti atom dengan nomor atom besar mengalami fisi nuklir. Uranium melalui reaksi fisi nuklir akan membelah menjadi dua inti yang lebih kecil dengan beberapa neutron dan disertai pelepasan energi panas (energi kinetik dari inti), dan sinar gamma[12]. Dua inti dengan nomor atom yang lebih kecil inilah yang disebut dengan produk fisi. Produk fisi sendiri biasanya tidak stabil dan bersifat radioaktif; karena relatif memiliki neutron berlebih untuk nomor atomnya, banyak dari produk fisi tersebut dengan cepat mengalami peluruhan beta. Ini melepaskan energi tambahan dalam bentuk partikel beta, antineutrino, dan sinar gamma. Jadi, peristiwa fisi biasanya menghasilkan radiasi beta dan gamma, walaupun radiasi ini tidak diproduksi langsung oleh peristiwa fisi itu sendiri. Gambar 1 menunjukkan distribusi produk fisi untuk berbagai jenis bahan bakar nuklir.



Gambar 1. distribusi produk fisi untuk berbagai jenis bahan bakar nuklir

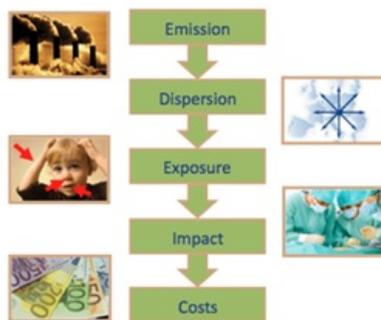
Radionuklida yang dihasilkan memiliki waktu paruh yang bervariasi, dan karenanya bervariasi dalam radioaktivitas. Sebagai contoh, strontium-89 dan strontium-90 diproduksi dalam jumlah yang sama dalam fisi, dan setiap nukleus meluruh dengan emisi beta. Tapi <sup>90</sup>Sr memiliki paruh 30 tahun, dan <sup>89</sup>Sr paruh 50 hari. Jadi dalam 50,5 hari dibutuhkan setengah dari atom <sup>89</sup>Sr untuk meluruh, memancarkan jumlah partikel beta yang sama seperti ada peluruhan, kurang dari 0,4% dari atom <sup>90</sup>Sr telah meluruh, memancarkan hanya 0,4% dari beta[13]. Tingkat emisi radioaktif adalah yang tertinggi untuk radionuklida yang berumur paling pendek, meskipun mereka juga meluruh paling cepat. Produk fisi yang berumur pendek inilah yang merupakan bahaya langsung dari bahan bakar bekas karena keluaran energi radiasi yang lebih signifikan.

Produk fisi yang berbentuk gas dalam temperatur dan tekanan reaktor nuklir, akan berpotensi terlepas sebagai emisi radionuklida. Beberapa radionuklida yang berbentuk gas antara lain I-131; I-133; Kr-85 dan Xe-133, sehingga radionuklida ini yang berpotensi tersebar ke lingkungan. Tabel 1 menunjukkan properti fisi dari Iodine, Krypton dan Xenon. Berdasarkan properti fisik tersebut kita dapat melihat bahwa radionuklida tersebut berbentuk gas dalam temperatur dan tekanan reaktor nuklir.

Tabel 1. Jenis Radionuklida berbentuk gas dan properti fisiknya [14]

	Iodine	Krypton	Xenon
Titik leleh (°C)	113,7	-157,37	-111,75
Titik didih (°C)	184,3	-153,42	-108,1
Kerapatan Masa (gr/cm <sup>3</sup> )	4,933	2,413	2,942
Radiasi yang diemisikan	Beta, Gamma	Beta	Beta

Model *Simplified Approach for Estimating Impacts of Electricity Generation* (SIMPACTS), perangkat lunak yang dikembangkan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA), mengadaptasi metode EcoSense ke dalam bentuk yang lebih sederhana. Dalam model SIMPACTS, terdapat salah satu jenis modul yang dapat digunakan untuk memperkirakan penyebaran emisi karbon dari pembangkit berbahan bakar fosil. Metode yang digunakan dalam model ini yaitu pendekatan *Impact Pathways Analysis* (IPA) [15]. Tahapan dari metode IPA diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan Metode IPA

Tahap awal dari metode IPA adalah identifikasi karakteristik dari emisi yang dihasilkan suatu sumber pencemar. Beberapa karakteristik tersebut antara lain lokasi dimana sumber emisi tersebut dihasilkan, teknologi yang digunakan sumber emisi, serta jenis dan jumlah emisi yang dihasilkan. Tahap kedua yaitu identifikasi karakteristik lingkungan, mekanisme dispersi dan transportasi pencemar. Pada tahap ini dilakukan perhitungan dispersi dan transportasi pencemar untuk menghasilkan nilai konsentrasi pencemar (dosis), dengan mempertimbangkan kondisi cuaca di wilayah yang dianalisis. Persamaan dasar yang digunakan dalam perhitungan penyebaran radionuklida adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_x\sigma_y} g \exp\left[-\frac{d_x^2}{2\sigma_x^2}\right] \exp\left[-\frac{d_y^2}{2\sigma_y^2}\right] \quad (1)$$

$$g = \frac{2}{(2\pi)^{1/2}\sigma_z} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(H_e + 2nh)^2}{2\sigma_z^2}\right] \quad (2)$$

dimana,

$C$ : konsentrasi dasar ( $\text{g/m}^3$ ),

$Q$ : massa pencemar dalam keputan (g),

$\sigma_x$ : standar deviasi distribusi Gaussian searah arah angin (m),

$\sigma_y$ : standar deviasi distribusi Gaussian tegak lurus arah angin (m),

$\sigma_z$ : standar deviasi distribusi Gaussian arah vertikal (m),

$d_a$ : jarak dari pusat keputan ke reseptor yang searah arah angin (m),

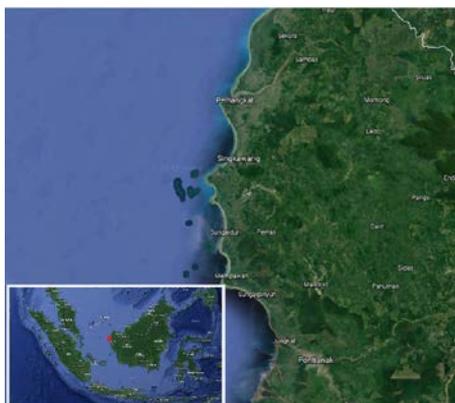
$d_c$ : jarak dari pusat keputan ke reseptor yang tegak lurus arah angin (m),

$g$ : batas vertical persamaan Gaussian (m),

$H$ : tinggi efektif di atas tanah dari pusat keputan, dan

$h$ : tinggi pencampuran (m).

Area pembahasan dalam studi analisis ini adalah propinsi kalimantan barat dengan titik pusatnya adalah area mempawah. Luas area yang dianalisis seluas 200 km x 200 km seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Domain area studi dengan luas 200 km x 200 km

## METODOLOGI

Perhitungan penyebaran emisi karbon yang dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SIMPACTS yang merupakan perangkat lunak yang dirilis secara resmi oleh IAEA khususnya bagian energi nuklir (*department of nuclear energy*) dan dapat digunakan oleh negara anggota untuk kepentingan penelitian dan pengembangan. Terdapat beberapa tahapan dalam perhitungan dengan SIMPACTS, diantaranya pembuatan kasus, pengisian data input, diantaranya *domain data*, *emission & dispersion*, dan *pathway analysis*, dan *running program*.

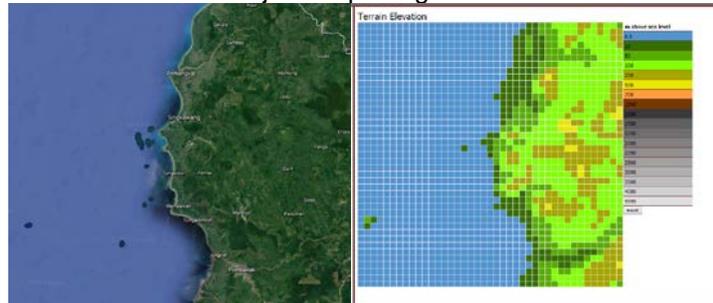
Tahap pertama yaitu pembuatan kasus dan domain. Pada tahap ini ditentukan bahwa sumber emisi (PLTU) berada di pantai timur pulau Lombok yang berada di posisi 80 48' 32" Lintang Selatan dan 160 30' 05" Bujur Timur. Wilayah dampak yang dikaji adalah skala lokal dengan luas area 5 km x 5km pada selnya seperti ditunjukkan pada gambar 4.

Edit Domain	
Domain ID	SMR_KALB
Domain Name	SMR_KALBAR
Time Frame	Full year
Cell Size	5x5 km
Latitude	0.709
Longitude	108.873
Save	
Save & run domain preparation	

Gambar 4. Input data domain

Kelebihan dari software SIMPACTS versi terbaru adalah sudah mengintegrasikan data topografi yang bersumber dari *GTOPO 30 Project*. GTOPO 30 merupakan suatu model elevasi digital yang berasal dari beberapa vektor sumber informasi topografi. Model ini telah dikembangkan sejak tahun 1993 di U.S.Geological Survey's Center for Earth Resources

Observation and Science (EROS). Selain itu, beberapa organisasi dunia pun turut berpartisipasi dalam kontribusi sumber data, beberapa diantaranya National Aeronautics and Space Administration (NASA), United Nations Environment Programme/Global Resource Information Database (UNEP/GRID), dan U.S. Agency for International Development (USAID). Tampilan area domain ditunjukkan pada gambar 5.



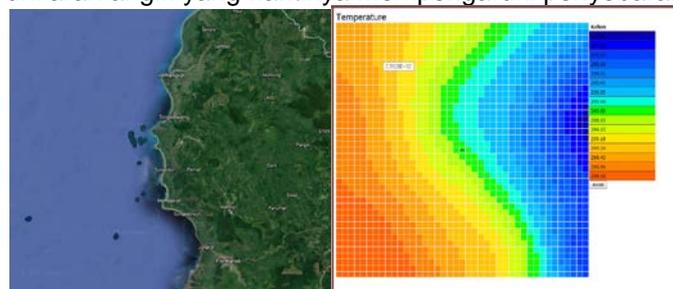
Gambar 5. Tampilan area domain

Peta arah angin dalam domain area studi ditunjukkan dalam gambar 6. Arah angin disekitar lokasi PLTN (bagian tengah domain area) didominasi ke arah barat laut. Pergerakan angin mengalami perubahan orientasi ketika melewati area yang memiliki ketinggian diatas 1000 m di atas laut. Arah angin di area tengah laut didominasi ke arah barat. Semua arah angin dalam domain area akan mempengaruhi penyebaran emisi karbon.



Gambar 6. Arah angin di domain area studi

Distribusi temperatur di dalam domain area studi ditunjukkan pada gambar 7. Temperatur disekitar PLTN memiliki orientasi naik dari arah timur menuju barat. Perubahan temperatur di lokasi tersebut dikarenakan perubahan ketinggian dari kondisi pegunungan mengarah kepada perairan laut terbuka disebelah barat pulau Kalimantan. Distribusi temperatur ini juga mempengaruhi penyebaran emisi karbon karena pada umumnya temperatur akan mempengaruhi tekanan udara di suatu lokasi. Perbedaan tekanan udara akan mempengaruhi arah angin yang nantinya mempengaruhi penyebaran emisi karbon.



Gambar 7. Distribusi Temperatur di domain area studi

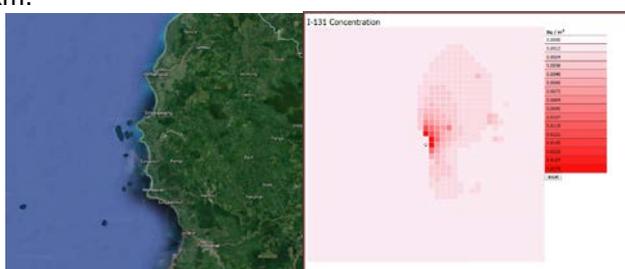
Peta penggunaan lahan (land-use) ditunjukkan pada gambar 8. Area disekitar PLTN didominasi oleh pertanian dan perkebunan termasuk juga pemukiman. Sebagian lahan di bagian timur area domain masih berupa hutan. Pemukiman dan bangunan cukup banyak untuk daerah kota Pontianak, sedangkan wilayah lainnya masih relatif rendah. Sebagian dari pantai berupa hutan basah yang dimungkinkan berupa Mangrove.



Gambar 8. Peta penggunaan lahan di domain area studi

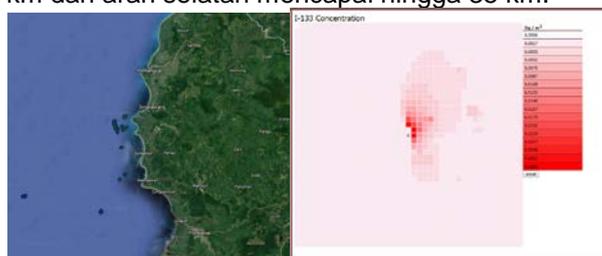
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi penyebaran I-131 ditunjukkan pada gambar 9 untuk domain area studi. Hasil perhitungan dengan menggunakan SIMPACTS menunjukkan bahwa penyebaran emisi I-131 didominasi ke arah timur, selatan dan utara. Nilai maksimal konsentrasi terjadi di area sekitar PLTN yaitu sebesar  $1,79 \times 10^{-2} \text{ bq/m}^3$ . Area penyebaran konsentrasi I-131 ke arah timur dari PLTN mencapai hingga 50 km, ke arah utara mencapai hingga 80 km dan ke arah selatan hingga 45 km.



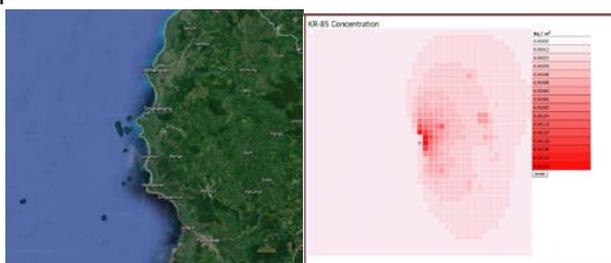
Gambar 9. Distribusi penyebaran Radionuklida I-131

Distribusi penyebaran I-133 ditunjukkan pada gambar 10 untuk domain area studi. Hasil perhitungan dengan menggunakan SIMPACTS menunjukkan bahwa penyebaran emisi berupa I-133 didominasi ke arah timur, arah utara dan arah selatan. Nilai maksimal konsentrasi I-133 terjadi di area sekitar PLTN yaitu sebesar  $2,8 \times 10^{-2} \text{ bq/m}^3$ . Area penyebaran konsentrasi I-133 ke arah timur dari PLTN mencapai hingga 45 km, arah utara mencapai hingga 70 km dan arah selatan mencapai hingga 35 km.



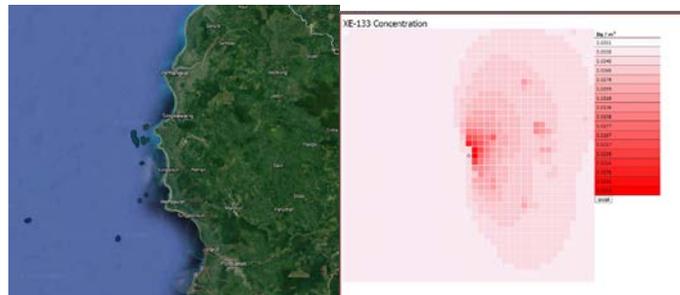
Gambar 10. Distribusi penyebaran Radionuklida I-133

Distribusi penyebaran Kr-85 ditunjukkan pada gambar 11 untuk domain area studi. Hasil perhitungan dengan menggunakan SIMPACTS menunjukkan bahwa penyebaran emisi Kr-85 didominasi ke arah timur, arah utara dan arah selatan. Nilai maksimal konsentrasi Kr-85 terjadi di area sekitar PLTN yaitu sebesar  $1,72 \times 10^{-3} \text{ bq/m}^3$ . Area penyebaran konsentrasi Kr-85 ke arah timur dari PLTN mencapai hingga 85 km, arah utara hingga 100 km, dan arah selatan 100 km.



Gambar 11. Distribusi penyebaran Radionuklida KR-85

Distribusi penyebaran Xe-133 ditunjukkan pada gambar 12 untuk domain area studi. Hasil perhitungan dengan menggunakan SIMPACTS menunjukkan bahwa penyebaran emisi Xe-133 didominasi ke arah timur dengan penyebaran hampir merata antara arah utara dengan arah selatan. Nilai maksimal konsentrasi Xe-133 terjadi di area sekitar PLTN yaitu sebesar  $3,15 \times 10^{-2}$  Bq/m<sup>3</sup>. Area penyebaran konsentrasi Xe-133 ke arah timur dari PLTN mencapai hingga 90 km, arah utara mencapai hingga 100 km dan arah selatan mencapai hingga 95 km.



Gambar 12. Distribusi penyebaran Radionuklida Xe-133

Seluruh data penyebaran radionuklida ditunjukkan pada tabel 2 beserta dengan konsentrasi maksimum dari radionuklida tersebut. Dampak negatif karena adanya penyebaran radionuklida hasil reaksi fisi, nilai konsentrasi radionuklida tersebut harus dikonversi ke dalam satuan mSv/tahun untuk mengetahui apakah nilai tersebut masih di bawah nilai radiasi alam. Hal ini menjadi penting untuk menunjukkan bahwa PLTN yang akan dibangun tidak berpotensi mengganggu kesehatan manusia dan binatang karena potensi radiasinya.

Tabel 2. Data Konsentrasi Radionuklida dan sebarannya.

No	Jenis Emisi	Konsentrasi maksimum Bq/m <sup>3</sup>	Arah utara (km)	Arah Timur (km)	Arah Selatan (km)	Arah Barat (km)
1	I-131	0,0179	80	50	45	< 5
2	I-133	0,0280	70	45	35	<5
3	Kr-85	0,00172	100	85	100	<5
4	Xe-133	0,0315	100	90	95	<5

## KESIMPULAN

Potensi penyebaran Radionuklida dari PLTN yang diasumsikan dibangun di Kalimantan Barat tepatnya di wilayah bengkayang telah dihitung dengan perangkat lunak SIMPACT. Hasil simulasi menunjukkan bahwa penyebaran didominasi ke arah timur, arah utara dan arah selatan. Radionuklida yang terdiri I-131; I-133; Kr-85 dan Xe-133 secara umumnya tersebar ke arah timur hingga mencapai maksimal 90 km, ke arah utara maksimum 100 km atau lebih dan ke arah selatan maksimum 100 km atau lebih. Penyebaran ke arah barat sangat minim karena dipengaruhi oleh arah angin, temperatur dan tekanan udara yang mengakibatkan penyebaran radionuklida lebih kearah timur.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Suparman yang telah mendukung peningkatan kompetensi SDM melalui pelatihan E-learning SIMPACTS IAEA. Penulisan makalah ini dibiaya dari kegiatan penyusunan buku INEO PKSEN.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Che Doering, Scott A. McMaster, Mathew P. Johansen, "Modelling the Dispersion of Radionuclides in Dust from a Landform Covered by Low Uranium Grade Waste Rock", Journal of Environmental Radioactivity, no. 202, pp 51-58, (2019).
- [2] Maryam Hassanvand, Zahra Mirnejad, " Hydrodynamic model of Radionuclide Dispersion During Normal Operation and Accident of Bushehr Nuclear Power Plant", Progress in Nuclear energy, no 116, pp 115-123, (2019).

- [3] Marcelo C. Santos, Andre Pinheiro, Robert Schirru, Claudio Pereira, "GPU base Implementation of a Real Time Model for Atmospheric Dispersion of Radionuclides", *Progress in Nuclear Energy*, no. 110, pp 245-259, (2019).
- [4] Kyung Suk Suh, Kihyun Park, Byung Il Min, Sora Kim, Byung Mo Yang, "Estimation of the Radionuclides Emission Region Using Trajectory and Atmospheric Dispersion Models", *Annals of Nuclear Energy*, no. 94, pp 626-632, (2016).
- [5] Soon Ung Park, In Hye Lee, Jae Won Ju, Seung Jin Ju, "Estimation of Radionuclide Cs-137 Emission Rates from e Nuclear Power Plant Accident using the Lagrangian Particle Dispersion Model (LPDM) ", *Journal of Environmental Radioactivity*, no 162 &163, pp 258-262, (2016).
- [6] Junjie Cai, Kwai Fun Ip, Chika Eze, Jiyun Zhao, Jiejun Cai, han Zhang, "Dispersion of Radionuclides released by Nuclear Accident and Dose Assessment in The Greater Bay Area of China ", *Annals of Nuclear Energy*, no. 132, pp 593-602, (2019).
- [7] Adam Leelossy, Istvan Lagzi, Attila Kovacs, Robert Meszaros ", "A Review of Numerical Models to Predict the Atmospheric Dispersion of Radionuclides," *Journal of Environmental Radioactivity*, no. 182, pp 20-33, (2018).
- [8] M.A.N. Gimenez, E.M. Lopasso, "Tungsten Carbide Compact Primary Shielding for Small Medium Reactor ", *Annals of Nuclear Energy*, no. 116, pp 210-223, (2018).
- [9] Krishna Kumar, Toshikazu Takeda, "Burnup Management Simulator for Small and Medium Sized Reactors ", *Annals of Nuclear Energy*, no. 38, pp 2840-2842, (2015).
- [10] Manseok Lee, Seung Min Woo, "A New Security Strategy for Small medium Sized Reactor (SMR) plants", *Progress in Nuclear Energy*, no. 108, pp 66-70, (2018).
- [11] BPS Kalimantan Barat, "Kalimantan Barat dalam Angka 2019", Badan Pusat Statistik Kalimantan Barat, Pontianak, (2019).
- [12] Mahender Singh, Deb Mukhopadhyay, D. Datta, "A Numerical Methodology for estimation of volatile fission products release from nuclear fuel ", *Nuclear Engineering and Design*, no. 323, pp 338-344, (2017).
- [13] Jason A. Hearne, Pavel V. Tsvetkov, " Analysis of the transmutation of long lived fission products using a charged particle beam", *Annals of Nuclear Energy*, no. 133, pp 501-510, (2019).
- [14] S.Y. Park, K.I. Ahn, " A Comparison of fission product behavior for typical PLWR and PHWR with FCVS operation ", *Annals of Nuclear Energy*, no. 101, pp 99-108, (2017).
- [15] Peng Wua, Ying Jin, Yongjiang Shi, Hawfeng Shyu, "The impact of carbon emission costs on manufacturers' production and location decision", *International Journal of Production Economics*, no. 193, pp 193–206, (2017).

#### **DISKUSI/TANYA JAWAB :**

##### **1. PERTANYAAN :**

SMR apa yang dipilih untuk simulasi penyebaran radionuklida?

##### **JAWABAN :**

SMR yang digunakan adalah SMR Smart 100 MW Korea Selatan

##### **2. PERTANYAAN :**

Bagaimana pengaruh burn-up terhadap hasil penyebaran zat radioaktif pada SMR berdaya sama 100MW?

##### **JAWABAN :**

Burn-up berpengaruh pada jumlah reaksi fisi maka akan berpengaruh pada produk fisi

##### **3. PERTANYAAN :**

Dalam melakukan perhitungan penyebaran radionuklida apakah dibedakan antara operasi normal atau waktu kecelakaan? Software apa yang digunakan?

##### **JAWABAN :**

Yang dianalisis adalah untuk kondisi operasi normal. Software yang digunakan adalah SIMPACT. Untuk kondisi abnormal atau kecelakaan akan mengakibatkan paparan radionuklida yang lebih besar dan tidak hanya gas yang berpotensi ke lingkungan

---

# **KELOMPOK C1**

---



---

**DEVELOPMENT OF RDE COMPONENT DATABASE  
BASED ON GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM**

**Ari Nugroho<sup>1</sup>, Farisy S. Yogatama<sup>2</sup>, M.Awwaluddin<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, Jln. Kuningan Barat, Jakarta 12710

<sup>2</sup> Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, PUSPIPTEK Gd.80,  
Banten 15310

<sup>3</sup> Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir, PUSPIPTEK Gd.71, Banten 15310

e-mail : [ari\\_nugroho@batan.go.id](mailto:ari_nugroho@batan.go.id)

**ABSTRACT**

**DEVELOPMENT OF RDE COMPONENT DATABASE BASED ON GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS).** The projects and activities related to the Reaktor Daya Eksperimental (RDE) have been partially done and produce enormous information. However, it is not easy to obtain the necessary information quickly and accurately due to many of information are scattered separately in many pages or folders. The objective of this article is to provide convenience for the end user when looking for particular data more easily. This article describes a method to rapidly identify the existing spatial and non-spatial data in a project document by means of a GIS software. By using the method of adding attribute data, select by location, domain, query, and HTML pop-up, a preliminary component database has been developed and come up with the new rapprochement, resulting the information internal components, building, codes, nuclear classification as well as material type of RDE becomes easy to be searched.

Keywords : Reaktor Daya Eksperimental, Geographic Information System, ArcGIS 10.2

**ABSTRAK**

**PENGEMBANGAN DATABASE KOMPONEN RDE BERBASIS SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG).** Proyek dan kegiatan yang terkait dengan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) telah dilakukan sebagian dan menghasilkan informasi yang sangat banyak. Namun demikian, tidak mudah untuk mendapatkan informasi yang diperlukan dengan cepat dan akurat karena banyak informasi tersebar secara terpisah di banyak halaman maupun *folder*. Tujuan dari artikel ini adalah untuk memberikan kemudahan bagi *end-user* ketika mencari data tertentu dengan mudah. Artikel ini menjelaskan metode untuk secara cepat mengidentifikasi data spasial dan non-spasial yang ada dalam dokumen proyek melalui perangkat lunak SIG. Dengan menggunakan metode *adding attribute data*, *select by location*, domain, kueri, dan *pop-up* HTML, awal dari basis data komponen telah dikembangkan dan menghasilkan pendekatan baru yang membuat informasi tentang komponen internal, bangunan, kode, dan klasifikasi nuklir, serta jenis material dari RDE menjadi mudah untuk dicari.

Kata Kunci : Reaktor Daya Eksperimental, Sistem Informasi Geografis, ArcGIS 10.2

**INTRODUCTION**

Geographic Information System (GIS) software is designed to capture, manage, analyze, and display all forms of geographically referenced information. It allows us to view, understand, question, interpret, and visualize our world in ways that reveal relationships, patterns, and trends in the form of maps, globes, reports, and charts. GIS software also helps to answer questions and solve problems by looking at the data in a way that is quickly understood and easily shared on a map<sup>[1]</sup>.

GIS is a broad term that can refer to a number of different technologies, processes, and methods. It is attached to many operations and has many applications related to engineering, planning, management, transport, insurance, telecommunications, and business. GIS can relate unrelated information by using location as the key index variable. Locations or extents in the earth may be recorded as x, y, and z coordinates representing, longitude, latitude, and elevation, respectively<sup>[2]</sup>.

GIS provide powerful tools for addressing geographical and environmental issues. It allows us to arrange information about a given region or city as a set of maps with each map displaying information about one characteristic of the region. Once these maps have been

registered carefully within a common locational reference system, information displayed on the different layers can be compared and analyzed [3].

This activity aims to provide convenience to the working team formulating a document of basic design and safety of RDE. In the course of compiling the document, the working team encounters many problems in identifying and categorizing the enormous components in the nuclear facility since each of the component has a specific code, such as building and component codes, nuclear classification and material type.

It certainly takes a long time to get to know and to understand the components one by one, because the reference documents available either in the form of spatial (image) and non-spatial (attribute) separated in many different of pages. This article comes up with the new method to deal with these problems by compiling the data all together into a single integrated database under the Geographic Information System.

As a whole, component of RDE is divided into two main systems namely nuclear facilities and utilities. The nuclear facilities consist of primary circuit, equipment handling, helium purification, liquid waste storage, water cooling system and heating, ventilating and air conditioning (HVAC). Whereas, the utilities system consists of pressure vessel, storage tanks, centrifugal pumps, fire protection system, water treatment package and HVAC. However, this study will emphasize only the internal components of the reactor pressure vessel (RPV) which belong to the primary circuit system.

## THEORY

All positions of an object on the surface of the earth have a spatial information including coordinate positions in a particular system as well as non-spatial information in the form of attributes attached to them.



Figure 2. Layout of RDE<sup>[4]</sup>

In Fig. 1 is shown the layout of RDE that planned to be built in the preferred candidate site which is located at the village of Muncul, South Tangerang, Banten Province. The layout informs the area and the position of main buildings of the RDE along with the coordinate information.

In addition, the detail information inside of the main building, especially for the internal component of RPV in the primary circuit which belong to the reactor building described separately in another sheet document as follows:

### Ceramic Core Internals<sup>[5]</sup>

The ceramic core structure, consisting mainly of side, bottom and top reflectors, encloses the pebble bed and also has the task of reflecting neutrons leaving the core back into the pebble bed.

The side reflector is constructed of individual stacks. The number of stacks is subject of the detailed design and dependent on the used graphite material. For thermal insulation, the outer portion is made of carbon bricks. The stacks are supported by metal rings and consist of individual blocks of graphite and carbon brick.

In order to prevent an impeded flow of fuel elements near the side reflector, by an ordered structure in the pebble bed the inward facing surfaces of the individual bricks are corrugated.

The top reflector is made of several layers, each of which consists of cantilevered segments which correspond to the stack segments of the side reflector and are joined to them with dowels. A plug-in line with the core axis closes the gap in the upper layers.

The core bottom is constructed of several segmented layers, consisting of several segments. The lower two layers are of carbon brick, the upper layer of graphite. The segments of the individual bottom layers are arranged coincident with the stack segments, except for the lowermost layer. The bottom layers are fastened to each other and to the metal bottom plate with dowels. Parts of the core bottom are bored to avoid unacceptable activation of the reactor pressure vessel near the gas duct pressure vessel, the hot gas duct and the steam generator. The two lower layers of the bottom are made of carbon bricks for thermal insulation.

The ceramic portion of the fuel discharge tube is constructed of several courses of graphite centered on and supported by the metal bottom plate. The inside diameter is approx. 500 mm, thus certainly preventing plugging by the fuel elements. The transition from core bottom to fuel discharge tube is formed by the inner top bricks of the core bottom. Beneath the bottom plate, the fuel discharge tube material is metallic. The lower portion of the ceramic discharge tube is bored to legate of power release from fuel elements.

Cold gas enters the core barrel through columns in the core barrel bottom plate and is conveyed to the cold gas plenum above the core through columns in the side reflector. In order to minimize heat flow from hot to cold gas and thus to keep the radial outlet temperature profile as uniform as possible, thermal insulation sleeves of graphite are inserted into the cold gas columns from the core barrel bottom plate to approximately the level of the lower third of the core. Thermal insulation is provided by the coaxial gas-filled gap between sleeve and brick.

After the primary coolant has flowed through the core from top to bottom and has been heated, it proceeds through columns in the bottom reflector to the annular hot gas plenum from which the primary coolant passes into the hot gas duct.

### **Metallic Core Internals**

The cylindrical part of the metallic core barrel is constructed of individual courses. At various levels in the core region and above the top reflector, azimuthal guides prevent deflection of the individual stacks of the side reflector.

The connection to the hot gas duct is located in the lower region of the core barrel.

The metal bottom structure of the core barrel is of welded construction.

As part of the bottom structure the bottom plate contains openings in line with the cold gas columns in the side reflector for the passage of cold gas. The entire ceramic core structure is joined to this bottom plate with dowels. The individual stacks of the side reflector are supported at top and bottom by spacers, which are rigidly fixed to core barrel.

The core barrel is flanged at the top to form a leak-tight joint with the gray iron top thermal shield which, in conjunction with the upper radiation shield, thus allows access to the area above the core barrel when the reactor is shut down and the reactor pressure vessel is open. The core barrel is radially supported by guides in the reactor pressure vessel above the top thermal shield. The core barrel, together with the top thermal shield and its internals and penetrations, e.g. for control and shutdown systems and small ball shutdown element feed lines is constructed so tight that an adequate separation is ensured between primary circuit and building atmosphere at opened reactor pressure vessel.

The metal core barrel and ceramic core internals are designed to last the service life of the reactor. Spot visual inspections and repairs to reactor pressure vessel internals are possible. For this purpose, the pressure equalizing system is closed after the pressure has been lowered, so that the space above the core barrel is accessible. In so doing, the reactor core is kept at low temperatures through heat removal by the main heat transfer system.

### **Nuclear Classification** <sup>[6]</sup>

The systems and components differ in functional and safety-related importance for the overall plant and are classified accordingly. This basically applies to pressure and activity-carrying system (MK1, MK2a, MK2b, NNC), HVAC Systems (ML, NNC), hoists and cranes (MH1, MH2, NNC), and steelwork (MS1, MS2, NNC). The quality requirements relating to integrity and operability are graded according to nuclear classification.

The classification of pressure and activity-carrying systems relates to the integrity of the pressure-retaining walls. Component internals, such as RPV internals and steam generator pressure vessel internals, are not covered by this classification, their specifications are based on their functional requirements.

Quality Class MK1 covers systems and components, postulated failure of which could lead to radioactive releases in excess of the governmental dose limits based on the Federal German Radiological Protection Ordinance. This class also covers systems and components, postulated failure of which would lead to a non-isolable break in the primary gas envelope, even though the governmental dose limits would not be exceeded. In accordance with these criteria, the components of the pressure vessel unit and all connected primary coolant piping up to and including the primary system isolation valve are assigned to class MK 1. Quality Class MK 2a is a systems or system sections, which are necessary to limit loadings on components and structures for residual heat removal and systems and components, which are requested at shutdown. Quality Class MK 2b is a systems and components which limit the release of radioactivity to levels that do not exceed the specified limits for normal operation and anticipated operational occurrences. As apportionment criteria serve of the Class MK 2 to the Class MK 1 and NNK are pipes and components, which connect to those of the Class MK 1, valves with isolating functions which connect non-nuclear-classified systems and components to Class MK 2 items. Non-nuclear-classified (NNC) is all systems that are not assigned to classes MK 1 or MK 2 are non-nuclear-classified.

## RESULT AND DISCUSSION

In general, all the descriptive information that previously described above contains a spatial and non-spatial data. The spatial data is typically in the form of image represented in point, line and polygon along with the coordinat position on it. A non-spatial data, known as the attribute data is the additional information that corresponds to the spatial data. Both of these data then put into appropriate folder called feature dataset.

This activity begins by adding a spatial data of the layout of RDE in the form of shapefile (\*.shp) to the screen of ArcMap provided by ArcGIS from ESRI. This data contains information about the extent of the area and coordinat position of the main building on the surface of the earth.

Furthermore, the data will be manipulated into the geodatabase, by means of:

### Adding attribute data [7]

Each layer references a dataset that is stored in a geodatabase, coverage, shapefile, raster, and so on. It is easy to add layers to a map, simply by selecting a dataset and drag it from the catalog or search window onto the map or add a dataset using the add data button.

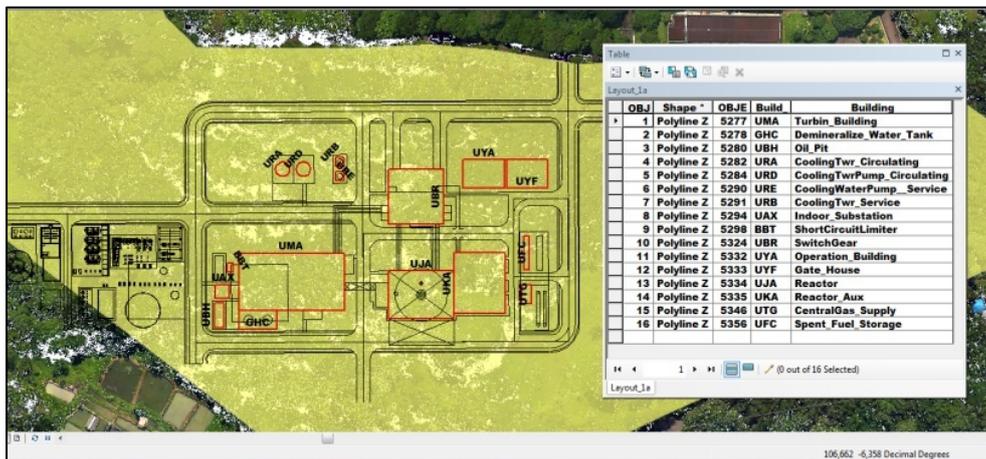


Figure 4. Attribute data

Once each layer is added to the map, we will typically set the symbology and labelling properties and organize the drawing order of the layers in our table of contents to make our map work well. Fig.4 shows the example of the correspondence of the spatial and non-spatial data between the main building image [8] and its code, respectively.

### Select by location or by attribute

The select by location or by attribute tool lets us select features based on their location or attribute relative to features in another layer. For instance, if we want to know the location

of a particular building that we are interested in, we could select one of the buildings in the site area.

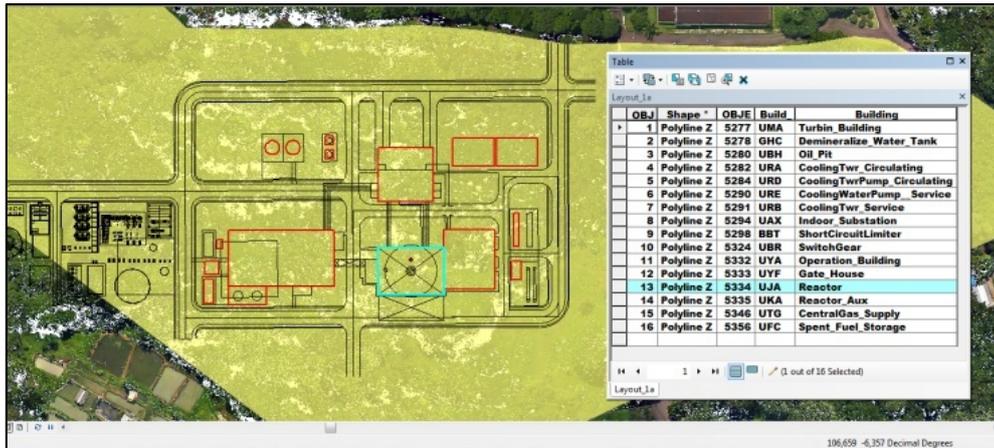


Figure 5. Selection tool

We can use a variety of selection methods to select the point, line, or polygon features in one layer that are near or overlap the features in the same or another layer. For the example, in Fig.5 we are able to withdraw the information about one of the names of the main buildings that corresponds with the code in the attribute table in the right side of screen. This can be performed simply either by selecting rectangular shape (spatial data) or by selecting a building code (non-spatial data).

### Create dropdown menu using Domain

Attribute domains are rules that describe the legal values of a field type, providing a method for enforcing data integrity. A domain is a declaration of acceptable attribute values. Attribute domains are used to constrain the values allowed in any particular attribute for a table or feature class. Whenever a domain is associated with an attribute field, only the values within that domain are valid for the field. In other words, the field will not accept a value that is not in that domain.

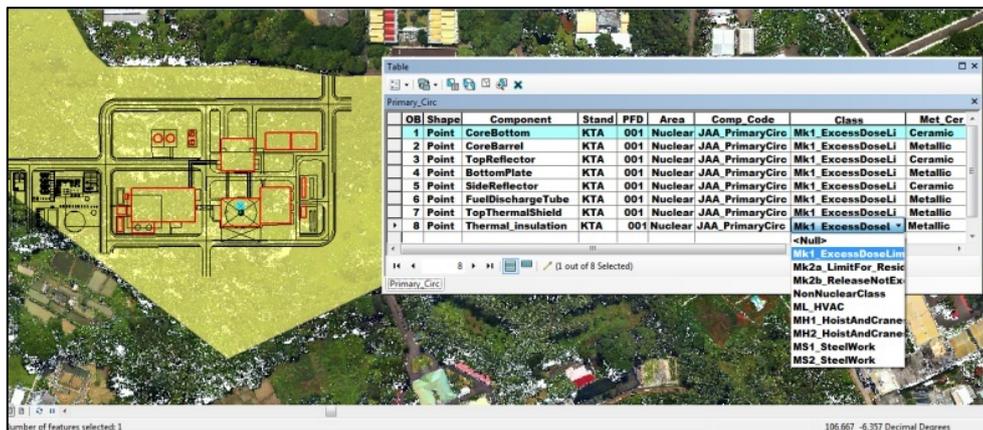


Figure 6. Domain

Using domains not only helps ensure data integrity by limiting the choice of values for a particular field, but also save time because does not need to write repeatedly, as well as to avoid typo. Pic.6 shows the dropdown menu created by domain tool to differentiate nuclear classification class in each of internal material inside the RPV.

### Query

One of the selection methods we can use to select features in a layer is to select features using an attribute query. This is performed using the select by attributes tool, which is

described here. Select by attributes allows us to provide a SQL query expression that is used to select features that match the selection criteria.



Figure 7. Query

Fig.7 shows an example of query expression that is used to find the ceramic component out of the metallic component, the requested information is represented in the green highlight colour. This tool would be very helpful if we only interested in searching any particular data out of the hundred or thousand data.

### HTML pop-up

Many map layers in ArcGIS are used for accessing enormous attributes and other information for each feature. One mechanism is to provide an HTML pop-up display when we click on each feature. This potentially provides a powerful way to share HTML-formatted information, such as web content, about each feature. They are especially useful for layers that we will be sharing with other users as packages so that they able to access richly formatted information about features when they open our package in ArcGIS Desktop.



Figure 8. HTML pop-up<sup>[9]</sup>

We can display HTML content about features in ArcMap using HTML pop-up windows. To perform this, we will first set the HTML display properties for a feature layer. Once we have defined what to display, we can select a feature with the HTML pop-up tool to open a window containing the HTML content. Fig.8 demonstrates how to show the picture of the surrounding area nearby the candidate site of the reactor building. This action can be performed simply by navigate the cursor to the particular point, instead of look up into a bulky document.

## CONCLUSION

GIS is one of the powerful tools use to develop a database for broad application, included for the engineering aspect. By using the method of adding attribute data, select by location, domain, query, as well as HTML pop-up, the descriptive data contained in the bulky document are classified into a spatial and non-spatial data and finally compile and store to certain folder under the geodatabase. In doing so, we have obtained facilities in searching and understanding the enormous components inside the nuclear power plant quickly and accurately. In addition, we can find many benefits from this database, such as reduce the amount of document paper, provide convenience in memorizing the position of the components, duplicable, durable from weathering, save space of storage, and easy to trackdown the whole project file that has been published many years ago.

## REFERENCES

- [1] Environmental System Research Institute (ESRI), "How GIS work", <http://www.esri.com/what-is-gis/howgisworks>, (2017).
- [2] Wikipedia, "GIS Application", [https://en.wikipedia.org/wiki/GIS\\_applications](https://en.wikipedia.org/wiki/GIS_applications), (2017).
- [3] KENNETH E. FOOTE and MARGARET LYNCH, "The Geographer's Craft Project", Department of Geography University of Colorado, April (2015).
- [4] Final report, "Site Feasibility Study Development Plan", RDE/DS-WBS01-105, December (2015).
- [5] Safety and Design Requirements, "Basic Design of Reactor Daya Eksperimental", BD00-01-05, February (2016).
- [6] Design Criteria of RDE, "Nuclear Classification and Quality Requirement", February (2016).
- [7] Geospatial Information Bureau (BIG), "Advance GIS Training Modul", Cibinong (2016).
- [8] Final report, "Main Data of Nuclear Reactor", Preparation of Preliminary Engineering Design Document for Experimental Reactor, December (2015).
- [9] Final report, "The Site Feasibility Study of Experimental Power Reactor", RDE/DS-WBS01-104, December (2015).

## DISKUSI/TANYA JAWAB :

### 1. PERTANYAAN (Seno - UNTAN):

Reactor Pressure Vessel built based on GIS will improve the performance of the system, is it safe? Because many people can take information

### JAWABAN :

Tidak ada di proses, tapi lebih pada database, tidak ada kontak antara manusia dengan komponen nuklir karena data yang diperoleh adalah data sekunder bukan data primer

HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN

## **RANCANGBANGUN OSILATOR UNTUK PEMBANGKIT PULSA *EDDY CURRENT TESTING* MENGGUNAKAN *DIRECT DIGITAL SYNTHESIS* BERBASIS ARDUINO**

**Yadi Yunus, Budi Suhendro, Diana Anidza Fikri, Tasih Mulyono, Haerul Ahmadi**  
*Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Jalan Babarsari PO BOX 6101 YKBB Yogyakarta*  
*email: yadiyunus@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

#### **RANCANGBANGUN OSILATOR UNTUK PEMBANGKIT PULSA *EDDY CURRENT TESTING* MENGGUNAKAN *DIRECT DIGITAL SYNTHESIS* BERBASIS ARDUINO.**

Penelitian ini bertujuan untuk membuat osilator untuk pembangkit pulsa *Eddy Current Testing* menggunakan komponen mudah di pasaran sehingga lebih mudah dalam operasional, perawatan, perbaikan serta harga lebih terjangkau. Pembangkitan pulsa tersebut menggunakan modul *Direct Digital Synthesis* (DDS) AD9850 dengan sistem kontrol Arduino Uno. Arduino Uno digunakan untuk memprogram nilai frekuensi yang akan disalurkan menuju modul DDS, kemudian modul DDS akan membangkitkan pulsa sesuai frekuensi yang telah diatur. Nilai frekuensi yang dibangkitkan akan ditampilkan pada LCD. Adapun sinyal *input* osilator yang dibuat berasal dari *rotary switch* dan potensiometer. *Rotary switch* berfungsi sebagai digital *input*, sedangkan potensiometer sebagai analog *input*. Nilai frekuensi yang akan keluar merupakan hasil pembacaan analog *input* dikalikan dengan nilai digital *input*. Hasil penelitian ini yaitu terdapat 2 buah keluaran osilator yaitu sebelum penguatan dan setelah penguatan amplitudo. Sebelum penguatan amplitudo, osilator mampu membangkitkan frekuensi dari 10 Hz-11 MHz dengan frekuensi *cut off* 11 MHz dan amplitudo sebesar 1,02 Vpp. Sedangkan ketika amplitudo telah dikuatkan, osilator mampu membangkitkan frekuensi 10 Hz-85 kHz dengan frekuensi *cut off* 85 kHz pada *gain* tertinggi serta memiliki amplitudo *adjustable* yaitu 1,04 Vpp-3,2 Vpp. Adapun sebelum penguatan amplitudo, gelombang sinus sempurna mampu dikeluarkan sampai frekuensi tertinggi yaitu 15 MHz, sedangkan setelah penguatan amplitudo, gelombang sinus sempurna yang mampu dikeluarkan hanya sampai pada frekuensi 1 MHz.

**Kata Kunci:** *Eddy Current Testing* (ECT), Osilator, *Direct Digital Synthesis*, Arduino

### **ABSTRACT**

DESIGN OF OSCILLATOR FOR PULSE GENERATOR EDDY CURRENT TESTING USES DIRECT DIGITAL SYNTHESIS BASED ON ARDUINO. This study aims to create an oscillator for pulse generator Eddy Current Testing using local components so that prices are more affordable. The pulse generation uses AD9850 Direct Digital Synthesis (DDS) module with the Arduino Uno as control system. Arduino Uno is used to program the frequency value that will be transferred to the DDS module, then the DDS module will generate pulses according to set value of frequency. The generated frequency value will be displayed on the LCD. The oscillator input signal is made from a rotary switch and potentiometer. Rotary switch functions as digital input, while potentiometer is analog input. The value of the frequency that will come out is the result of analog input reading multiplied by the value of the digital input. The results of this study are 2 pieces of oscillator output, namely before and after amplitude gain. Before amplitude gain, the oscillator is able to generate frequencies from 10 Hz-11 MHz with a cut-off frequency of 11MHz and an amplitude of 1,02 Vpp. While when amplitude has been amplified, the oscillator is able to generate a frequency of 10 Hz-85 kHz with a cut off frequency of 85kHz at the highest gain and has an adjustable amplitude of 1,04 Vpp-3.2Vpp. As for amplitude gain, a perfect sine wave can be released to the highest frequency of 15Mhz, while after amplitude gain, a perfect sine wave capable of being released only reaches the 1MHz.

**Keywords:** Eddy Current Testing (ECT), Oscillator, Direct Digital Synthesis, Arduino

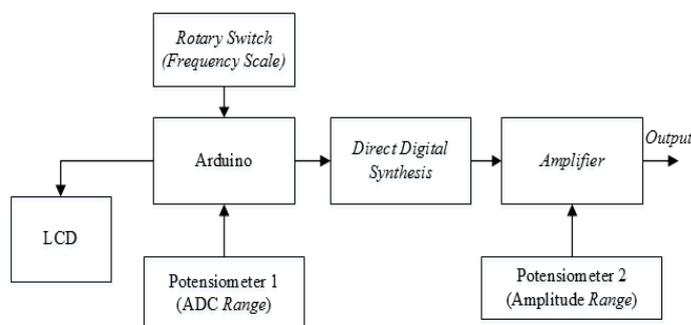
## PENDAHULUAN

Pada dunia industri penggunaan teknologi *Non Destructive Testing* atau NDT sangat populer. NDT merupakan metode yang menjamin ketangguhan struktur dari suatu material tanpa merusak strukturnya secara fungsional [1]. Ada berbagai jenis teknologi NDT, salah satunya yaitu *Eddy Current Testing* atau ECT. ECT merupakan teknologi NDT yang bekerja berdasarkan pada induksi elektromagnetik [2]. ECT terdiri dari berbagai komponen elektronika antara lain osilator, *amplifier*, *probe*, jembatan *wheatstone*, *signal conditioning & processing*, *interface* dan penampil. Sebelumnya telah dilakukan penelitian terhadap *probe* lokal yaitu pembuatan *probe bobbin differential* ECT yang mampu memeriksa cacat pada tube berdiameter 1,5 inci [3]. Dalam mewujudkan ECT komponen lokal maka dibuatlah salah satu penyusun alat ECT lainnya yaitu osilator menggunakan teknologi *Direct Digital Synthesis* (DDS) berbasis Arduino. Osilator yang dibuat diharapkan memiliki harga yang terjangkau, sebagai referensi jika terjadi kerusakan pada osilator ECT yang sudah ada dan memudahkan perbaikan ketika terjadi kerusakan.

## METODE PENELITIAN

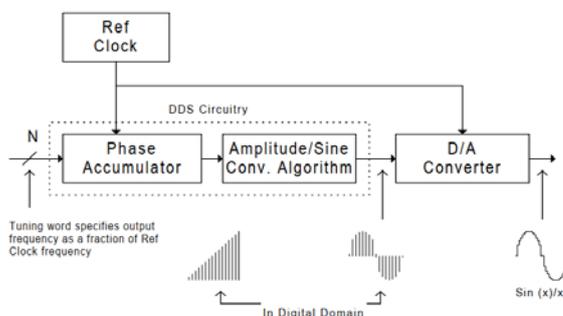
### Perancangan Sistem

Perancangan sistem berupa pembuatan blok diagram osilator dan perancangan alur program. Blok diagram osilator terdiri dari arduino, DDS, *amplifier*, LCD, *Rotary switch* dan potensiometer. Blok diagram osilator ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Blok Diagram Osilator

Sistem pembangkitan pulsa yang terjadi pada DDS yaitu dikontrol pada sistem kontrol Arduino. Modul DDS yang telah dipicu oleh arduino maka DDS akan membangkitkan pulsa dengan mengeluarkan gelombang sinus analog dengan besaran frekuensi yang dapat diprogram oleh arduino. Penyekalaan frekuensi dilakukan oleh *rotary switch*, sedangkan pengaturan ADC ditentukan oleh perubahan potensiometer 1 sebagai *ADC range*. Adapun nilai amplitudo yang dikeluarkan oleh DDS masih sangat kecil dan tidak dapat diatur-aturl sehingga perlu dikuatkan amplitudonya menggunakan *amplifier*. Rentang keluaran amplitudo oleh *amplifier* diatur menggunakan potensiometer 2 sebagai *amplitude range*. Prinsip kerja DDS secara khusus ditunjukkan pada konstruksi DDS Gambar 2.

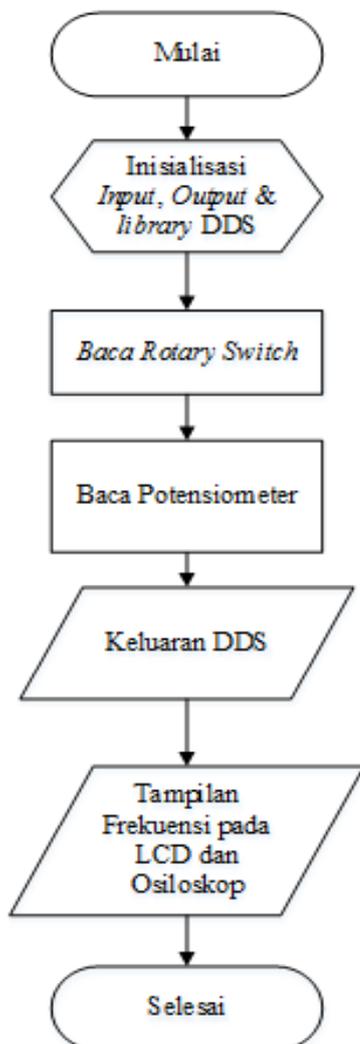


Gambar 2 Kontruksi DDS [4]

Konstruksi DDS terdiri dari frekuensi *clock* sebagai referensi, *phase accumulator*, *amplitude/sine converter algorithm*, *D/A converter*. Prinsip kerja DDS berdasarkan konstruksi

tersebut yaitu *phase accumulator* merupakan *counter* modulus  $M$  yang menaikkan jumlah penyimpanannya setiap waktu. *Phase accumulator* juga menerima pulsa *clock*. Magnitudo dari kenaikan tersebut ditentukan oleh jumlah input biner ( $M$ ) yang terkandung dalam register delta fase yang dijumlahkan dengan *overflow dari counter*. Informasi fase digital dari *phase accumulator* kemudian diubah kedalam amplitudo digital yang sesuai oleh *amplitude/sine converter algorithm*. Terakhir *D/A converter* mengubah amplitudo digital kedalam sinyal analog [4].

Adapun perancangan program berfungsi untuk memberikan perintah terhadap kontroler agar program berjalan sesuai yang diinginkan. Sistem akan membaca *input* yang diberikan oleh *rotary switch* dan potensiometer, kemudian DDS mengeluarkan frekuensi dan nantinya nilai frekuensi akan ditampilkan pada LCD. Alur program sistem ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Alur Program Sistem

### Pembuatan Sistem

Pembuatan sistem terdiri dari pembuatan *hardware system* dan pembuatan *software system*. Pembuatan *hardware system* mengacu pada blok diagram osilator yang telah dibuat. Pembuatan *hardware system* terdiri dari pembuatan PCB, *box panel*, penggabungan perangkat keras yang terdiri dari rangkaian elektronik dan *box panel*. Setelah itu, dilakukan pembuatan *software system* berdasarkan *flowchart* program yang telah dibuat. Program yang telah dibuat kemudian di-*upload* ke *board arduino*.

### Pengujian Sistem

Pengujian osilator sebelum penguatan amplitudo dan setelah penguatan amplitudo dilakukan untuk mengetahui nilai *frekuensi cut off* dan respon frekuensi pembangkitan pulsa osilator sebelum dilakukan penguatan dan setelah dilakukan penguatan amplitudo. Pengujian nilai ADC dan frekuensi dilakukan untuk mengetahui kelinieritasan pembacaan nilai ADC terhadap frekuensi yang tertampil pada LCD, frekuensi osilator sebelum dan frekuensi setelah penguatan amplitudo yang tertampil pada osiloskop.

Pengujian pembacaan frekuensi dilakukan untuk mengetahui kesalahan *error* dari keluaran frekuensi osilator, baik frekuensi osilator sebelum penguatan amplitudo maupun setelah penguatan amplitudo. Pengujian kestabilan frekuensi dilakukan untuk mengetahui tingkat kestabilan frekuensi yang dihasilkan oleh osilator baik sebelum dilakukan penguatan amplitudo maupun setelah dilakukan penguatan amplitudo.

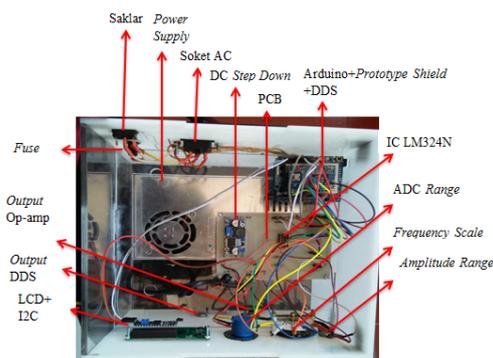
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Fisik Osilator

Berdasarkan hasil perancangan telah dibuat sebuah alat osilator yang mampu membangkitkan frekuensi sampai 11 MHz dengan amplitudo 1,02 Vpp dan mengeluarkan bentuk gelombang sinus. Ketika osilator tersebut diberi penguatan, osilator hanya mampu membangkitkan frekuensi sampai pada 85 kHz dengan amplitudo 1,04 Vpp – 3,2 Vpp dan mengeluarkan bentuk gelombang sinus. Adapun bentuk fisik osilator seperti pada Gambar 4.



Gambar 4.a Tampilan luar



Gambar 4.b Tampak bagian dalam

### Hasil Pengujian Osilator Sebelum Penguatan Amplitudo

Adapun hasil pengujian osilator sebelum penguatan amplitudo ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Frekuensi dan amplitudo output oscillator sebelum dikuatkan

Frekuensi LCD (Hz)	Amplitudo Output (Vpp)	Bentuk Gelombang
10	1,02	Sinus
100	1,02	Sinus
1000	1,02	Sinus
10000	1,02	Sinus
100000	1,02	Sinus
1000000	1,02	Sinus
2000000	1,02	Sinus
3000000	1,02	Sinus
4000000	1,02	Sinus
5000000	1,00	Sinus
6000000	0,96	Sinus
7000000	0,92	Sinus
8000000	0,88	Sinus
9000000	0,72	Sinus
10000000	0,72	Sinus
11000000	0,72	Sinus
12000000	0,68	Sinus
13000000	0,68	Sinus
14000000	0,66	Sinus
15000000	0,60	Sinus

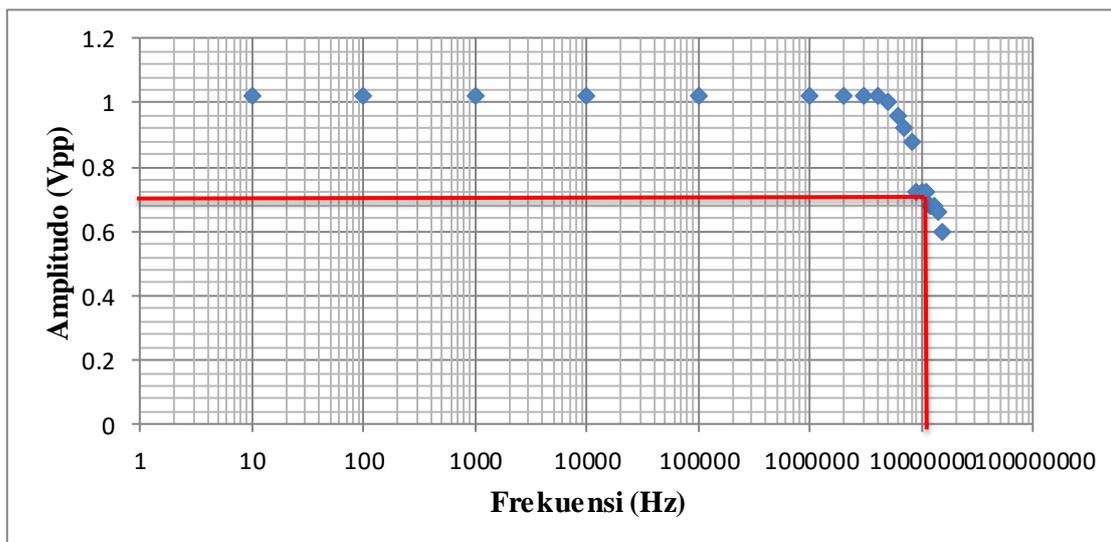
Osilator yang telah dibuat mampu membangkitkan frekuensi dari 10 Hz-11 MHz. Kemudian nilai frekuensi *cut off* nya ketika amplitudo 0,707 Avmid (0,707 dari amplitudo maksimum) [5]. Nilai frekuensi *cut off* dapat diketahui dengan menghitung nilai amplitudo *cut off*. Adapun perhitungan untuk mengetahui nilai amplitudo *cut off* yaitu harus diketahui nilai amplitudo maksimum. Adapun rumusnya yaitu sebagai berikut:

$$\text{Gain cut off} = 0.707 \times \text{Avmid} \quad (1)$$

Avmid merupakan nilai *gain* maksimum. Berhubung pada pengujian ini belum dilakukan penguatan maka nilai *gain* tersebut diganti dengan nilai amplitudo *output* dari DDS. Sehingga *gain cut off* menjadi amplitudo *cut off* dan Avmid menjadi nilai amplitudo maksimum. Sehingga dari data yang telah diperoleh dapat dihitung nilai amplitudo *cut off* nya yaitu

$$\begin{aligned} \text{Amplitudo cut off} &= 0,707 \times 1,02 \text{ Vpp} \\ &= 0,72 \text{ Vpp} \end{aligned}$$

Hasil amplitudo *cut off* 0,72 Vpp dapat dilihat pada Tabel 1. Kemudian diketahui bahwa nilai frekuensi *cut off* yaitu 11 MHz. Selain menggunakan tabel, untuk memperjelas posisi frekuensi *cut off* atau kurva respon frekuensi osilator sebelum penguatan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Kurva Respon Frekuensi Osilator Sebelum Penguatan Amplitudo

Adapun bentuk gelombang yang dikeluarkan oleh rangkaian osilator sebelum penguatan amplitudo yaitu sinus seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

#### Hasil Pengujian Osilator Setelah Penguatan Amplitudo

Pengujian osilator setelah penguatan amplitudo dilakukan dengan 10 kali variasi *gain* yaitu 1,02; 1,23; 1,47; 1,72; 1,96; 2,21; 2,45; 2,70; 2,94; dan 3,14. Berdasarkan Persamaan 1 didapatkan nilai frekuensi *cut off* terhadap 10 variasi *gain*. Adapun nilai *cut off* hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Gambar 6 Gelombang output osilator

Tabel 2 Hasil Pengujian Frekuensi *Cut off* Osilator Setelah Penguatan Amplitudo

Variasi ke-	Gain	Frek Cut Off terukur (Hz)
1	1,02	250000
2	1,23	220000
3	1,47	180000
4	1,72	150000
5	1,96	130000
6	2,21	120000

<b>7</b>	2,45	110000
<b>8</b>	2,70	100000
<b>9</b>	2,94	90000
<b>10</b>	3,14	85000

Tabel 2 menunjukkan bahwa setelah dilakukan penguatan amplitudo terjadi penurunan nilai frekuensi *cut off*. Hal tersebut disebabkan oleh nilai *gain bandwidth product* atau GBWP IC LM342N yaitu 1 MHz [6], sedangkan nilai GBWP sebelum dilakukan penguatan atau dari keluaran DDS yaitu 40 MHz. Selain itu, saat gain 1 harusnya amplitudo 1MHz, namun pada kenyataannya yaitu 250kHz. Hal tersebut disebabkan oleh nilai *slew rate input* yang lebih besar daripada nilai *slew rate* op-amp sehingga menyebabkan penyempitan *bandwidth*.

### Hasil Pengujian Nilai ADC dan Frekuensi

Pengujian nilai ADC dan frekuensi terdiri dari 3 pengujian yaitu pengujian ADC dan frekuensi pada LCD, pengujian ADC pada LCD dan frekuensi sebelum penguatan amplitudo pada osiloskop serta pengujian ADC pada LCD dan frekuensi setelah penguatan amplitudo pada osiloskop. Hasil pengujian ADC terhadap frekuensi ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil pengujian ADC terhadap frekuensi yang tertampil pada LCD ditunjukkan pada Gambar 7.a. Hasil pengujian ADC pada LCD dan frekuensi sebelum penguatan amplitudo pada osiloskop ditunjukkan pada Gambar 7.b

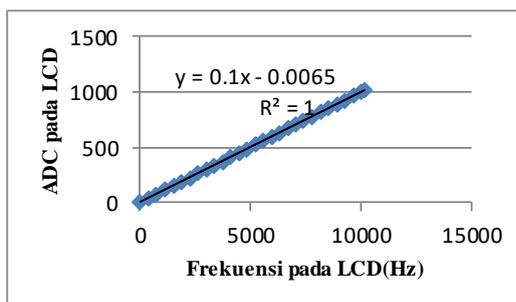
Hasil pengujian ADC pada LCD dan Frekuensi Setelah Penguatan Amplitudo pada Osiloskop. Frekuensi Setelah Penguatan Amplitudo pada Osiloskop

Hasil ketiga grafik pada Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai ADC dan nilai frekuensi memiliki linieritas sempurna karena memiliki nilai *R square* sama dengan 1. Linieritas sempurna berarti setiap kenaikan ADC akan menyebabkan naiknya nilai frekuensi.

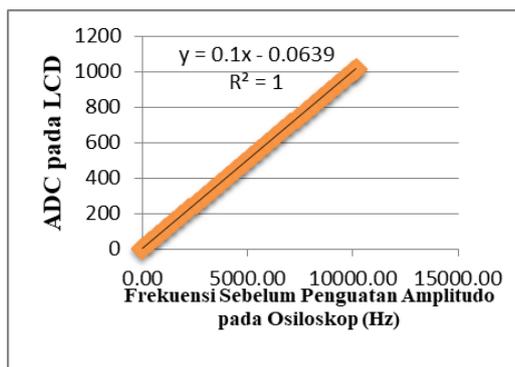
### Hasil Pengujian Pembacaan Frekuensi

Pengujian pembacaan frekuensi terdiri dari pengujian pembacaan frekuensi pada LCD terhadap frekuensi sebelum penguatan dan pengujian pembacaan frekuensi pada LCD terhadap frekuensi setelah penguatan amplitudo yang tertampil pada osiloskop.

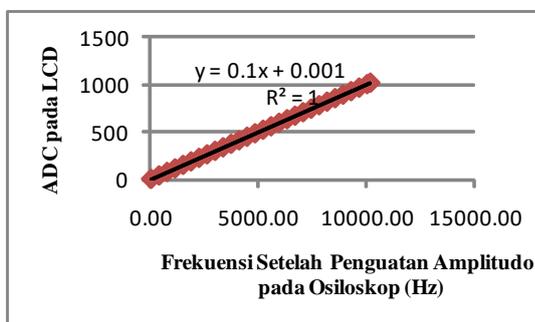
Hasil pengujian pembacaan frekuensi yang tertampil pada LCD dan frekuensi sebelum penguatan amplitudo yang tertampil pada osiloskop ditampilkan pada Tabel 3.



Gambar 7.a Grafik Pengujian ADC dan Frekuensi pada LCD



Gambar 7.b Grafik Pengujian ADC pada LCD dan Frekuensi Sebelum Penguatan Amplitudo



Gambar 7.c Grafik Pengujian ADC pada LCD dan Frekuensi Setelah Penguatan Amplitudo pada Osiloskop

Tabel 3 Pengujian Frekuensi pada LCD dan Frekuensi Sebelum Penguatan Amplitudo pada Osiloskop

Frekuensi pada LCD (Hz)	Frekuensi sebelum penguatan amplitudo pada Osiloskop (Hz)	Error (%)
10	9,98	0,20
100	99,97	0,03
1000	999,95	0,01
10000	9999,69	0,00
100000	100000,00	0,00
1000000	1000000,00	0,00
10000000	10000000,00	0,00
15000000	15000000,00	0,00
<i>Error rata-rata</i>		0,04

Tabel 3 menunjukkan bahwasanya *error* rata-rata terhadap pembacaan frekuensi pada LCD dan frekuensi sebelum penguatan amplitudo pada osiloskop sangat kecil sekali yaitu dengan rata-rata 0,04%. Hasil pengujian frekuensi pada LCD dan frekuensi setelah penguatan amplitudo pada osiloskop ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Pengujian Frekuensi pada LCD dan Frekuensi Setelah Penguatan Amplitudo pada Osiloskop

Frekuensi pada LCD (Hz)	Frekuensi setelah penguatan amplitudo pada Osiloskop (Hz)	Error (%)
10	9,98	0,20
100	99,97	0,03
1000	999,95	0,01
10000	9999,69	0,00
100000	100000,00	0,00
1000000	1000000,00	0,00
10000000	-	-
15000000	-	-
<i>Error rata-rata</i>		0,04

Tabel 4 menunjukkan bahwa *error* rata-rata terhadap pembacaan frekuensi yang tertampil pada LCD dan frekuensi osilator setelah penguatan amplitudo yang tertampil osiloskop sangat kecil sekali yaitu dengan 0,04% untuk frekuensi 10Hz sampai 1MHz. Sedangkan frekuensi 10 MHz dan 15 MHz frekuensi tidak dapat diukur karena terjadi *noise* yang sangat besar pada gelombang yang dibangkitkan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan dari perancangan, pembuatan dan pengujian dapat ditarik kesimpulan yaitu:

- Berhasil dibuat osilator menggunakan teknologi DDS berbasis Arduino untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit pulsa ECT. Osilator tersebut mempunyai 2 *output* yaitu *output* sebelum penguatan amplitudo (*output* DDS) dan *output* setelah penguatan amplitudo (*output* op-amp).
- Osilator sebelum penguatan amplitudo mampu membangkitkan gelombang sinus pada frekuensi 10 Hz – 11 MHz dengan amplitudo 1,02 Vpp. Sedangkan osilator setelah

- penguatan amplitudo mampu membangkitkan gelombang sinus pada frekuensi 10 Hz-85 kHz dengan amplitudo 1,04 Vpp – 3,2 Vpp
3. *Error* rata-rata frekuensi osilator sebelum penguatan amplitudo yaitu 0,04% pada frekuensi 10 Hz – 15 MHz. Sedangkan *error* rata-rata frekuensi osilator setelah penguatan amplitudo yaitu 0,04% pada frekuensi 10 Hz – 1 MHz.
  4. Osilator sebelum penguatan amplitudo dan setelah penguatan amplitudo memiliki tingkat kestabilan frekuensi yang tinggi dengan standar deviasi mendekati nol. Adapun Osilator sebelum penguatan amplitudo stabil pada frekuensi 10 Hz – 15 MHz. Sedangkan osilator setelah penguatan amplitudo memiliki stabil pada frekuensi 10 Hz – 1 MHz.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ramos, H.G., Ribeiro, A.L., Rocha, T.J. 2016. *Evaluation of transient eddy current oscillations response for thickness measurement of stainless steel plate*. Portugal: Universidade de Lisbon.
- [2] Zhou, H.T., Hou, K., Pan, H.L., Chen, J.J., Wang, Q.M. 2015. *Study on the Optimization of Eddy Current Testing Coil and the Defect Detection Sensitivity*. Procedia Engineering 130, 1649–1657.
- [3] Putri, A.S. 2018. *Rancang Bangun Probe Bobbin Differential Untuk Pemeriksaan Tube 1,5 Inchi pada Eddy Current Testing*. Yogyakarta: Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir-BATAN.
- [4] Devices, A. 1999. Complete DDS Synthesizer AD9850.
- [5] Surjono, H.D. 2009. *Elektronika Lanjut*. Jember: Cerdas Ulet Kreatif.
- [6] Instruments, Texas. 2015. *LMx24-N, LM2902-N Low Power, Quad-Operational Amplifier*.

#### DISKUSI/TANYA JAWAB :

##### 1. PERTANYAAN (Ari Nugroho -PKSEN BATAN):

Apakah alat ini dikalibrasi ? instansi mana yang mengkalibrasi ?

##### JAWABAN :

Sejauh ini tidak dikalibrasi

## **PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR (PLTN)**

**Fitriana Meilasari, Hendri Sutrisno**

*Universitas Tanjungpura, Jl. Pr. Dr. Hadadri Nawawi, Kota Pontianak dan 78124  
email: fitriana@untan.ac.id*

### **ABSTRAK**

**PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR (PLTN).** Kebutuhan energi listrik terus meningkat setiap tahunnya. Peningkatan kebutuhan energi listrik menyebabkan peningkatan konsumsi energi fosil. Penggunaan energi fosil menghasilkan gas rumah kaca. Oleh karena itu, diperlukan alternatif sumber energi seperti PLTN. Namun, penggunaan PLTN memberikan dampak timbulnya limbah radioaktif. Limbah radioaktif jika tidak dikelola dengan baik maka akan menyebabkan kerusakan lingkungan dan mengganggu kesehatan. Kajian tentang teknologi pengolahan limbah radioaktif hasil aktivitas PLTN perlu dilakukan. Limbah radioaktif PLTN berdasarkan bentuknya terbagi menjadi 3 (tiga) yaitu cair, padat dan gas. Pengolahan limbah radioaktif cair dengan cara evaporasi, sorpsi dan pertukaran ion, serta pengolahan secara kimia (koagulasi dan flokulasi). Limbah radioaktif padat diolah dengan cara insenerasi, kompaksi, dan imobilisasi. Limbah radioaktif gas diolah dengan filtrasi, sedangkan abu sisa pembakaran diimobilisasi..

**Kata kunci:** Energi, Limbah Radioaktif, Teknologi.

### **ABSTRACT**

**THE PROCESSING OF RADIOACTIVE WASTE FROM NUCLEAR POWER PLANT (NPP).** The electrical energy requirements continues to increase every year. The electrical energy requirements causes the increasing consumption of fossil energy. The use of fossil energy produces greenhouse gases. Therefore, the alternative energy sources such as nuclear power plants are needed. However, the use of nuclear power plant creates radioactive waste. The radioactive waste if not managed properly will cause environmental damage and disturb health. Therefore, there needs to be a study of radioactive waste treatment technology. The radioactive waste from nuclear power plant is divided into 3 (three): liquid, solid and gas. The processing of liquid radioactive waste: evaporation, sorpsi and ion exchange, and chemical treatment (coagulation and flocculation). The processing of solid radioactive waste: incineration, compacting, and immobilization. The gas of radioactive waste is treated by filtration, while the residual ash of combustion is immobilized..

**Keyword:** Energy, Radioactive Waste, Technology

### **PENDAHULUAN**

Kebutuhan energi listrik terus meningkat setiap tahunnya [1,2]. Berdasarkan data Kementerian ESDM, konsumsi listrik Indonesia 2017 (1.012 KWH/ kapita) meningkat 5,9% dari tahun 2016 (956,36 KWH/ kapita) dengan peningkatan rasio elektrifikasi 4,19% (Rasio elektrifikasi 91,16 % (Tahun 2016) dan pada tahun 2017 rasio elektrifikasi mencapai 95,35 %). Peningkatan kebutuhan energi listrik menyebabkan peningkatan konsumsi energi fosil (minyak bumi, batu bara, dan gas alam) [2]. Penggunaan energi fosil menghasilkan gas rumah kaca [2,3]. Berdasarkan data PLN pada tahun 2012 diperkirakan produksi energi listrik di Indonesia mencapai 192,590 GWh, berarti 172,360 GWh listrik yang diproduksi menggunakan energi fosil. Jumlah ini mengakibatkan terjadi pelepasan 168 juta ton CO<sub>2</sub>, 159,6 ribu ton SO<sub>2</sub> serta 120,7 ribu ton NO<sub>x</sub>. Oleh karena itu, diperlukan alternatif sumber energi seperti energi non fosil / energi terbarukan (air/hydro, angin, dan matahari/solar). Namun pemanfaatan potensi energi non fosil memiliki kelemahan seperti biaya investasi tinggi, harga energi terbarukan belum dapat bersaing dengan harga energi fosil, kemampuan sumber daya manusia relatif rendah, untuk energi terbarukan yang belum komersial dan kemampuan jasa dan industri energi kurang mendukung [2].

Energi mempunyai peranan penting dalam mendukung pembangunan nasional [4]. Oleh karena itu, perlu dilakukan pencarian energi alternatif dalam rangka mendukung konsep pembangunan nasional yang berdampak pada kesejahteraan sosial, ekonomi dan tetap

menjaga kestabilan dan kelestarian lingkungan. Salah satu alternatif pembangkitan energi yang dikembangkan adalah pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) [3]. Penggunaan PLTN memberikan dampak timbulnya limbah radioaktif (padat, cair, dan gas) [5,6]. Limbah tersebut perlu dikelola dengan baik agar aman bagi manusia dan lingkungan [7]. Sebagaimana disebutkan dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 Pasal 22 Ayat 1 Tentang Ketenaganukliran adalah pengelolaan limbah radioaktif dilaksanakan untuk mencegah timbulnya bahaya radiasi terhadap pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup [8]. Prinsip dasar pengelolaan limbah radioaktif adalah reduksi volume [9,5], perubahan komposisi, dan pemisahan radionuklida cair [5]. Berdasarkan pada permasalahan diatas maka perlu adanya kajian tentang teknologi pengolahan limbah radioaktif hasil aktivitas PLTN.

## TEORI

Limbah radioaktif adalah zat radioaktif dan atau bahan serta peralatan yang telah terkena zat radioaktif atau menjadi radioaktif karena pengoperasian instalasi nuklir atau instalasi yang memanfaatkan radiasi pengion yang tidak dapat digunakan lagi [10,7]. Limbah radioaktif merupakan limbah yang mengandung sejumlah radionuklida yang sangat berbahaya bagi kesehatan manusia maupun lingkungan, sehingga harus dikelola dengan baik [11]. Secara umum besarnya laju paparan radiasi dipengaruhi oleh:

- (1). Radiasi sinar kosmik sekunder pada lapisan bawah atmosfer.
- (2). Radiasi latar gamma alamiah dari radionuklida primordial dan anak turunnya di dalam tanah dan udara.
- (3). Isotop antropogenik pemancar gamma dalam kaitannya dengan radiasi langsung dari fasilitas nuklir dan pengendapan jatuhnya [12].

### 1. KLASIFIKASI LIMBAH RADIOAKTIF

Limbah radioaktif diklasifikasikan dalam jenis limbah radioaktif tingkat rendah, tingkat sedang, dan tingkat tinggi [10,6]. Tinggi rendahnya kandungan zat radioaktif pada limbah ditentukan oleh konsentrasi radionuklida. Menurut Martono dan Aisyah (2003) klasifikasi limbah radioaktif berdasarkan atas penyimpanan dalam jangka panjang adalah [9]:

- (1). Limbah aktivitas rendah dan menengah, yaitu limbah radioaktif yang mengandung radionuklida pemancar beta dan atau gama, dan sedikit atau tidak sama sekali mengandung radionuklida pemancar alfa (aktinida).
- (2). Limbah aktivitas tinggi, yaitu limbah radioaktif yang banyak mengandung radionuklida hasil belah pemancar beta dan gama dan sedikit mengandung radionuklida pemancar alfa.
- (3). Limbah transuranium (TRU) yaitu limbah radioaktif yang banyak mengandung radionuklida pemancar alfa dan sedikit radionuklida hasil belah pemancar beta dan gama. Limbah transuranium merupakan limbah radioaktif yang ditimbulkan dari produksi bahan bakar nuklir seperti uranium dan HF [7].

Limbah radioaktif yang telah diklasifikasikan harus dikelompokkan berdasarkan kuantitas dan karakteristik limbah radioaktif yang meliputi:

- (1). Aktivitas;
- (2). Waktu paro;
- (3). Jenis radiasi;
- (4). Bentuk fisik dan kimia;
- (5). Sifat racun;
- (6). Asal limbah radioaktif [10].

Contoh perhitungan estimasi konsentrasi radionuklida pada pendingin primer dan sekunder (Persamaan (1) dan (2)) [13].

$$\frac{dN_{c_p}}{dt} = \frac{FR_p N_{F_p}}{M_c} - \left[ \lambda_p + D_p + \frac{Q_L}{M_c} \left( \frac{DF_p - 1}{DF_p} \right) \right] N_{c_p} \quad (1)$$

Untuk nuklida turunan (anak) di dalam pendingin:

$$\frac{dN_{c_d}}{dt} = \frac{FR_d N_{F_d}}{M_c} + f_p \lambda_p N_{c_p} - \left[ \lambda_d + D_d + \frac{Q_L}{M_c} \left( \frac{DF_d - 1}{DF_d} \right) \right] N_{c_d} \quad (2)$$

Keterangan:

- $N_c$  = Konsentrasi nuklida di dalam pendingin reaktor (atom/g)  
 $N_f$  = Populasi nuklida di dalam bahan bakar (atom)  
 $t$  = Waktu operasi (detik)  
 $R$  = Koefisien lepasan nuklida (1/detik)  
 $F$  = Fraksi batang bahan bakar dengan kelongsong yang cacat  
 $M_c$  = Massa pendingin reaktor (g)  
 $\lambda$  = Konstanta peluruhan nuklida (1/detik)  
 $D$  = Koefisien dilusi (pelarutan) melalui umpan (feed) dan bleed  
=  $[\beta/(B_0 - \beta_t)] \times 1/DF$   
 $B_0$  = Konsentrasi awal boron (ppm)  
 $\beta$  = Laju penurunan konsentrasi boron (ppm/detik)  
 $DF$  = Faktor dekontaminasi karena factor demineralisasi  
 $Q_L$  = Laju alir massa *letdown* atau purifikasi (g/detik)  
 $f$  = Fraksi dari kejadian peluruhan nuklida induk yang menghasilkan pembentukan nuklida anak  
Subskrip  $p$  menunjukkan nuklida induk.  
Subskrip  $d$  menunjukkan nuklida anak.

Limbah radioaktif juga diklasifikasikan berdasarkan bentuknya yaitu:

- (1). Limbah radioaktif padat  
Contoh limbah radioaktif padat adalah resin bekas, filter-filter udara maupun cairan, konsentrat evaporator, barang-barang bekas laboratorium, gloves, alat-alat/bahan-bahan proteksi keselamatan kerja, alat-alat perawatan dan alat-alat proses bekas, kertas-kertas (kertas merang, kertas filter, dll), plastik, sarung tangan (kain atau karet), baju kerja, sepatu kerja, masker debu, tisu dari Laboratorium, dan dsb [14,11].  
Limbah TRU padat berupa bahan padat yang terkontaminasi aktinida pada pabrik bahan bakar reactor pembiak [9].
- (2). Limbah radioaktif cair  
Limbah radioaktif cair berupa *floor drains*, limbah *laundry*, limbah hasil dekontaminasi (dekontaminasi peralatan maupun pencucian alat-alat gelas), larutan regenerasi resin, resin yang terikut ke dalam cairan dan dekontaminasi personil, limbah air dari wastafel di ruang kerja dan ruang dekontaminasi, dsb [11].  
Limbah cair trans-uranium (TRU) berupa pelarut bekas dari proses olah ulang bahan bakar bekas reaktor nuklir, yang banyak mengandung aktinida yang toksisitasnya tinggi, berumur paruh panjang dan mengandung sedikit hasil belah [9].
- (3). Limbah radioaktif gas  
Limbah radioaktif gas berasal dari *off gas* teras reaktor dan peralatan sistem tata udara.

## 2. PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF

Pengolahan limbah radioaktif ada 2 tahapan, yaitu:

- (1). *Treatment* (Pengolahan) / Reduksi volume  
Reduksi volume bertujuan untuk mengurangi volume limbah radioaktif. Contoh reduksi volume adalah kompaksi, insenerasi, evaporasi, sorpsi dan penukaran ion, dan pengolahan dengan kimia (koagulasi dan flokulasi) [9,1].
- (2). Kondisioning (Imobilisasi)  
Imobilisasi / solidifikasi merupakan proses yang melibatkan pencampuran limbah dengan zat pengikat untuk mereduksi pelindian kontaminan baik secara fisik dan kimia [15]. Solidifikasi bertujuan untuk mengikat radionuklida dengan bahan matriks tertentu, sehingga tidak mudah terlindih oleh air tanah dan terlepas ke lingkungan [9].

## 3. SOLIDIFIKASI

Solidifikasi adalah proses pepadatan limbah radioaktif dengan menggunakan zat pengikat. Solidifikasi bertujuan untuk memudahkan *handling* limbah radioaktif serta mengurangi bahaya radiasi ke lingkungan [15]. Teknologi solidifikasi terbagi menjadi 3 (tiga) yaitu:

- (1). Solidifikasi secara fisik  
Proses solidifikasi secara fisik dilakukan dengan cara kapsulasi limbah radioaktif. Teknik kapsulasi limbah radioaktif terbagi menjadi 3 (tiga), yaitu kapsulasi makro, kapsulasi mikro, dan kapsulasi termoplastik [15].

- (2). Solidifikasi secara kimia  
Solidifikasi secara kimia melibatkan reaksi bahan kimia dalam proses pematatannya. Bahan kimia yang digunakan seperti semen, bitumen, dan polimer [9].
- (3). Solidifikasi secara thermal.  
Solidifikasi secara *thermal* atau vitrifikasi adalah proses solidifikasi yang menggunakan panas untuk melelehkan dan mensolidifikasi senyawa berbahaya pada pada massa yang solid [15]. Solidifikasi dengan thermal menggunakan bahan seperti glas seperti glas keramik [9] dan glass frit [16].

## METODOLOGI

Penelitian menggunakan metode deskriptif. Tujuan dari metode deskriptif adalah menghasilkan gambaran tentang teknologi pengolahan limbah radioaktif. Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengkaji beberapa literatur dan menganalisis data sekunder (data hasil penelitian dan kajian yang sudah ada).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian penting dalam kegiatan PLTN adalah pengelolaan limbah radioaktif. Pengelolaan limbah radioaktif dilaksanakan untuk mencegah timbulnya bahaya radiasi terhadap pekerja, anggota masyarakat, dan lingkungan hidup [8]. Pengelolaan limbah radioaktif adalah kegiatan-kegiatan yang dimulai dari pengumpulan, pengelompokan, pengangkutan, pengolahan, penyimpanan sementara sampai pada penyimpanan lestari atau pembuangan limbah radioaktif [11]. Pengolahan limbah radioaktif merupakan bagian penting dalam pengelolaan limbah radioaktif. Pemilihan teknologi pengolahan limbah sangat menentukan hasil akhir dalam proses reduksi volume limbah radioaktif dan reduksi bahaya radiasi dari limbah radioaktif. Teknologi pengolahan limbah berdasarkan bentuknya terbagi menjadi 3 (tiga), yaitu:

### 1. Pengolahan Limbah Radioaktif Cair

- Limbah radioaktif cair umumnya mengandung komponen radioaktif (larut dan tidak larut) dan non radioaktif. Pemilihan proses pengolahan limbah radioaktif tergantung dari jenis dan bentuk radionuklida dalam limbah. Proses pengolahan limbah radioaktif cair terdiri dari:
- (1). Evaporasi  
Evaporasi menghasilkan faktor dekontaminasi yang tinggi, tetapi biayanya mahal [9,6].
  - (2). Sorpsi  
Sorpsi adalah proses penyerapan konsentrasi dari limbah radioaktif cair. Salah satu media adsorben adalah zeolit. Contoh limbah radioaktif cair yang proses pengolahannya dengan zeolit adalah Stronsium-90 (Sr-90). Sr-90 merupakan radionuklida pemancar sinar beta murni dengan energi maksimum sebesar 0,544 MeV dan waktu para 28, 1 tahun [18].
  - (3). Pertukaran ion  
Pengolahan dilakukan dengan cara memisahkan uranium yang terkandung dalam limbah dengan proses pertukaran ion. Beberapa bahan yang dapat dipakai sebagai penukar ion dalam pengolahan limbah uranium diantaranya adalah resin, zeolit, maupun zeolit modifikasi. Zeolit alam dapat dimodifikasi menjadi penukar ion ganda bentuk alumino-silikofosfat (ASP). ASP memiliki daya serap cukup tinggi terhadap logam berat dan radionuklida. Komposisi ASP terbaik diperoleh pada perbandingan 1:1, waktu kontak 15 menit dan pH 7, dengan penyerapan uranium sebesar 93,5 % [7].
  - (4). Pengolahan secara kimia (koagulasi dan flokulasi)  
Koagulasi dan flokulasi adalah proses kimia yang bertujuan untuk mengikutsertakan unsur-unsur dalam proses pengendapan kimia. Koagulasi termasuk destabilisasi, pembentukan ikatan bersama dari koloid, dimana koloid ini membentuk gumpalan kimia atau flok yang mengadsorpsi, menangkap atau membawa bersama suspensi padat yang ada dalam limbah cair. Salah satu bahan koagulan yang dapat digunakan dalam proses pengolahan limbah radioaktif cair adalah larutan garam ferri FeCl<sub>3</sub>. Variabel-variabel yang berpengaruh dalam proses pengendapan kimia pada pengolahan limbah cair adalah : pH pengolahan, jumlah koagulan, kecepatan pengadukan dan lama pengadukan [17].  
Sorpsi, penukar ion, dan pengolahan secara kimia menghasilkan faktor dekontaminasi yang rendah, tetapi biayanya lebih murah [9].

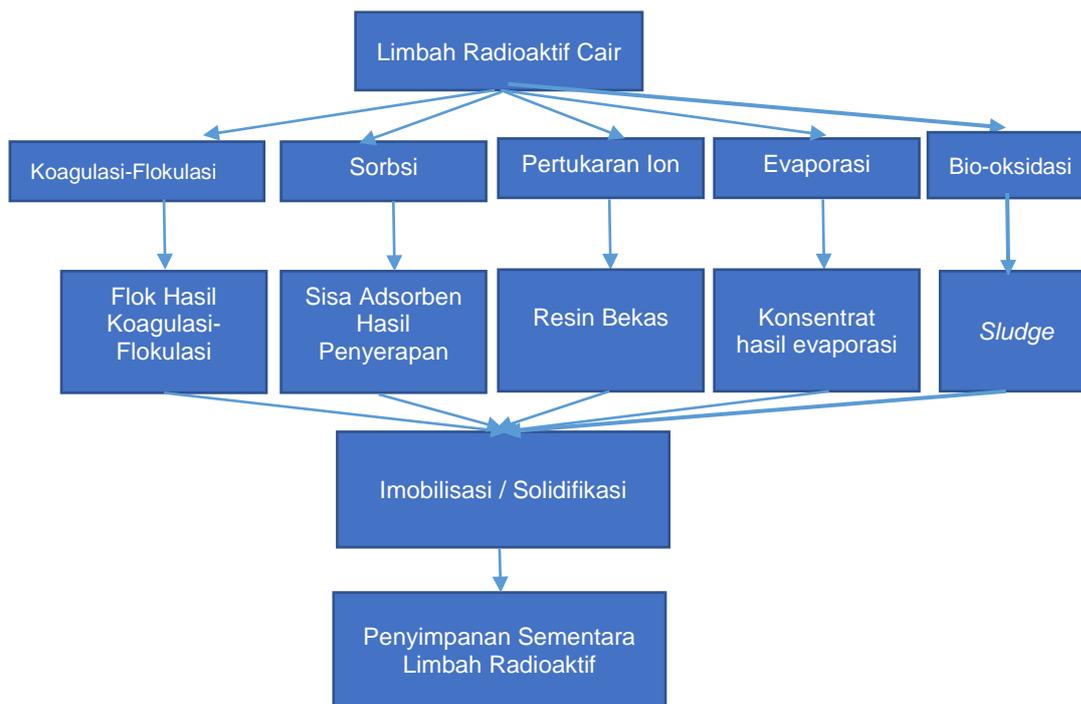
Tiap tahapan dalam pengolahan limbah cair menghasilkan residu (Tabel 1). Sedangkan diagram pengolahan limbah radioaktif cair dapat dilihat pada Gambar 1.

**Tabel 1.** Tahapan dan Residu yang Dihasilkan dari Proses Pengolahan Limbah Radioaktif Cair

NO	Proses Pengolahan Limbah Radioaktif Cair	Residu
1	Evaporasi	Konsentrat hasil evaporasi
2	Pengolahan secara kimia (koagulasi dan flokulasi)	Flok hasil koagulasi –flokulasi
3	Pertukaran Ion	Resin bekas
4	Penyerapan (sorpsi)	Sisa adsorben hasil penyerapan limbah radioaktif
5	Bio-oksidasi dengan Bakteri	<i>Sludge</i>

Residu hasil pengolahan limbah radioaktif cair diproses lebih lanjut, agar kandungannya tidak menyebar (terdispersi) ke lingkungan. Proses pengolahannya dilakukan dengan cara imobilisasi / solidifikasi. Beberapa contoh proses pengolahan residu hasil pengolahan limbah radioaktif:

- (1). Residu dari proses penyerapan (sorpsi)  
Limbah radioaktif cair yang diserap dengan zeolite menghasilkan residu (zeolite penyerap). Zeolit penyerap diproses lebih lanjut, agar Sr-90 yang terkandung di dalamnya tidak terdispersi ke lingkungan. Proses pemadatan limbah residu hasil pengolahan limbah radioaktif cair dengan cara sementasi. Adapun komponen bahan yang digunakan dalam proses sementasi adalah zeolit penyerap limbah radio aktif cair, serat kelapa, dan semen. Penambahan serat kelapa bertujuan untuk meningkatkan kekuatan mekanik dan memperlambat laju pelindian sehingga radionuklida Sr-90 yang terserap dalam zeolit dan terikat oleh semen. Adapun konsentrasi serat yang optimum adalah 0,50 % volume dan panjangnya 3 cm dengan kuat tekan sebesar 92,313 N/mm<sup>2</sup> atau naik 119,21 % dan kuat tekan mortar nonserat [18].
- (2). Residu hasil pertukaran ion  
Uranium yang telah terpisah dari proses pertukaran ion diimobilisasi dengan polimer Resin epoksi jenis EPOSIR 7120. Resin epoksi jenis EPOSIR 7120 memiliki sifat yang unggul, diantaranya sifat mekanik yang baik, tahan terhadap bahan kimia, adesif dan mudah diproses, harganya murah, serta mampu membentuk bahan keras dengan campuran air dalam jumlah terbatas [7].
- (3). *Sludge*  
*Sludge* yang mengandung uranium dari hasil bio-oksidasi dengan bakteri diimobilisasi dengan proses pemadatan. Proses imobilisasi dilakukan dengan mencampur limbah *sludge* radioaktif dengan abu terbang batubara dan prekursor oksida yaitu BaO, CaO, dan TiO<sub>2</sub> sebagai bahan matriks tambahan. Kualitas terbaik blok *synroc* limbah diperoleh pada tingkat muat limbah 30 % berat, suhu sintering 1100°C selama 3,5 jam dengan harga densitas 2,29 g/cm<sup>3</sup>, kuat tekan 6,97 kN/cm<sup>2</sup>, dan laju pelindian uranium 3,16x10<sup>-6</sup> g.cm<sup>-2</sup>.hari<sup>-1</sup> [19,20].

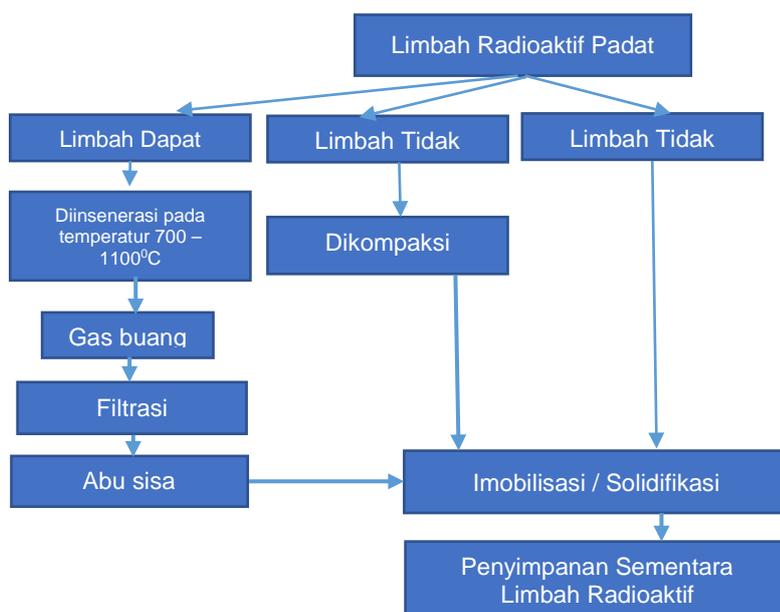


Gambar 1. Diagram Pengolahan Limbah Radioaktif cair

## 2. Pengolahan Limbah Radioaktif Padat

Pengolahan limbah radioaktif padat berdasarkan pada karakteristik limbah. Karakteristik limbah radioaktif padat terbagi menjadi 3 (tiga) yaitu:

- (1). Limbah radioaktif padat mudah dibakar  
Contoh limbah radioaktif padat mudah dibakar adalah kertas, tisu, karet, dan plastik yang berasal dari laboratorium PTNBR. Limbah ini diolah dengan cara dibakar dengan menggunakan insenerator pada temperatur 700 – 1100°C. Pembakaran limbah dengan insenerasi menghasilkan gas buang. Gas buang yang mengandung radioaktif difilter. Kemudian abu sisa pembakaran diimobilisasi (solidifikasi) [14].
- (2). Limbah radioaktif padat tidak dapat dibakar  
Limbah radioaktif padat tidak dapat dibakar diolah dengan cara dikompaksi [21].
- (3). Limbah radioaktif padat tidak dapat dibakar dan dikompaksi  
Limbah radioaktif padat tidak dapat dibakar dan dikompaksi langsung diimobilisasi.



Gambar 2. Diagram Pengolahan Limbah Radioaktif Padat

### 3. Pengolahan Limbah Radioaktif Gas

Limbah radioaktif gas dari PLTN biasanya berupa produk fisi (hasil belah) yang timbul karena reaksi fisi pada bahan bakar yang bisa lolos keluar dari kelongsong bahan bakar. Limbah gas tersebut mengandung bahan radioaktif [22]. Limbah gas diolah dengan cara mengambil radionuklida menggunakan filter (karbon aktif dan hepa filter) [22,23]. Kemudian, filter bekas yang mengandung radioaktif diolah dengan cara superkompaksi atau kompaksi 2 arah, sehingga reduksi volume yang didapat maksimal. Sedangkan karbon aktif diolah dengan cara insenerasi, dan abu yang ditimbulkan diimobilisasi dengan semen [23].

### 4. Pengolahan Limbah Transurium (TRU)

Kandungan unsur-unsur aktinida minor (americium, neptunium dan curium) dalam bahan bakar bekas hasil operasi PLTN jenis PWR termasuk kategori limbah radioaktif tingkat tinggi [24]. Salah satu cara untuk meminimalkan keradioaktifan tersebut adalah dengan cara transmudasi, di mana limbah radioaktif yang terdiri atas nuklida-nuklida umur panjang ditransmutasi menjadi nuklida lebih stabil. Sistem transmudasi berbasis pada penggerak akselerator atau *Accelerator Driven System* (ADS) [24,25]. Metode ini belum diaplikasikan sampai saat ini. Kelebihan ADS dibanding transmudasi jenis lainnya adalah lebih aman pengendaliannya, proliferasi terjamin dan limbah yang dihasilkan lebih sedikit [25]. Proses pembakaran aktinida minor (MA) ada 2 (dua) cara, yaitu:

- (1) Dibakar bersama dengan unsur plutonium pada fasilitas pembakar transurium (TRU burner);
- (2) Dibakar secara terpisah dalam fasilitas yang sepenuhnya sebagai pembakar MA (*fully dedicated for MA burner*) [25].

Sistem transmudasi menggunakan ADS ini dirancang menggunakan sistem reaktor dengan daya termal 400 MW<sub>th</sub> akan dapat melayani 7 buah PWR-UOX, dan dalam sistem PWR yang menggunakan bahan bakar UOX dan MOX maka satu ADS akan melayani 3 buah sistem PWR [25].

### KESIMPULAN

- [1] Teknologi Pengolahan limbah radioaktif cair dengan cara evaporasi, sorpsi dan pertukaran ion, serta pengolahan secara kimia (koagulasi dan flokulasi). Residu hasil pengolahan limbah radioaktif cair disolidifikasi, agar kandungannya tidak menyebar (terdispersi) ke lingkungan.
- [2] Pengolahan limbah radioaktif padat diolah dengan cara insenerasi, kompaksi, dan imobilisasi.
- [3] Limbah radioaktif gas diolah dengan filtrasi, sedangkan abu sisa pembakaran diimobilisasi.
- [4] Kandungan unsur-unsur aktinida minor (MA) yang terkandung dalam limbah radioaktif tingkat tinggi diolah dengan sistem transmudasi menggunakan ADS.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur atas berkat Tuhan Yang Maha Esa sehingga jurnal yang berjudul "PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR (PLTN)" dapat terselesaikan. Semoga jurnal ini bermanfaat dan dapat diterima dengan baik. Terima Kasih.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Harjanto T.N., "Dampak Lingkungan Pusat Listrik Tenaga Fosil dan Prospek PLTN Sebagai Sumber Energi Nasional", ISSN 1979-2409, (2008)
- [2] Rohi D., "Alternatif Pembangkit Tenaga Listrik yang Ramah Lingkungan di Indonesia", EECIS, Surabaya (2008).
- [3] Sulaiman F., "Identifikasi Potensi, Dampak dan pengendalian Lingkungan Dalam Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir", DEDIKASI, Volume 2 No. 3 Hal. 27-54, (2011).
- [4] Sagala F.P., "Peran Energi Dalam Pembangunan Nasional Memasuki Milenium M", Widyanuklida, Volume 3 No.1 Hal. 1-5, (2000).
- [5] Santoso G., "Studi Pengelolaan Limbah Radioaktif Padat Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir", Buletin Limbah, Volume 8 No. 2 Hal. 11-16, (2004).

- [6] Tarigan C., "Prarancangan Sistem Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Pemancar Alfa dari PLTN Tipe PWR 1000 MW", Prosiding Pertemuan Ilmiah Rekayasa Perangkat Nuklir PRPN – BATAN, Hal. 258 – 263, Banten, (2010).
- [7] Aisyah, Morton H, dan Wati., "Pengolahan Limbah Uranium Menggunakan Alumino Siliko Fosfat", Jurnal Zeolit Indonesia, Volume 7 No. 2, ISSN : 1411-6723, ( 2008).
- [8] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran.
- [9] Martono H dan Aisyah., "Material Untuk Solidifikasi Limbah Radioaktif Dalam Keselamatan Penyimpanan". Seminar Tahunan Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir, Hal. 250 – 262, ISSN 1693 – 7902, Jakarta (2003).
- [10] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2002 Tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif.
- [11] Sunardi, Susanto, dan Prayitno B., "Pengelolaan Limbah Radioaktif Padat dan Cair di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir Tahun 2010". Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII, Hal. 237 – 244, ISSN 1978-0176, Yogyakarta ( 2011).
- [12] Yazid M, Sutresna G, Sulistiyono A, dan Ngasifudin., " Evaluasi Dampak Radiologi Pengoperasian Reaktor Kartini dan Radioaktivitas Alami Kawasan Calon Tapak PLTN", Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan', Hal. 145 – 151, ISSN : 0854-4085, Yogyakarta (1996).
- [13] Zamroni H dan Artiani A.P., "Pengolahan Limbah Radioaktif Terpadu dari PLTN". Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah IX, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN, Hal. 57 – 66, ISSN 1410-6086.
- [14] Rahardjo P.H., "Karakteristik Temperatur dan Reduksi Limbah Radioaktif Padat Ruang Bakar Prototipe Tungku HK – 2010", Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia, Volume 14 No. 1 Hal. 37 - 50, ISSN 1411 – 3481, Bandung (2013).
- [15] Anrozi R dan Trihadiningrum Y., "Kajian Teknologi dan Mekanisme Stabilisasi/ Solidifikasi untuk Pengolahan Limbah B3", Jurnal Teknik ITS, Volume 6 No. 2 Hal. F-456 - F-461, ISSN: 2337-3539 (2301-9271 Print), Surabaya (2017).
- [16] Martono H., "Glass Frit dan Polimer Untuk Solidifikasi Limbah Cair Aktivitas Rendah Skala Industri", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah IX Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN, Hal. 125 – 132, ISSN 1410-6086.
- [17] Kuncoro H.A dan Birmono D.M., "Kajian Proses Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Hasil Olah-Ulang Bahan Bakar Nuklir Bekas Dengan Metoda Pengendapan Kimia", Prosiding Pesentasi Ilmiah Daur Ulang Bahan Bakar Nuklir II, Hal. 301 – 311, ISSN 1410-1998, Jakarta (1996).
- [18] Kasmudin dan Kusnanto., " Peningkatan Kekuatan Tekan Sementasi Zeolit Penyerap Limbah Cair Sr-90 Dengan Serat Kelapa", Prosiding Seminar Nasional ke-8 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, ISSN: 0854 -2910, Jakarta (2002).
- [19] Gunandjar, Sundari T, Purwanto Y., "Imobilisasi Limbah Radioaktif Uranium Menggunakan Abu Batubara Sebagai Bahan Matriks Synroc". Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan", Hal. (12 – 1) – (12 – 9), ISSN 1693-4393, Yogyakarta (2015).
- [20] Gunandjar dan Purwanto , Y., "Pengembangan Teknologi Pengolahan Limbah Radioaktif Pra-disposal : Imobilisasi Limbah Radioaktif Uranium Menggunakan Abu Batubara Sebagai Bahan Matriks Synroc", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIV Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN, Hal. 1-13, ISSN 1410 – 6086, Banten.
- [21] Aisyah., " Karakteristik Ketahanan Korosi Wadah Limbah Radioaktif Aktivitas Rendah dan Tinggi". Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir, Hal. 621 – 632, ISSN 1978-0176, Yogyakarta ( 2010).
- [22] Zamroni H., "Studi Limbah Radioaktif Yang Ditimbulkan dari Operasional PLTN PWR 1000 Mwe", Buletin LIMBAH, Volume 8 No. 2 Hal. 1-10, (2004).
- [23] Suryantoro., "Predisposal Limbah Radioaktif dari Operasional PLTN 1000 MWe". Prosiding Seminar Teknologi Pengolahan Limbah V, Hal. 1 – 4, ISSN 1410-6086.
- [24] Marsodi, Lasman N.A, Nishihara K, Marsongkohadi, Su'ud Z., "Unjuk Kerja Sistem Transmutasi ADS Untuk Menangani MA yang Terkandung Dalam Limbah Radioaktif Tingkat Tinggi", Prosiding Seminar Nasional ke-8 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, ISSN: 0854- 2910, Jakarta (2002).
- [25] Silakhuddin., "Analisis dan Konsep Penanganan Aktinida Minor Dalam Limbah PLTN Menggunakan Teknologi ADS", GANENDRA, Volume XI No. 2 Hal. 53 - 59, ISSN 1410-6957, Yogyakarta (2008).

**DISKUSI/TANYA JAWAB :**

**1. PERTANYAAN (Ari Nugroho -PKSEN BATAN):**

Seberapa jauh limbah cair dianggap tidak berbahaya ketika jatuh ke dalam media air seperti yang terjadi di fukusima (fungsi volume) ?

**JAWABAN :**

Tergantung tebal dari kontainer shell beton 350L untuk aktivitas tinggi, memiliki ketebalan 30 cm, tinggi 30 cm dan diameter 140 cm, sedangkan shell beton 950L untuk limbah aktivitas rendah dan resin bekas dan ketebalan 10 cm, tinggi 130 cm dan diameter 140 cm; limbah cair dianggap tidak berbahaya tergantung dari umur paruh yang telah luruh selama proses solidifikasi / imobilisasi.

**2. PERTANYAAN (Boni P. Laparparo - UNTAN) :**

Apa solusi limbah PLTN Kalbar untuk imobilisasi terkait lokasi ?

**JAWABAN :**

Hanya dikaji lebih jauh terkait manajemen pengelolaan limbah terutama terkait limbah HLW; Limbah radioaktif diimobilisasi tergantung dari konsentrasi limbah, missal untuk limbah HLW perlu divitrifikasi dengan glas (?) kemudian disimpan diinformasi geologi 500-1000 m dilengkapi dengan penahanan ganda rekayasa.

HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN

---

# **KELOMPOK C2**

---



## **ANALISIS TERMAL HIDRAULIKA PADA SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL (RDE) BERTIPE *PEBBLE BED HTGR* DENGAN MENGGUNAKAN RELAP5 ViSA**

**Wijanarko<sup>1</sup>, Topan Setiadipura<sup>2</sup>, Anwar Budiarto<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir, Jalan Babarsari PO BOX 6101 YKBB Yogyakarta 55181

<sup>2</sup> Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, Puspiptek, Serpong, Tangsel, Banten, 15310  
email: wijanarko.elins14@gmail.com

### **ABSTRAK**

**ANALISIS TERMAL HIDRAULIKA PADA SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL (RDE) BERTIPE *PEBBLE BED HTGR* DENGAN MENGGUNAKAN RELAP5 ViSA.** *Pebble Bed High Temperature Gas-Cooled Reactor (HTGR)* merupakan jenis reaktor nuklir yang dipromosikan untuk dibangun oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) melalui perencanaan program pembangunan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) karena dinilai memiliki sistem keselamatan pasif yang baik dengan desain tahan terhadap kegagalan sistem pendingin termasuk akibat goncangan gempa bumi. Dalam perancangan dan analisis keselamatan RDE dibutuhkan sistem kopling pendingin primer yang dapat menggabungkan komponen teras reaktor, *steam generator*, dan *helium blower*. Komponen yang digunakan untuk menghubungkan sistem tersebut adalah *hot gas duct* sehingga dilakukan pemodelan dan analisis hot gas duct dan helium blower dengan menggunakan tools software RELAP5 ViSA. Dari hasil pemodelan dan analisis tersebut diperoleh parameter-parameter desain *hot gas duct* dan *helium blower* berupa laju aliran massa, suhu, tekanan, *heat loss*, *pressure drop*, dan laju perpindahan panas helium yang terjadi pada *hot gas duct* dengan semua nilai galat kurang dari 2%. Selain itu, diperoleh hasil bahwa material *fiber insulation* ( $Al_2O_3$  91% dan  $SiO_2$  9%) dapat mengurangi laju perpindahan panas pada *hot gas duct* serta material  $SiO_2$  murni merupakan material yang lebih baik dalam mengurangi laju perpindahan panas daripada material  $Al_2O_3$  murni.

Kata kunci : Termal Hidraulika, Sistem Pendingin Primer, RDE, *Pebble Bed HTGR*, dan RELAP5 ViSA.

### **ABSTRACT**

**ANALYSIS OF THERMAL-HYDRAULIC ON PRIMARY COOLING SYSTEM OF REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL (RDE) PEBBLE BED HTGR TYPE USING RELAP5 ViSA.** *Pebble Bed High Temperature The Gas-Cooled Reactor (HTGR)* is type of nuclear reactor promoted to be built by the National Nuclear Energy Agency (BATAN) through the Reaktor Daya Eksperimental (RDE) development plan program because it is considered to have a good passive safety system due it is designed resistant to failure of cooling system due to earthquake shocks. On design and safety analysis of *Pebble Bed HTGR* required a primary cooling coupling system that can combine reactor core components, steam generators, and helium cooling pumps. The component used to connecting the system is hot gas duct, then modeling and analysis of thermal hydraulics on hot gas duct and helium blower components using tools software RELAP5 ViSA. The results of the modeling and analysis will obtain the design parameters of hot gas duct and helium blower such as helium mass flow rate, temperature, pressure, heat loss, pressure drop, and mass transfer rate on hot gas duct with all error values less than 2%. In addition, the results obtained that fiber insulation material (91%  $Al_2O_3$  and 9%  $SiO_2$ ) can reduce the heat transfer rate on hot gas duct and pure  $SiO_2$  material is a better than pure  $Al_2O_3$  material in reducing the heat transfer rate.

Key words : Thermal-Hydraulic, Primary Cooling System, *Pebble Bed HTGR*, dan RELAP 5 ViSA.

### **PENDAHULUAN**

Reaktor nuklir tipe *Pebble Bed High Temperature Gas-Cooled Reactor* merupakan salah satu reaktor canggih generasi IV dengan fitur keselamatan pasif yang kuat. Fitur keselamatan pasif pada reaktor ini di desain tahan terhadap kegagalan sistem pendingin akibat goncangan gempa bumi karena sistem keselamatannya yang baik. Karakteristik

keselamatan dari *Pebble Bed* HTGR adalah mekanisme aliran panas buang secara alami yang menjadikan desain *Pebble Bed* HTGR menjadi sederhana.

Indonesia merupakan wilayah yang rentan oleh bencana alam, khususnya gempa bumi dan tsunami. Faktor keselamatan, keamanan, dan efisiensi menjadi pertimbangan untuk menentukan jenis reaktor nuklir yang akan dibangun. *Pebble Bed* HTGR merupakan salah satu tipe reaktor nuklir yang dipromosikan untuk dibangun oleh Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) melalui perencanaan program pembangunan Reaktor Daya Eksperimental (RDE). Adapun desain reaktor yang digunakan pada pembangunan RDE mengacu pada desain *High Temperature Gas-cooled Test Reactor* 10MW (HTR-10) yang merupakan HTGR tipe *modular pebble bed* yang dibangun oleh Cina.

Berdasarkan hal tersebut, reaktor tipe ini menarik untuk dibangun di Indonesia bila ditinjau dari aspek keselamatan dan fleksibilitas dalam aplikasi kogenerasi. Dalam mendesain sistem pendingin primer pada RDE dibutuhkan sistem kopling yang dapat menggabungkan komponen teras reaktor, *steam generator*, dan *helium blower* untuk memastikan bahwa sistem keselamatan pasif pada reaktor tersebut telah terpenuhi. Komponen yang digunakan untuk menghubungkan sistem tersebut adalah *hot gas duct*.

Pada tahun 2016, Ganjar Putro Indratoro melakukan penelitian perhitungan desain teras *High Temperature Gas-Cooled Reactor* (HTGR) 150 MWt melalui analisis neutronik dengan variasi geometri teras dan pengayaan bahan bakar uranium untuk mendapatkan ukuran geometri teras dan tingkat pengayaan bahan bakar pada daya reaktor tipe HTGR 150 MWt dengan analisis neutronik pada kondisi teras ekuilibrium sehingga didapatkan parameter-parameter perhitungan, yaitu nilai *burn up*, distribusi daya, dan *fuel residence time* [1]. Kemudian pada tahun 2017, Topan Setiadipura *et al* melakukan simulasi analisis keselamatan pada Reaktor Daya Eksperimental (RDE) bertipe *Pebble Bed* saat terjadi kecelakaan *Depressurized Loss of Forced Cooling* (DLOFC) dengan menggunakan *PEBBED code* untuk menyelesaikan analisis secara neutronik dan termal hidraulika. [2].

Dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, penelitian ini memiliki korelasi terhadap jenis reaktor yang digunakan, yaitu *Pebble Bed* HTGR. Kemudian untuk perbedaannya terletak pada komponen pemodelan dan *tool software* yang digunakan. Penelitian ini menitikberatkan tentang pemodelan dan analisis termal hidraulika pada komponen *hot gas duct* dan *helium blower* dengan menggunakan *tools software* RELAP5 VISA. Adapun analisis termal hidraulika dilakukan untuk mengetahui pengaruh adanya material *fiber insulation* berupa campuran bahan  $Al_2O_3$  dan  $SiO_2$  serta perbandingan jenis material keduanya terhadap perpindahan panas yang dipasang pada komponen *hot gas duct*.

## LANDASAN TEORI

### Reaktor Daya Eksperimental (RDE)

Komponen utama dari sistem nuklir RDE adalah *Reactor Pressure Vessel* (RPV) beserta bagian internalnya, *co-axial hot gas duct*, *helium blower* dan *Steam Generator Pressure Vessel* (SGPV). Pada sistem pendingin, RDE di desain mempunyai kemampuan pendingin dengan mekanisme natural tanpa adanya dukungan dari luar. Kemampuan pendingin ini diperoleh karena sifat fisis material termal dari grafit yang digunakan pada teras reaktor. Konduktivitas panas yang tinggi dari grafit membuat kemampuan perpindahan panas keluar teras reaktor menjadi lebih baik karena dapat mereduksi suhu lebih banyak.

*Hot gas duct* merupakan komponen berupa saluran pipa penghubung yang digunakan pada tipe reaktor yang dimana teras reaktor dengan unit konversi daya (*steam generator*) berada dalam bejana tekan yang terpisah. Saluran ini berfungsi mengalirkan gas helium yang bersuhu tinggi dari teras reaktor menuju *steam generator* dan sebaliknya [3]. *Helium blower* dirancang dengan struktur vertikal yang dipasang di bagian atas *steam generator* di dalam SGPV. *Helium blower* digerakkan dengan menggunakan motor listrik yang disisipkan oleh konverter di luar bejana tekan. Aliran gas helium bertemperatur tinggi dari teras reaktor yang menuju *steam generator* dihasilkan oleh *blower* tersebut [4].

### Analisis Termal Hidraulika

Analisis termal hidraulika diperlukan dalam perancangan sistem pendingin primer pada reaktor nuklir untuk memprediksikan distribusi suhu pada pipa yang digunakan sebagai medium fluida pendingin. Dalam hal ini, *hot gas duct* digunakan sebagai medium penghubung dalam sistem kopling pendingin primer RDE untuk mengalirkan fluida helium yang dipompa oleh *helium blower* dari *steam generator* menuju teras reaktor dan sebaliknya

dalam satu siklus pendinginan primer. Distribusi suhu tersebut tidak boleh melebihi batas yang sudah ditetapkan untuk mencegah sistem mengalami kegagalan [5].

## METODOLOGI

### Perhitungan Geometri Model

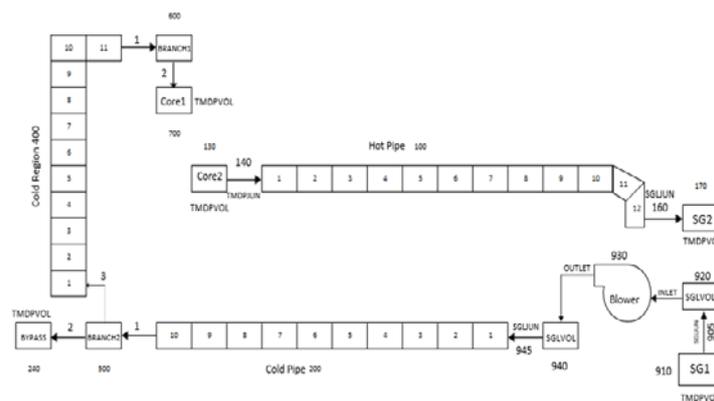
Perhitungan geometri model dilakukan dengan menggunakan data teknis dari *Basic Engineering Design Data* (BEDD) RDE sehingga dapat menghasilkan parameter desain yang digunakan dalam merancang model dengan RELAP5 VISA. Adapun perhitungan geometri model dilakukan pada komponen *hot gas duct*, *cold coolant flow region*, dan *helium blower*.

Pada *hot gas duct* terbagi dari dua bagian yang terdiri dari beberapa lapisan material yang digunakan. Bagian yang pertama adalah *co-axial gas pipe* (pipa dalam) yang terdiri dari lapisan *gas pipe*, *fiber insulation*, dan *support pipe* sedangkan bagian yang kedua adalah *gas duct pressure vessel* (pipa luar) yang hanya terdiri dari *gas duct pressure vessel* itu sendiri. Masing-masing dari lapisan tersebut terbuat dari jenis dan sifat fisis material yang berbeda sehingga sangat mempengaruhi fenomena termal hidraulika di sepanjang *hot gas duct*.

Kemudian pada *helium blower*, bagian yang terkena aliran helium adalah *impeller* sehingga perhitungan geometri hanya dilakukan pada bagian tersebut. *Helium blower* memompa helium *cold* dari *steam generator* menuju bagian *gas duct pressure vessel* untuk dialirkan menuju teras reaktor.

### Perancangan Model

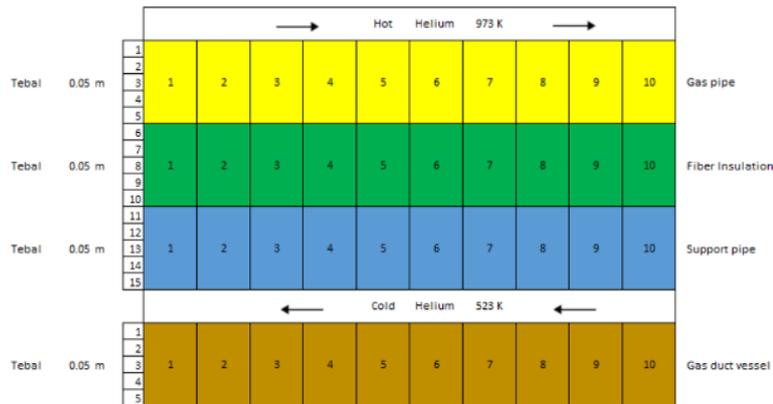
Perancangan model dilakukan dengan *system code* RELAP5 VISA dengan menggunakan data hasil perhitungan geometri model *hot gas duct*, *cold coolant flow region*, dan *helium blower*. Pada pemodelan ini terdapat dua bagian model yang dibuat, yaitu *hydrodynamics component* dan *heat structure*. Kemudian dari kedua model tersebut dapat dibuat *Script* program agar dapat digunakan sebagai input pada program RELAP5 VISA. Pemodelan pada *hydrodynamics component* dimulai dengan membuat blok nodalisasi sistem *hot gas duct*, *cold coolant flow region*, dan *helium blower* yang digunakan untuk memodelkan bagian yang bersinggungan langsung dengan aliran helium. Model *hot gas duct* dibuat dengan komponen *pipe* yang dibagi menjadi dua bagian, yaitu *pipe 100* untuk aliran hot helium dan *pipe 200* untuk aliran cold helium. Kemudian untuk model *cold coolant flow region* digunakan komponen *pipe 400* sedangkan untuk model *helium blower* digunakan komponen *pump 930*. Adapun blok nodalisasi dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan Sistem Pendingin Primer RDE.

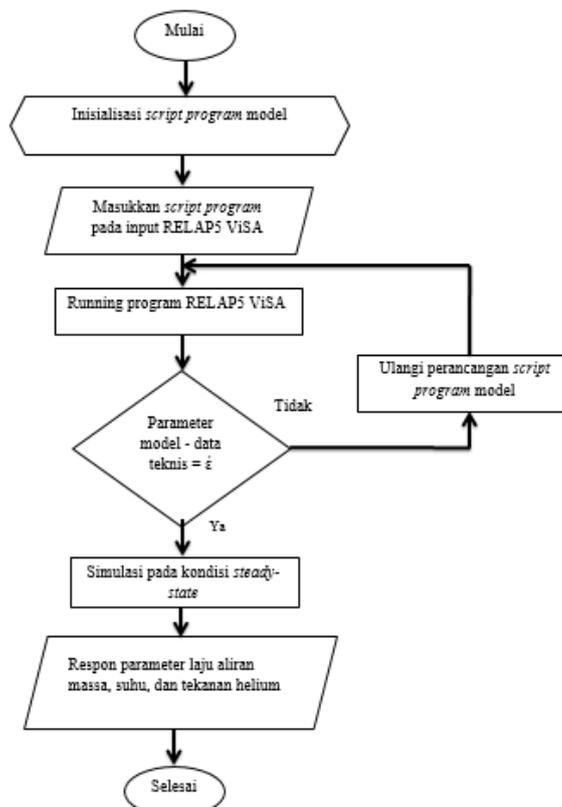
Kemudian pemodelan *heat structure* dilakukan hanya pada *hot gas duct* dimana pada bagian *pipe 100* yang mengalirkan *hot* helium dan bagian *pipe 200* yang mengalirkan *cold* helium. *Heat structure* ini yang digunakan sebagai media perpindahan panas dari helium ke material bahan yang digunakan pada *hot gas duct*. Data sifat fisis material masing-masing lapisan *gas pipe*, *fiber insulation*, *support pipe*, dan *gas duct pressure vessel* digunakan

dalam merancang model *heat structure* pada komponen *hot gas duct*. Adapun blok nodalisasi *heat structure* model dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Blok nodalisasi *heat structure* model

Adapun *flowchart* program dapat ditunjukkan pada Gambar 3. *Flow chart* program diawali dengan inialisasi *Script* program model yang telah dibuat. Selanjutnya *Script* program tersebut akan menjadi data *input* pada program. Kemudian dilakukan proses *running* program pada RELAP5 VISA. Pada proses *running* ini digunakan epsilon ( $\epsilon$ ) sebagai nilai ambang batas dimana nilainya berupa nilai galat  $< 2\%$ . Jika selisih antara parameter model dengan data teknis belum mencapai nilai epsilon, maka dilakukan perancangan *Script* program kembali agar diperoleh nilai yang sama dengan epsilon. Jika selisih antara nilai parameter model dan data teknis sudah mencapai nilai epsilon, maka model yang telah dibuat dapat digunakan untuk simulasi pada kondisi *steady-state*. Hasil dari simulasi akan memperoleh data *output* berupa nilai parameter berupa laju aliran massa, suhu, dan tekanan helium.

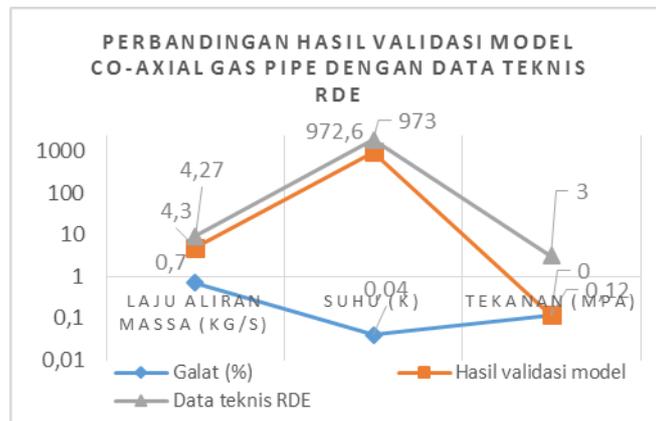


Gambar 3. *Flowchart* program RELAP5 VISA.

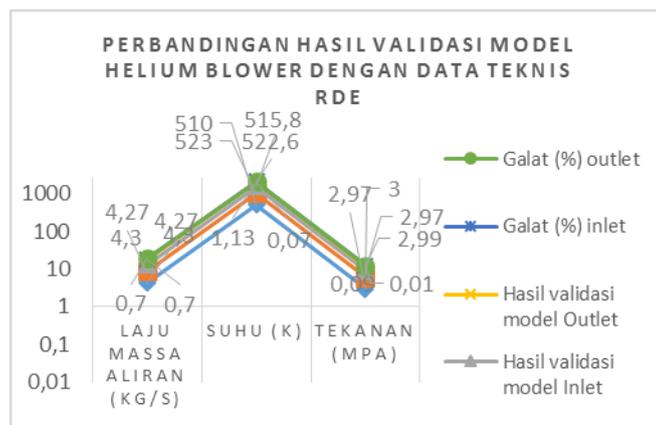
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Validasi Model

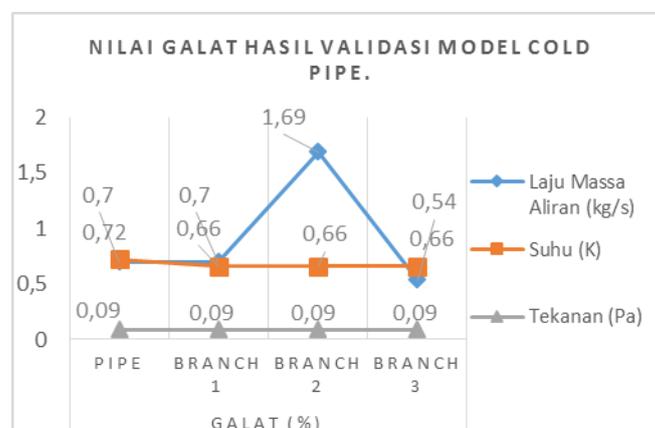
Validasi model dilakukan dengan tujuan untuk membuktikan kebenaran dari pemodelan dengan cara membandingkan hasil simulasi dengan data karakteristik teknis dari *hot gas duct* dan *helium blower* RDE. Validasi model dilakukan pada dua bagian sistem, yaitu bagian *co-axial gas pipe* (pipa dalam) dan *gas duct pressure vessel* (pipa luar). Hasil validasi model dapat diperoleh parameter berupa laju aliran, suhu, dan tekanan helium pada bagian pipa tersebut seperti tertera pada Gambar 4 sampai Gambar 7.



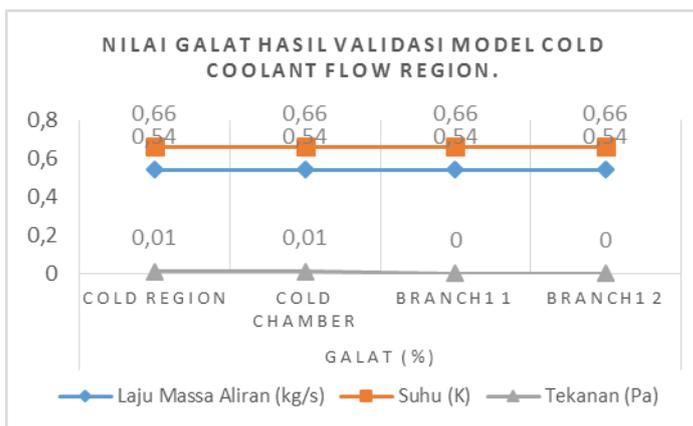
Gambar 4. Perbandingan hasil validasi model *co-axial gas pipe* dengan data teknis RDE.



Gambar 5. Perbandingan hasil validasi model *helium blower* dengan data teknis RDE.



Gambar 6. Nilai galat hasil validasi model *cold pipe*.



Gambar 7. Nilai galat hasil validasi model *cold coolant flow region*.

Berdasarkan data tersebut diperoleh semua nilai galat kurang dari 2% sehingga semua model telah valid digunakan untuk simulasi RDE 10MW.

**Pengaruh Material *Fiber Insulation***

Pada simulasi model dilakukan pengujian pengaruh adanya material *fiber insulation* terhadap perpindahan panas pada *hot gas duct* dimana antara pipa dalam dan pipa luar diberikan material *fiber insulation* dan dengan tanpa diberikan material *fiber insulation*. Dari kedua pengujian tersebut, dapat diketahui pengaruhnya berdasarkan data parameter suhu, tekanan dan laju aliran massa helium pada *hot gas duct* seperti tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian model dengan material fiber insulation.

No	Parameter	Model tanpa diberi fiber insulation		Model diberi fiber insulation	
		Co-axial	Gas duct vessel	Co-axial	Gas duct vessel
1	Heat loss dT(K)	6,2	5,7	5,4	4,9
2	Pressure drop dP (Pa)	682	100	692,3	54,2
3	Selisih laju perpindahan panas antara Node-1 dan Node-10 Q (watt)	2.898	5.318	2.419	4.721
			724,93		623,73
4	Selisih laju perpindahan panas antara co-axial dan gas duct vessel Q (watt)	1.695,07		1.678,27	

Berdasarkan Tabel 1 tersebut, Nilai parameter *heat loss*, *pressure drop*, beda laju perpindahan panas antara *Node-1* dengan *Node-10*, dan selisih laju perpindahan panas antara co-axial gas pipe dengan *gas duct pressure vessel* pada *hot gas duct* yang diberi material *fiber insulation* lebih kecil daripada *hot gas duct* tanpa diberi material *fiber insulation*. Hal ini disebabkan karena sifat fisis berupa konduktivitas termal, densitas bahan dan kapasitas panas spesifik bahan dari material *fiber insulation* dapat mengurangi laju perpindahan panas yang terjadi pada sepanjang *hot gas duct*.

**Perbandingan Jenis Material *Fiber Insulation***

Pengujian model dilakukan dengan membandingkan jenis material  $Al_2O_3$  dan  $SiO_2$  dengan menggunakan salah satu jenis material saja sehingga diperoleh nilai parameter seperti tertera pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengujian model dengan perbandingan material fiber insulation.

No	Parameter	Model diberi fiber insulation Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 100%		Model diberi fiber insulation SiO <sub>2</sub> 100%	
		Co-axial	Gas duct vessel	Co-axial	Gas duct vessel
1	Heat loss dT(K)	5,5	5	1,4	1
2	Pressure drop dP (Pa)	673,6	54,2	603,6	0
3	Selisih laju perpindahan panas antara Node-1 dan Node-10 Q (watt)	2.502	4.785	258	1.737,6
			638,62		132,53
4	Selisih laju perpindahan panas antara co-axial dan gas duct vessel Q (watt)	1.644,38		1.347,07	

Berdasarkan Tabel 2, hasil pengujian model dengan diberi material SiO<sub>2</sub> dengan kandungan 100% memiliki nilai-nilai parameter yang paling kecil dibandingkan dengan hasil pengujian lainnya. Hal ini menyatakan bahwa bahan material SiO<sub>2</sub> dengan kandungan 100% merupakan bahan material terbaik jika digunakan sebagai material *fiber insulation* pada *hot gas duct* karena dapat mengurangi laju perpindahan panas secara signifikan yang terjadi di sepanjang *hot gas duct*.

## KESIMPULAN

Telah diperoleh hasil analisis termal hidraulika hot gas duct dan helium blower pada sistem pendingin primer RDE sebagai berikut:

1. Semua hasil validasi model mempunyai nilai galat kurang dari 2% sehingga model telah valid.
2. Nilai parameter *heat loss*, *pressure drop*, beda laju perpindahan panas antara Node-1 dengan Node-10, dan selisih laju perpindahan panas antara co-axial gas pipe dengan gas duct pressure vessel pada *hot gas duct* yang diberi material *fiber insulation* lebih kecil daripada *hot gas duct* tanpa diberi material *fiber insulation*.

Bahan material SiO<sub>2</sub> dengan kandungan 100% merupakan bahan material terbaik jika digunakan sebagai material *fiber insulation* pada *hot gas duct* karena memiliki nilai-nilai parameter hasil pengujian yang paling kecil dibandingkan dengan lainnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai bersama oleh anggaran penelitian BATAN (DIPA) dan proyek penelitian RISTEKDIKTI (INSINAS) tahun 2018, yang dikelola oleh Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN). Penulis sangat berterima kasih kepada semua staf Divisi Teknologi Keselamatan Reaktor atas dukungan mereka yang berharga dalam mengembangkan model RELAP5.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Indratoro, Ganjar Putro. (2016), "*Perhitungan Desain Teras High Temperature Gas-Cooled Reactor (HTGR) 150 MWt Melalui Analisis Neutronik dengan Variasi Geometri Teras dan Pengayaan Bahan Bakar Uranium*", Skripsi Pada Program Studi Teknik Nuklir, Universitas Gadjahmada, Yogyakarta.
- [2] Setiadipura, Topan, Syaiful Bakhri, Geni R. Sunaryo, Djarot S. Wisnusubroto. *Cooling Passive Safety Features of Reaktor Daya Eksperimental*, International Conference on Thermal Science and Technology (ICTST), 2017.
- [3] Badan Tenaga Nuklir Nasional. 2015. The Document Preparation of Preliminary Engineering Design of The Experimental Power Reactor. Basic Engineering Design Data (BEDD) – Nuclear. Pusat Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, Serpong.

- [4] Zhang, Zuoyi, ZongxinWu, Dazhong Wang, Yuanhui Xu, Yuliang Sun, Fu Li, Yujie Dong. *Current Status and Technical DeScription of Chinese 2x250 MWth RDE Demonstration Plant*. Nuclear Engineering and Design, 239 1212–1219, 2009.
- [5] Ardiyansah, Noval Wahyu. (2017), "*Analisis Termohidrolika Parameter Steam generator dari High Temperature Gas-Cooled Reactor (HTGR) 150 MWt pada Kondisi Depressurized Loss Of Forced Cooling (DLOFC) Accident menggunakan RELAP5 VISA-3D©*", Skripsi Pada Program Studi Teknik Nuklir, Universitas Gadjahmada, Yogyakarta.

## ANALISIS KEBUTUHAN DAYA REAKTIF (KVAR) PADA MOTOR PENGGERAK BATANG KENDALI RDE

Koes Indrakoesoema<sup>1</sup>, Adin Sudirman<sup>1</sup>, Jazid U Namir<sup>1</sup>, Ulfa D Umar<sup>1</sup>, Edy Sumarno<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Reaktor Serba Guna – BATAN, Tangerang Selatan

<sup>2</sup>UNPAM-Tangerang Selatan.

e-mail: koes@batan.go.id

### ABSTRAK

**ANALISIS KEBUTUHAN DAYA REAKTIF (KVAR) PADA MOTOR PENGGERAK BATANG KENDALI RDE.** Batang kendali reaktor berfungsi sebagai pengendali daya reaktor yang digerakkan oleh motor untuk menaikkan dan menurunkan penyerap neutron (absorber), sehingga daya reaktor dapat dikendalikan. Batang kendali di Reaktor Daya Eksperimental (RDE) berjumlah 10 buah yang berfungsi untuk mengendalikan daya reaktor 10 MW, masing-masing penggerak batang kendali tersebut mempunyai motor yang berfungsi menggerakkan penyerap neutron. Motor yang digunakan adalah motor AC 3 fasa yang merupakan beban induktif dan memiliki nilai faktor daya. Berdasarkan tarif dasar listrik PT PLN (Persero) nilai faktor daya rata-rata dalam sebulan di bawah 0,85 akan dikenakan biaya kelebihan pemakaian daya reaktif (kVAR). Nilai faktor daya dapat ditingkatkan dengan menurunkan daya reaktif (kVAR) sehingga nilai faktor daya berada di atas 0,85. Oleh karena itu diperlukan studi kebutuhan daya reaktif pada motor penggerak batang kendali agar penggunaan tenaga listrik efisien sehingga tidak dikenakan biaya kelebihan kVAR. Dari hasil studi yang dilakukan didapatkan nilai kVAR dengan berdasarkan pada metode simulasi menggunakan perangkat lunak (*software*) ETAP adalah 1 kVAR dan faktor daya 82% dan dengan metode perhitungan manual pada faktor daya 96% adalah 0,45 kVAR.

Kata kunci: kVAR, batang kendali, faktor daya, ETAP

### ABSTRACT

**ANALYSIS OF REACTIV POWER (KVAR) ON MOTOR CONTROL ROD OF RDE.** Functions of the reactor control rod as a controller of reactor power driven by a motor to up and down the absorbent neutron (absorber). The control rods in the Experimental Power Reactor (RDE) totaled 10 rods that function to control the reactor power of 10 MW, each of the control rod has a motor that functions to move the neutron absorber. The motor is used a 3 phase AC motor which is an inductive load and has a power factor value. Based on the basic electricity tariff of PT PLN (Persero), the average power factor value in a month below 0.85 will charged an excess reactive power (kVAR). The value of the power factor can be increased by reducing the reactive power (kVAR) so that the value of the power factor is above 0.85. Therefore it is necessary to study the need for power reactive in the motor of control rod drive so that the use of electric power is efficient and it does not incur excess kVAR costs. From the results, kVAR values obtained by based on simulation methods using ETAP software is 1 kVAR and the manual calculation method is 0.45 kVAR for power factor 96%.

Keyword: kVAR, control rod, power factor, ETAP

### PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di dunia semakin bertambah seiring perkembangan teknologi. Energi listrik dapat digunakan untuk melakukan suatu proses produksi maupun distribusi. Energi listrik tidak hanya dimanfaatkan sebagai pencahayaan, melainkan juga digunakan untuk menggerakkan dan menghidupkan suatu motor penggerak atau mesin. Energi listrik yang digunakan untuk motor listrik tidak terserap semua ke motor listrik karena adanya nilai faktor daya pada motor listrik. Faktor daya adalah besar rasio antara daya aktif (kW) dan daya total (kVA). Daya aktif adalah daya yang terpakai untuk melakukan energi yang sebenarnya sedangkan daya total atau daya semu adalah daya yang disediakan mula-mula.

Berdasarkan tarif dasar listrik yang diterbitkan oleh PT PLN (Persero), nilai faktor daya yang berada di bawah 0,85 dikenakan tambahan biaya pemakaian daya reaktif (kVAR).

Daya reaktif adalah jumlah daya yang diperlukan untuk pembentukan medan magnet. Contoh daya yang menimbulkan daya reaktif adalah motor listrik.

Energi listrik 3 fasa dapat digunakan untuk motor penggerak batang kendali Reaktor Daya Eksperimental (RDE) untuk menaikkan dan menurunkan penyerap neutron (absorber), sehingga daya reaktor dapat dikendalikan. Batang kendali di RDE berjumlah 10 buah yang berfungsi untuk mengendalikan daya reaktor 10 MW. Oleh karena itu, efisiensi energi listrik dengan meningkatkan nilai faktor daya sangat diperlukan karena jumlah beban motor yang banyak.

Nilai faktor daya dapat ditingkatkan dengan menambah komponen listrik yang bersifat kapasitif. Salah satu contoh beban yang bersifat kapasitif adalah kapasitor. Jumlah kapasitor yang digunakan perlu dilakukan analisis kebutuhan agar nilai faktor daya berkisar antara 0,85 – 1. Nilai faktor daya di bawah 0,85 akan dikenakan denda PLN karena menghasilkan rugi daya yang besar sedangkan nilai faktor daya lebih dari 1 akan menyebabkan beban listrik bersifat kapasitif dan dapat merusak komponen listrik lainnya.

Studi kebutuhan kapasitor dapat dilakukan dengan beberapa metode diantaranya yaitu menggunakan perhitungan manual dan menggunakan *software* simulasi rangkaian listrik. Salah satu *software* simulasi rangkaian listrik yang dapat diaplikasikan adalah *software* ETAP 12.6.0.

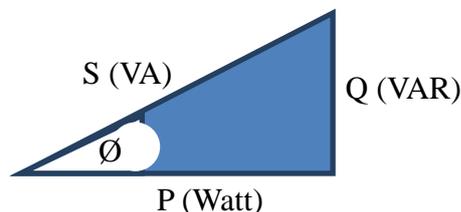
## METODE

Perhitungan kebutuhan kapasitor pada motor penggerak batang kendali dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Perhitungan manual, dan
2. Simulasi dengan *software* ETAP

### Perhitungan Manual

Perhitungan manual dapat dilakukan dengan menggunakan metode segitiga daya. Segitiga daya merupakan segitiga yang menggambarkan hubungan matematik antara jenis-jenis daya yang berbeda yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q) dan daya semu (S) berdasarkan prinsip trigonometri. Gambar 1 merupakan konsep segitiga daya listrik.



Gambar 1. Segitiga daya listrik

Dimana:

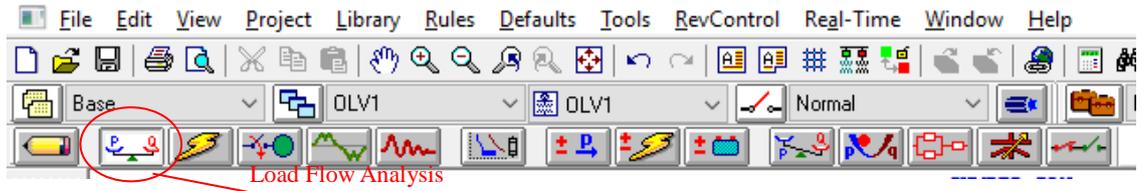
$$\begin{aligned} S^2 &= P^2 + Q^2 & (1) \\ P &= S \times \cos \phi & (2) \\ Q &= S \times \sin \phi = P \times \tan \phi & (3) \\ \cos \phi &= \text{Faktor Daya} = P/S & (4) \end{aligned}$$

Jika diketahui faktor daya mula-mula adalah  $\cos \phi_1$  dan faktor daya yang ingin dicapai adalah  $\cos \phi_2$ , maka nilai besar kVAR yang dibutuhkan adalah:

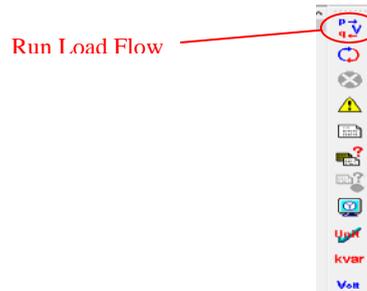
$$Q = Q_1 - Q_2 = P \times (\tan \phi_1 - \tan \phi_2) \quad (5)$$

### Simulasi ETAP

ETAP (*Electrical Transient Analyzer Program*) merupakan suatu perangkat lunak yang mendukung sistem tenaga listrik. Perangkat ini mampu bekerja dalam keadaan offline untuk simulasi tenaga listrik, online untuk pengelolaan data real-time atau digunakan untuk mengendalikan sistem secara real-time. Salah satu simulasi tenaga listrik yang program ETAP dapat kerjakan adalah simulasi *load flow analysis*. Pada simulasi *load flow analysis* dapat diketahui beban kVAR yang dibutuhkan dengan melakukan *run load flow*.

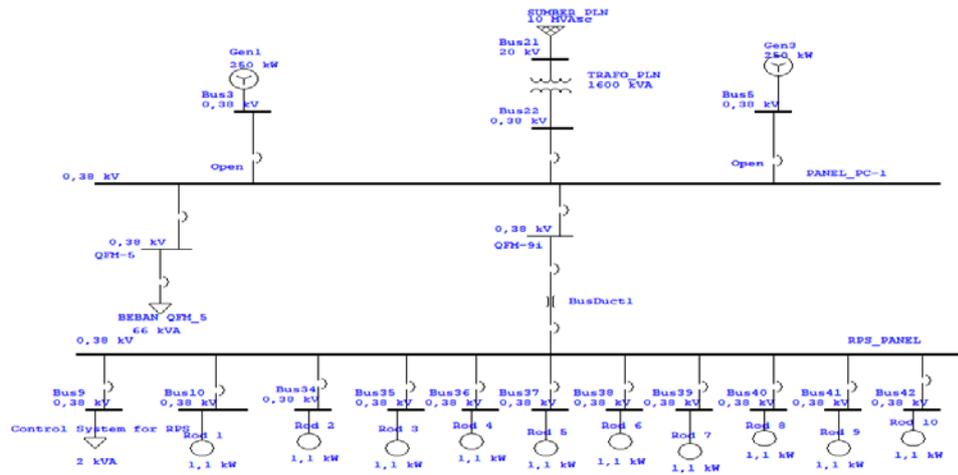


Gambar 2. Toolbar software ETAP

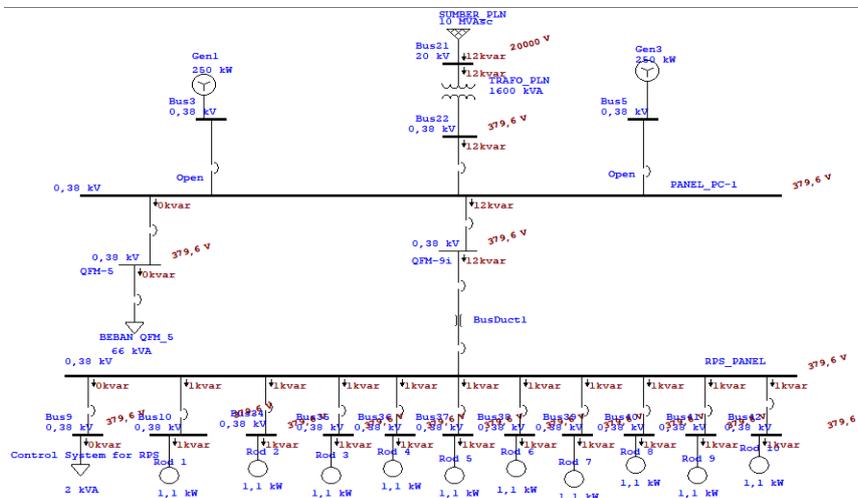


Gambar 3. Toolbar Load Flow Analysis

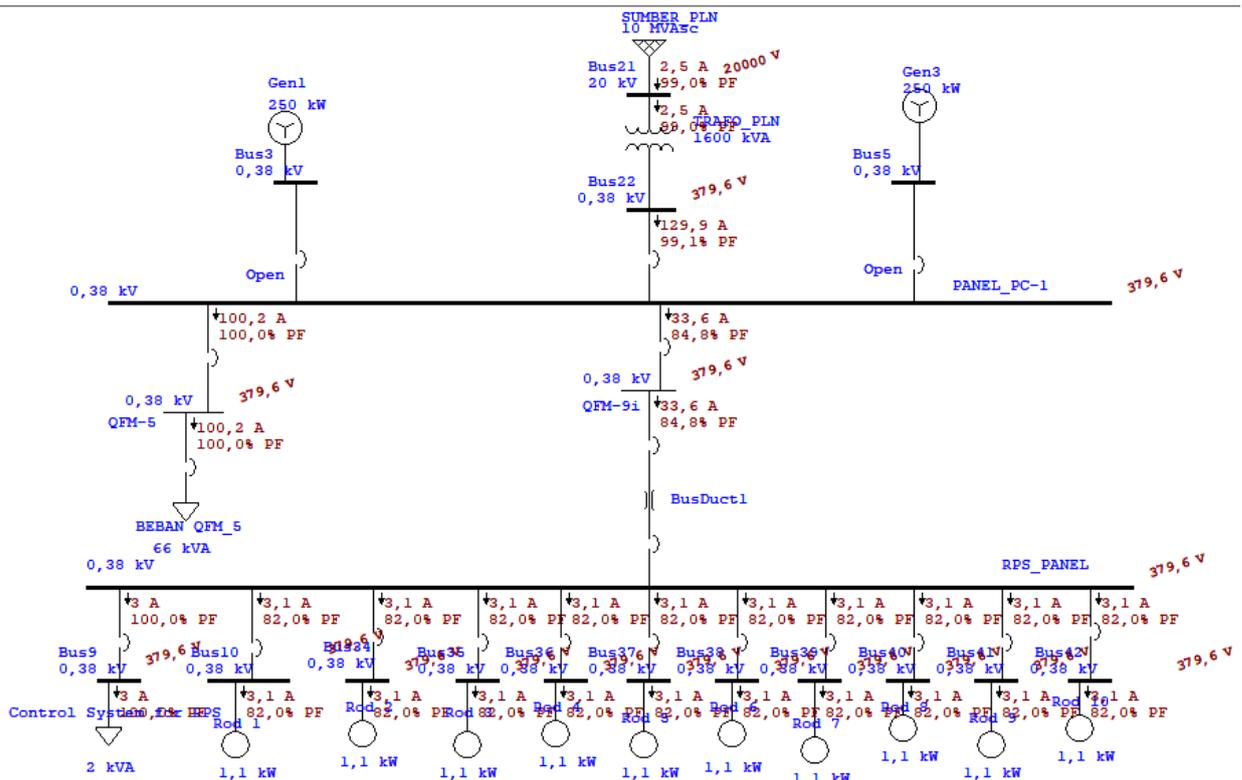
### HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4. Rangkaian instalasi listrik motor penggerak batang kendali



Gambar 5. Hasil simulasi run load flow kVAR



Gambar 6. Hasil simulasi run load flow faktor daya dan arus

Gambar 4 merupakan diagram kelistrikan motor penggerak batang kendali yang terdiri atas 10 motor dengan masing-masing motor memiliki kapasitas daya 1,1 kW dan tegangan kerja 0,38 kV. Setiap motor memiliki circuit breaker yang mana sumbernya menyatu di bus RPS Panel. Transformator yang digunakan pada rangkaian ini adalah transformator dengan kapasitas daya 1600 kVA.

Gambar 5 merupakan hasil simulasi load flow analysis beban kVAR dari software ETAP. Dari simulasi yang dilakukan didapatkan nilai kVAR dan tegangan pada tiap-tiap bus dalam rangkaian motor penggerak batang kendali. Data hasil simulasi adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Data Simulasi beban kVAR

Komponen	V	kVAR
Rod 1	379,6 V	1 kVAR
Rod 2	379,6 V	1 kVAR
Rod 3	379,6 V	1 kVAR
Rod 4	379,6 V	1 kVAR
Rod 5	379,6 V	1 kVAR
Rod 6	379,6 V	1 kVAR
Rod 7	379,6 V	1 kVAR
Rod 8	379,6 V	1 kVAR
Rod 9	379,6 V	1 kVAR
Rod 10	379,6 V	1 kVAR
Bus RPS	379,6 V	12 kVAR
Bus Trafo	379,6 V	12 kVAR

Tabel 1 menunjukkan hasil simulasi program ETAP. Dalam tabel tersebut terdapat nilai-nilai kVAR yang didapatkan dari hasil simulasi program untuk setiap komponen dalam diagram kelistrikan motor penggerak batang kendali. Beban listrik di panel terendah adalah motor penggerak batang kendali yang diberikan simbol Rod 1 sampai dengan Rod 10. Tiap-tiap Rod menghasilkan beban reaktif sebesar 1 kVAR dengan tegangan kerja 379,6 V. Pada

bus RPS panel yang mana merupakan pusat dari tenaga listrik untuk Rod memiliki beban reaktif sebesar 12 kVAR. Hal ini dikarenakan nilai beban reaktif di bus RPS panel merupakan akumulasi dari beban reaktif Rod 1 – Rod 10 dan beban reaktif di dalamnya. Pada bus trafo sama nilainya dengan bus RPS panel yaitu sebesar 12 kVAR.

Gambar 6 merupakan hasil simulasi load flow analysis faktor daya dan arus dari software ETAP. Dari simulasi yang dilakukan didapatkan nilai faktor daya dan arus pada tiap-tiap bus dalam rangkaian motor penggerak batang kendali. Data hasil simulasi adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Data Simulasi Faktor Daya dan Arus

Komponen	PF (%)	I (A)
Rod 1	82	3,1
Rod 2	82	3,1
Rod 3	82	3,1
Rod 4	82	3,1
Rod 5	82	3,1
Rod 6	82	3,1
Rod 7	82	3,1
Rod 8	82	3,1
Rod 9	82	3,1
Rod 10	82	3,1
Bus RPS	84,8	33,6
Bus Trafo	99,1	129,9

Tabel 2 menunjukkan hasil simulasi program ETAP. Dalam tabel tersebut terdapat nilai-nilai faktor daya dan arus yang didapatkan dari hasil simulasi program untuk setiap komponen dalam diagram kelistrikan motor penggerak batang kendali. Tiap-tiap Rod memiliki nilai faktor daya sebesar 82% dengan arus 3,1 A. Pada bus RPS panel yang mana merupakan pusat dari tenaga listrik untuk Rod memiliki faktor daya sebesar 84,8%. Hal ini dikarenakan beban listrik di bus RPS panel terdapat panel kontrol system RPS dengan kapasitas daya 2 kVA sehingga faktor daya di bus RPS panel meningkat karena mendapatkan tambahan beban resistif dengan faktor daya 100%. Pada bus trafo nilai faktor daya meningkat menjadi 99,1% yang disebabkan terdapat beban lainnya senilai 66 kVA.

Dari simulasi dengan program ETAP didapatkan nilai faktor daya motor penggerak batang kendali adalah 82% dan membutuhkan nilai kVAR untuk masing-masing motor adalah 1 kVAR.

Pada metode perhitungan manual, dapat dilakukan dengan cara menentukan nilai faktor daya yang diharapkan setelah penambahan nilai kVAR. Nilai faktor daya yang diperbolehkan adalah antara 85% - 100%. Dalam studi ini dimisalkan nilai faktor daya yang diharapkan adalah 96%, sehingga dapat dilakukan perhitungan untuk mencari nilai kVAR yang dibutuhkan.

Diketahui,  
 $P = 1,1 \text{ kW}$   
 $\cos\theta_1 = 82\%$   
 $\tan\theta_1 = 69,8\%$   
 $\cos\theta_2 = 96\%$   
 $\tan\theta_2 = 29,2\%$

Dengan menggunakan persamaan (5), maka akan diperoleh:

$$Q = P (\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$
$$Q = 1,1 \text{ kW} (0,698 - 0,292)$$
$$Q = 0,45 \text{ kVAR}$$

Dari data hasil perhitungan, dapat disajikan dalam bentuk tabel yang ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Data perhitungan beban kVAR

Komponen	kVAR
Rod 1	0,45 kVAR
Rod 2	0,45 kVAR
Rod 3	0,45 kVAR
Rod 4	0,45 kVAR
Rod 5	0,45 kVAR
Rod 6	0,45 kVAR
Rod 7	0,45 kVAR
Rod 8	0,45 kVAR
Rod 9	0,45 kVAR
Rod 10	0,45 kVAR

Berdasarkan data yang disajikan pada tabel 1 dan tabel 3, dapat dilakukan analisa beban kVAR yang dibutuhkan dari metode simulasi dan metode perhitungan. Berdasarkan data simulasi, nilai kVAR yang diperoleh untuk motor penggerak batang kendali adalah 1 kVAR, sedangkan data perhitungan menunjukkan nilai 0,45 kVAR. Pada metode simulasi menggunakan software ETAP nilai faktor daya yang diharapkan adalah 100% karena menggunakan perhitungan yang ideal sehingga tidak ada rugi daya. Sedangkan pada metode perhitungan manual nilai faktor daya yang diharapkan dibatasi pada nilai 96%.

Dari data simulasi, besar nilai kVAR kapasitor untuk motor penggerak batang kendali dengan kapasitas 1,1 kW adalah 1 kVAR, berdasarkan data perhitungan untuk faktor daya 0,96, besar nilai kVAR yang dibutuhkan adalah 0,45 kVAR.

#### KESIMPULAN

Besar nilai kVAR kapasitor dengan metode simulasi program ETAP untuk motor penggerak batang kendali adalah 1 kVAR, dengan menaikkan power faktor menjadi 0,96; dan dengan metode perhitungan manual nilai daya reaktif didapat 0,45 kVAR.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terimakasih kepada staf sub Bidang Elektrik – BPR, PRSG dan Program Insinas Flagship – RDE BATAN.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Koes Indrakoesoema, dkk., "Emergency Power Supply of Control Rod for RDE", SENTEN 2018 - Symposium of Emerging Nuclear Technology and Engineering Novelty.
- [2] H. Mohammad Amir dan Aji Muharam Somantri, "Analisis Perbaikan Faktor Daya Untuk Memenuhi Penambahan Beban 300 kVA Tanpa Penambahan Daya PLN", Sinusoida Vol. XIX No.1, April 2017 ISSN 1411 – 4593, ISTN.
- [3] Ararso Taye, "Design and Simulation of Automatic Power Factor Correction For Industry Application", IJETMR, [Taye\*, Vol.5 (Iss.2): February, 2018] ISSN: 2454-1907, India.
- [4] S. Bakhri and N. Ertugrul, "An Online Non-Invasive Condition Monitoring Method for Stepping Motor CRDM in HTGR", Atom Indonesia Vol. 42, No. 3 (2016) 105 – 114.

#### DISKUSI/TANYA JAWAB :

##### 1. PERTANYAAN :

Apa saja input data yang digunakan pada Software ETAP?

##### JAWABAN :

Input data yang diperlukan pada perhitungan ini adalah data trafo, tegangan dan daya motor batang kendali.

##### 2. PERTANYAAN :

Apakah software ETAP sudah divalidasi dengan data eksperimen?

##### JAWABAN :

Simulasi ini belum divalidasi dengan data eksperimen

## OPTIMALISASI DAYA REAKTOR TRIGA 2000 DENGAN KONFIGURASI TERAS 110 BAHAN BAKAR

Reinaldy Nazar, Jupiter Sitorus Pane

PSTNT – BATAN, Jl. Tamansari No. 71, Bandung, 40132

email: reinaldynazar@batan.go.id

### ABSTRAK

**OPTIMALISASI DAYA REAKTOR TRIGA 2000 DENGAN KONFIGURASI TERAS 110 BAHAN BAKAR.** Terbentuknya gelembung karena terjadinya pendidihan (*boiling*) dalam teras reaktor akan mengganggu proses moderasi neutron sehingga daya reaktor menjadi turun. Ketika mengoperasikan reaktor TRIGA 2000 menggunakan konfigurasi 105 bahan bakar di dalam teras, pada daya 500 kW sudah mulai terbentuk gelembung sebagai pertanda telah terjadi pendidihan di dalam teras. Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi terjadi pendidihan di teras reaktor, diantaranya melakukan *reshuffling* konfigurasi bahan bakar di teras reaktor. Pada penelitian ini telah dilakukan analisis termohidrolik menggunakan program komputer *CFD* terhadap reaktor TRIGA 2000 dengan konfigurasi 110 pembangkit daya di dalam teras, yang terdiri dari 102 bahan bakar murni, 3 *fuel follower control rod-FFCR*, 5 *instrumented fuel element-IFE*. Selain itu ada 1 *neutron source-NS*, 2 batang kendali tanpa bahan bakar-*CRWF*, 4 batang grafit, dan 4 *grid* dikosongkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mengoperasikan reaktor TRIGA 2000 pada daya 1000 kW menggunakan konfigurasi tersebut, diketahui terdapat 12 posisi *grid* bahan bakar yang mengalami pendidihan atau pendidihan sub-dingin (*sub-cooled boiling*). Tetapi ketika daya reaktor diturunkan menjadi 750 kW tidak terdapat posisi *grid* bahan bakar yang mengalami pendidihan atau pendidihan sub-dingin (*sub-cooled boiling*). Dengan demikian disimpulkan reaktor TRIGA 2000 dengan menggunakan konfigurasi 110 dapat dioperasikan sampai daya maksimum 750 kW tanpa terjadi pendidihan atau setidaknya pendidihan sub-dingin (*sub-cooled boiling*).

**Kata kunci:** Reaktor TRIGA 2000, pendidihan, *reshuffling*, 110 bahan bakar.

### ABSTRACT

**OPTIMIZATION OF TRIGA 2000 REACTOR POWER WITH 110 FUEL CONFIGURATION.** The formation of bubbles due to boiling in the reactor core will disrupt the neutron moderation process so that the reactor power to be down. When operating the TRIGA 2000 reactor using a configuration of 105 fuels in the core, at 500 kW power bubbles have begun to form as a sign of boiling inside the core. Efforts can be made to overcome the boiling on the reactor core, including *reshuffling* the configuration of fuel on the reactor core. In this research, a thermal hydraulic analysis was performed using a *CFD* computer program on the TRIGA 2000 reactor with 110 fuel configurations inside the core, consisting of 102 pure fuels, 3 *fuel follower control rods-FFCR*, 5 *instrumented fuel elements-IFE*. In addition there is an *NS-source neutron*, 2 control rods without fuel-*CRWF*, 4 graphite bars, and 4 *grids* emptied. The results showed that operating the TRIGA 2000 reactor at 1000 kW using this configuration, it was found that there were 12 fuel *grid* positions that experienced boiling or sub-cooled boiling. But when the power of the reactor is reduced to 750 kW there is no fuel *grid* position that is boiling or sub-cooled boiling. Thus concluded the TRIGA 2000 reactor using 110 configuration can be operated up to a maximum power of 750 kW without boiling or at least sub-cooled boiling.

**Keywords:** TRIGA 2000 reactor, boiling, *reshuffling*, 110 fuels

### PENDAHULUAN

Analisis yang dilakukan *General Atomic (GA)* dan beberapa hasil penelitian lainnya telah memprediksi akan terjadi pendidihan (*subcooled boiling*) ketika reaktor TRIGA 2000 dioperasikan pada daya 2000 kW [1 - 8]. Sebagai contoh ketika reaktor TRIGA 2000 dioperasikan hingga daya 2000 kW diketahui suhu di pusat bahan bakar 568 °C dan suhu pendingin primer keluar dari tangki 36 °C, telah terbentuk gelembung pertanda telah terjadi pendidihan di dalam teras reaktor.

Peningkatan jumlah gelembung dalam teras reaktor akan mengurangi proses moderasi neutron sehingga daya reaktor menjadi turun, ketika daya reaktor turun menyebabkan jumlah gelembung yang terbentuk juga turun sehingga proses moderasi neutron kembali meningkat dan daya reaktor kembali naik. Naik turun daya inilah yang teramati saat reaktor dioperasikan pada daya 2000 kW.

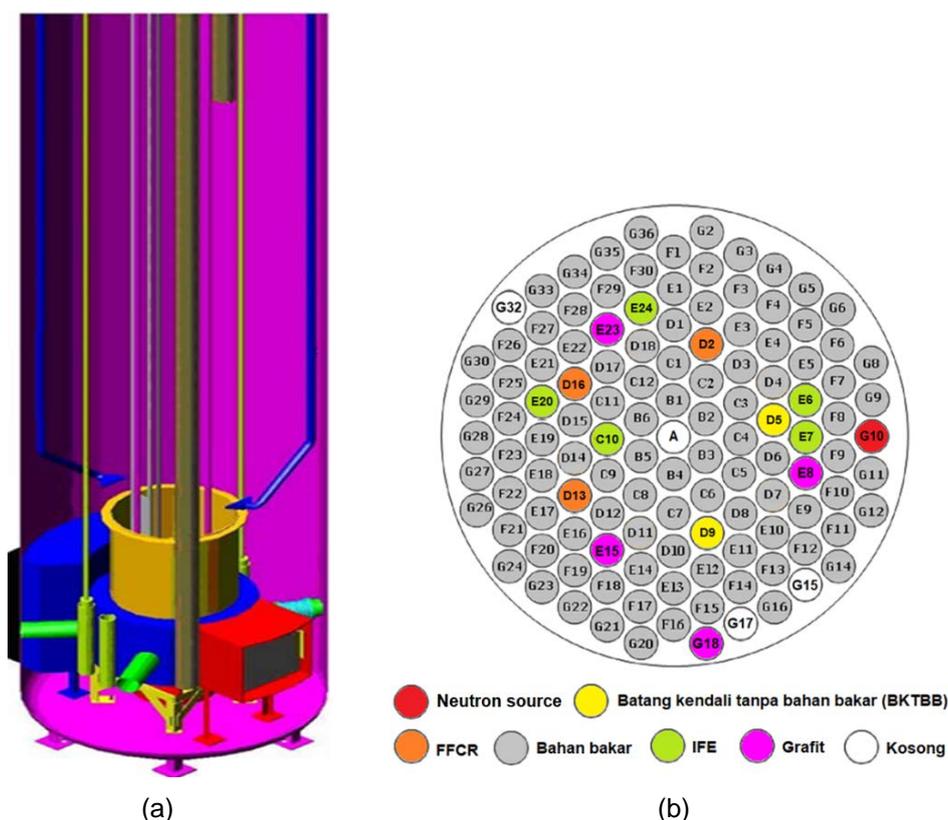
Ketika mengoperasikan reaktor TRIGA 2000 pada daya 500 kW sudah mulai terbentuk gelembung sebagai pertanda telah terjadi pendidihan (*boiling*) di dalam teras, berarti suhu teras sudah melebihi suhu saturasi air pendingin di dalam teras (112,4 °C). Suhu bahan bakar di teras reaktor tinggi, diantaranya karena pemakaian bahan bakar dalam jumlah terbatas, nilai burn-up bahan bakar tinggi (mendekati 50%), dan konfigurasi bahan bakar yang tidak optimum. Adapun konfigurasi bahan bakar di dalam teras ditentukan oleh jumlah bahan bakar yang digunakan, *burn-up* bahan bakar, dan umur bahan bakar.

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi terbentuknya gelembung karena pendidihan, diantaranya melakukan reshuffling konfigurasi bahan bakar di teras reaktor. Dengan demikian perlu dievaluasi jumlah bahan bakar yang digunakan, *burn-up* bahan bakar, dan umur bahan bakar yang ada.

Pada penelitian ini dilakukan analisis termohidrolik menggunakan paket program komputer *CFD* [9, 10] terhadap reaktor TRIGA 2000 yang beroperasi menggunakan konfigurasi 110 bahan bakar di teras. Studi ini dimaksudkan untuk memprediksi daya optimum yang dapat dicapai melalui analisis suhu permukaan kelongsong bahan bakar, suhu air pendingin dan suhu saturasi air pendingin di teras reaktor, ketika reaktor dioperasikan menggunakan konfigurasi 110 bahan bakar di dalam teras.

## TEORI

### Perpindahan Panas di Teras Reaktor TRIGA 2000



Gambar 1. (a) Sistem reaktor TRIGA 2000 saat ini, (b) konfigurasi 110 bahan bakar di teras reaktor TRIGA 2000 yang ditinjau

Teras reaktor TRIGA 2000 mempunyai 121 grid untuk menyusun bahan bakar di dalam teras. Pada studi kasus ini teras reaktor TRIGA 2000 menggunakan konfigurasi dengan 110 batang pembangkit daya, terdiri dari 102 bahan bakar murni, 3 *fuel follower control rod*-FFCR, 5 *instrumented fuel element*-IFE. Selain itu ada 1 *neutron source*-NS, 2

batang kendali tanpa bahan bakar-CRWF, 4 batang grafit, dan 4 grid dikosongkan, seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1.

Hubungan antara daya yang dibangkitkan pada setiap bahan bakar terhadap temperatur permukaan bahan bakar, temperatur air pendingin di celah bahan bakar, dan temperatur air pendingin yang membasahi permukaan bahan bakar dinyatakan dalam bentuk persamaan matematika (1 – 4) [11-13].

Panas persatuan volume ( $q'''$ ) yang dibangkitkan oleh bahan bakar reaktor TRIGA 2000 dinyatakan dalam persamaan matematik berikut..

$$q''' = GN\sigma_f\Phi \text{ watt/cm}^3 \quad (1)$$

$G$  = energi tiap-tiap reaksi fisi ( $190 \text{ MeV} = 3,04 \times 10^{-11} \text{ joule}$ ).

$N$  = rapat atom bahan bakar ( $\text{atom/cm}^3$ )

$\sigma_f$  = tampang lintang mikroskopis bahan bakar ( $\text{cm}^2$ )

$\phi$  = fluks neutron ( $\text{neutron/cm}^2 \text{ dtk}$ )

Panas yang keluar melalui permukaan batang bahan bakar ( $q_s$ ) dengan panjang bahan bakar ( $L$ ) dan jari-jari bahan bakar ( $R$ ) adalah:

$$q_s = (\pi R^2 L) q''' \quad (2)$$

Temperatur permukaan bahan bakar ( $T_s$ ) adalah

$$T_s = T_m - \frac{q_s}{(4\pi k_f L)} \quad (3)$$

Dimana,  $k_f$  = konduktivitas panas uranium, dan  $T_m$  = temperatur di pusat bahan bakar

Temperatur air pendingin ( $T_f$ ) yang membasahi permukaan kelongsong bahan bakar dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$T_f = T_m - \left( \frac{q''' R^2}{4k_f} \right) + \left( \frac{q''' R^2}{2} \right) \left[ \frac{1}{k_c} \ln \left( \frac{R+c}{R} \right) + \left( \frac{1}{h(R+c)} \right) \right] \quad (4)$$

dimana,  $h$  = koefisien perpindahan panas konveksi,  $k_c$  = konduktivitas panas kelongsong, dan  $c$  = tebal kelongsong.

Dengan menggunakan persamaan (1 – 4) dapat dihitung temperatur permukaan bahan bakar, temperatur air pendingin yang membasahi permukaan kelongsong bahan bakar, dan temperatur air pendingin di celah bahan bakar.

Selain menggunakan metoda analitik untuk menyelesaikan persamaan matematik tersebut di atas, penentuan temperatur permukaan bahan bakar, temperatur air pendingin yang membasahi permukaan bahan bakar, dan temperatur air pendingin di celah bahan bakar dapat juga dilakukan dengan menggunakan metoda numerik melalui penyelesaian persamaan kontinuitas, persamaan kekekalan momentum, dan persamaan kekekalan energi yang diterapkan pada model reaktor yang ditinjau.

Saat ini penyelesaian persamaan kontinuitas, persamaan kekekalan momentum, dan persamaan kekekalan energi yang diterapkan pada model reaktor yang ditinjau dapat dilakukan menggunakan program komputer, diantaranya menggunakan program komputer *CFD (computational of fluid dynamic)*. Pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan program komputer *FLUENT* yang merupakan kelompok program komputer *CFD*.

### Deskripsi FLUENT

Penelitian ini menggunakan paket program komputer *CFD (computational of fluid dynamic)* [9, 10] dengan membuat model 3-dimensi reaktor TRIGA 2000 yang ditinjau. Jenis paket program komputer *CFD* yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat lunak *FLUENT*, dimana program *FLUENT* ini bekerja melalui penyelesaian persamaan distribusi aliran, persamaan turbulen, dan persamaan energi. Persamaan turbulen menggunakan persamaan viskositas *k-epsilon*, *k-omega*, *Reynolds Stress*, atau *Large Eddy Simulation (LES)*.

Program *FLUENT* menyelesaikan persamaan distribusi aliran, persamaan turbulen, dan persamaan energi menggunakan metoda volume hingga (*finite volume*), dimana model yang ditinjau dibagi menjadi banyak volume diskrit. Persamaan diferensial dintegrasikan pada volume diskrit tersebut menjadi persamaan umum konservasi massa, persamaan momentum, dan persamaan energi. Persamaan konservasi bergantung pada densitas fluida, luas aliran pendingin, stress tensor, dan volume. Persamaan konservasi masa diselesaikan menggunakan persamaan kontinuitas dan persamaan momentum yang mengacu pada

persamaan *Navier-Stokes*. Solusi analitik persamaan *Navier-Stokes* hanya berlaku untuk aliran yang sederhana, seperti kondisi aliran dalam subkanal adalah kondisi ideal. Adapun persamaan konservasi energi menghitung energi berdasarkan hukum termodinamika.

Karena program *FLUENT* melakukan perhitungan dengan mengacu kepada persamaan kontinuitas, momentum, dan keseimbangan energi dalam volume diskrit yang mengikuti geometri bahan bakar, maka ukuran dan jumlah volume kontrol akan menentukan akurasi hasil perhitungan. Perhitungan keseimbangan energi dan aliran dilakukan secara numerik berdasarkan kondisi batas yang telah ditetapkan.

Hasil perhitungan yang dilakukan program *FLUENT*, diantaranya distribusi temperatur permukaan bahan bakar dan temperatur air pendingin akan diperoleh dengan detail, sehingga akurasi perhitungan sangat ditentukan oleh proses modeling.

## TATA KERJA

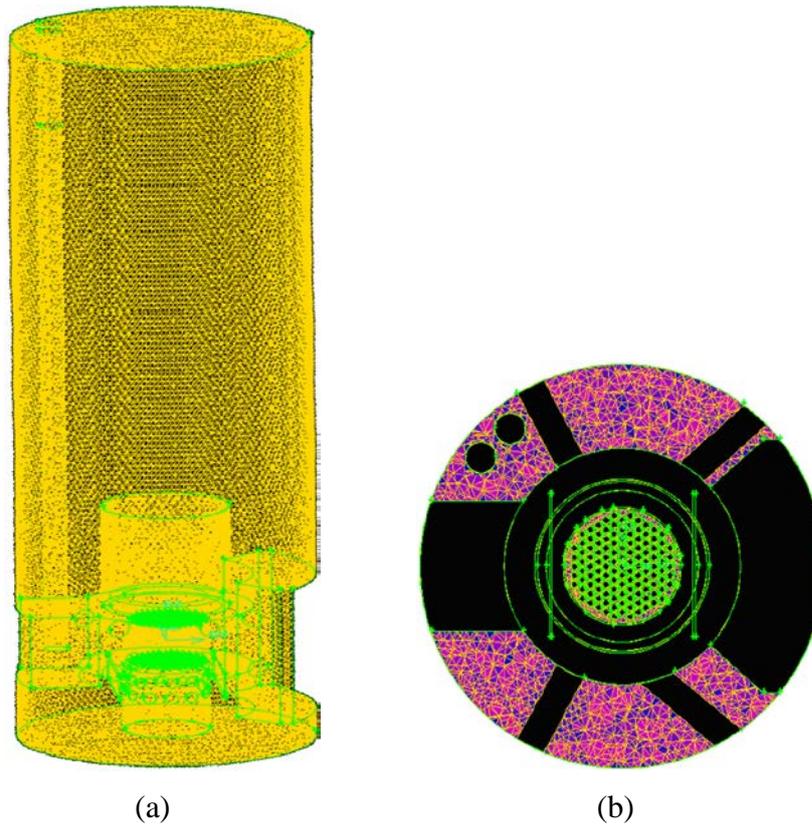
Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Membuat geometri dan nodalisasi reaktor TRIGA 2000 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 menggunakan program komputer *GAMBIT*. Sistem reaktor TRIGA 2000 ditinjau mempunyai teras reaktor dengan 121 *grid*, dimana konfigurasi *grid* yang digunakan adalah 110 *grid* untuk pembangkit daya di dalam teras, yang terdiri dari 102 *grid* untuk bahan bakar murni, 3 *grid* untuk *fuel follower control rod-FFCR*, 5 *grid* untuk *instrumented fuel element-IFE*. Selain itu 1 *grid* untuk *neutron source-NS*, 2 *grid* untuk batang kendali tanpa bahan bakar-*CRWF*, 4 *grid* untuk batang grafit, dan 4 *grid* dikosongkan.
2. Menghitung daya masing-masing bahan bakar untuk daya total reaktor 900 kW, 800 kW, 750 kW, 700 kW, 600 kW, dan 500 kW dengan menggunakan data yang sudah ada, yaitu data hasil perhitungan terhadap reaktor TRIGA 2000 dengan daya 1000 kW.
3. Memasukkan data input menggunakan program *FLUENT* pada geometri reaktor TRIGA 2000 hasil program *GAMBIT*, sebagai kondisi-kondisi batas yang berlaku pada geometri reaktor yang ditinjau, berupa daya masing-masing bahan bakar untuk daya 1000 kW, suhu air pendingin primer masuk teras reaktor 42°C [14], laju aliran air pendingin primer masuk teras 775 *GPM* [14], tekanan pada pipa primer memasuki tangki reaktor, dan sifat-sifat fisika air pendingin primer.
4. Melakukan proses eksekusi perhitungan pada program *FLUENT*.
5. Menganalisa data keluaran hasil eksekusi perhitungan program *FLUENT*.
6. Mengulangi tahap 2 sampai dengan tahap 5 untuk daya 900 kW, 800 kW, 750 kW, 700 kW, 600 kW, dan 500 kW.
7. Membuat kesimpulan akhir.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menunjukkan geometri dan nodalisasi sistem reaktor TRIGA 2000 reaktor, serta tampilan penampang reaktor yang dibangun menggunakan program komputer *GAMBIT*.

Menggunakan program *FLUENT* diberikan kondisi-kondisi batas yang berlaku pada geometri reaktor TRIGA 2000 yang dibangun dengan program komputer *GAMBIT*, berupa daya masing-masing bahan bakar untuk daya 1000 kW, suhu air pendingin primer masuk teras reaktor 42°C, laju aliran air pendingin primer masuk teras 775 *GPM*, tekanan pada pipa primer memasuki tangki reaktor, dan sifat-sifat fisika air pendingin primer.



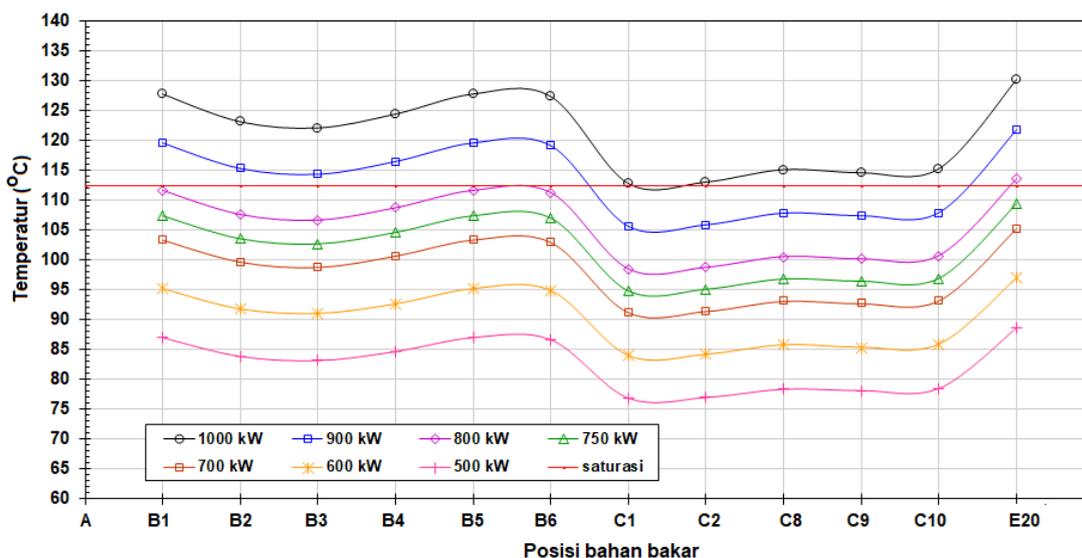
Gambar 2. (a) Geometri dan nodalisasi reaktor, dan  
(b) penampang tangki reaktor hasil program komputer *GAMBIT*

Gambar 3 menampilkan temperatur permukaan kelongsong bahan bakar, temperatur air pendingin yang membasahi permukaan kelongsong bahan bakar, dan temperatur air pendingin di celah bahan bakar pada grid-grid panas untuk setiap tingkatan daya yang dihitung. Hasil perhitungan yang dilakukan pada daya reaktor 1000 kW diketahui terdapat 12 posisi grid bahan bakar panas, yaitu pada B1, B2, B3, B4, B5, B6, C1, C2, C8, C9, C10, dan E20 grid terpanas memiliki temperatur permukaan kelongsong bahan bakar 130,243 °C. Temperatur permukaan kelongsong bahan bakar pada 12 posisi ini lebih tinggi dari temperatur saturasi air pendingin primer di teras reaktor 112,4 °C, sehingga pada 12 posisi ini dapat dikatakan sudah terjadi pendidihan, setidaknya pendidihan sub-dingin (*sub-cooled boiling*) sudah mungkin terjadi.

Ketika daya reaktor diturunkan mejadi 900 kW, diketahui grid bahan bakar dengan nilai temperatur permukaan kelongsong bahan bakar lebih tinggi dari temperatur saturasi berkurang menjadi 7 posisi, yaitu B1, B2, B3, B4, B5, B6, dan E20 grid terpanas memiliki temperatur permukaan kelongsong bahan bakar 121,940 °C.

Ketika daya reaktor diturunkan mejadi 800 kW, diketahui grid bahan bakar dengan nilai temperatur permukaan kelongsong bahan bakar lebih tinggi dari temperatur saturasi berkurang menjadi 1 posisi, yaitu E20 grid terpanas memiliki temperatur permukaan kelongsong bahan bakar 113,637 °C dan sudah terjadi pendidihan. Sedangkan pada grid B1, B5, dan B6 masing-masing memiliki temperatur permukaan kelongsong bahan bakar 111,677 °C, 111,677 °C, dan 111,299 °C adalah mendekati temperatur saturasi 112,4 °C.

Ketika daya reaktor diturunkan mejadi 750 kW, 700 kW, 600 kW, dan 500 kW diketahui grid bahan bakar dengan nilai temperatur permukaan kelongsong bahan bakar lebih tinggi dari temperatur saturasi sudah tidak ada. Dengan demikian dapat dikatakan reaktor TRIGA 2000 dengan menggunakan konfigurasi 110 bahan bakar dapat dioperasikan sampai daya maksimum 750 kW tanpa terjadi pendidihan atau pendidihan sub-dingin (*sub-cooled boiling*).



Gambar 3. Temperatur permukaan kelongsong pada grid panas

## KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa mengoperasikan reaktor TRIGA 2000 pada daya 1000 kW menggunakan konfigurasi 110 batang pembangkit daya, terdiri dari 102 bahan bakar murni, 3 *fuel follower control rod-FFCR*, 5 *instrumented fuel element-IFE*. Selain itu ada 1 *neutron source-NS*, 2 batang kendali tanpa bahan bakar-*CRWF*, 4 batang grafit, dan 4 grid dikosongkan diketahui terdapat 12 posisi grid bahan bakar yang mengalami pendidihan atau pendidihan sub-dingin (*sub-cooled boiling*). Tetapi ketika daya reaktor diturunkan mejadi 750 kW tidak terdapat posisi grid bahan bakar yang mengalami pendidihan atau pendidihan sub-dingin (*sub-cooled boiling*). Dengan demikian dapat dikatakan reaktor TRIGA 2000 dengan menggunakan konfigurasi 110 bahan bakar dapat dioperasikan sampai daya maksimum 750 kW tanpa terjadi pendidihan atau setidaknya pendidihan sub-dingin (*sub-cooled boiling*).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada rekan-rekan bidang reaktor PSTNT-BATAN Bandung yang telah membantu dalam mengerjakan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] ANONYMOUS, "SAR for Upgrade of TRIGA Mark II Reactor", General Atomic, San Diego (1996).
- [2] KAMINAGA M., "Coolod-N2 Computer Code For The Analyses of Steady-State Thermal-Hydraulics in Research Reactors", Report No JAERI-M, 94-052, JAERI, March, (1994).
- [3] RAHMAN M. AKOND M. BASHER M. and HUDA M., "Steady-State Thermal-Hydraulic Analysis of TRIGA Research Reactor", World Journal of Nuclear Science and Technology, Volume 4, pp 81-87, (2014).
- [4] MOHAMMAD A. ALBATI. OMAR S, AL-YAHIA. JONGHARK P. HEETAEK C. and DAESEONG J., "Thermal-hydraulic analyses of JRR-3: Code-to-code comparison of COOLOD-N2 and TMAP", Progress in Nuclear Energy, Volume 71, pp 1-8, (2014).
- [5] ANTARIKSAWAN A.R. EFRIZON U. SURIP W. MULYA J. dan MUKHSINUN HK., "TRIGA-2000 Research Reactor Thermal-hydraulic Analysis using RELAP/SCDAPSIM/MOD3.4", International Journal of Technology, Volume 8 No. 4, pp 698-708, (2017).
- [6] REINALDY N., "Efek cerobong terhadap parameter termohidrolik teras dan konsentrasi N-16 pada reaktor TRIGA 2000 Bandung", Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir Tri Dasa Mega, Volume 11 No. 3, Hal. 139-152, Jakarta (2009).

- [7] REINALDY N, "Perolehan Suhu Air Pendingin Primer Reaktor TRIGA 2000 ketika Penambahan Cerobong dan Pelat Penukar Panas", Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir Tri Dasa Mega, Volume 13 No.3, Hal.161-172, Jakarta (2011).
- [8] SUDJATMI K.A., "Pengaruh Nilai Bakar Terhadap Integritas Kelongsong Elemen Bakar TRIGA 2000", Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir Tri Dasa Mega, Volume 13 No.3, Hal.186-193, Jakarta (2011).
- [9] TUAKIA F., "Dasar-dasar menggunakan CFD FLUENT", Bandung Informatika, Bandung (2008).
- [10] SUBEKTI M. ISNAINI, D. HASTUTI, E.P., "Analisis Kecepatan Pendingin Dalam Elemen Bakar Tipe Plat Menggunakan Metode CFD Untuk Reaktor Riset RSG GAS", Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir TRI DASA MEGA, Volume 15 No 2 Hal. 67-76, Jakarta (2013).
- [11] TODREAS N.E., KAZIMI M.S., "Nuclear Syatem I – Thermal Hydraulic Fundamental", Hemisphere Publishing Co, New York (1976).
- [12] PRAYOTO. etal., "Pengantar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir", BATAN, Jakarta (1974).
- [13] EL WAKIL M.M., "Nuclear Power Engineering", McGraw-Hill Books Company, New York (1962)
- [14] ANONIM, "Laporan Analisis Keselamatan Reaktor TRIGA 2000", PSTNT BATAN, Bandung (2016).

**DISKUSI/TANYA JAWAB :**

**1. PERTANYAAN :**

Berapa Jumlah Mah yang dipakai?

**JAWABAN :**

Kurang lebih 950.000

**2. PERTANYAAN :**

Apakah sudah mempertimbangkan dua fase?

**JAWABAN :**

Dua fase pada perhitungan dinyatakan jika suhu teras melebihi suhu saturasi air pendingin di dalam teras (112,4 C) karena dalam penelitian digunakan harga – harga sifat fisik air pendingin konstan. Pada penelitian selanjutnya bisa saja diperhitungkan kondisi 2 fasa dengan menggunakan harga – harga sifat fisik air pendingin bergantung pada temperatur (fungsi dari temperatur).

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## PERHITUNGAN REAKTIVITAS BATANG KENDALI HTR-10 DENGAN MENGGUNAKAN SCALE

**Agus Waluyo, Azizul Khakim**  
BAPETEN, Jln Gajah Mada no 8, Jakarta Pusat  
email: a.waluyo@bapeten.go.id

### ABSTRAK

**PERHITUNGAN REAKTIVITAS BATANG KENDALI HTR-10 DENGAN MENGGUNAKAN SCALE.** HTR-10 adalah salah satu jenis reaktor HTGR yang saat ini menjadi referensi untuk pembangunan reaktor HTGR di beberapa negara. Banyak hal yang menjadi penelitian yang dilakukan terkait dengan reaktor HTR-10. Salah satu topik penelitian yang saat ini banyak dilakukan terkait HTR-10 adalah perhitungan reaktivitas batang kendali HTR-10. Penelitian terkait dengan nilai reaktivitas batang kendali ini sangat penting karena terkait dengan keselamatan, yaitu kemampuan batang kendali dalam memadamkan reaktor pada kondisi normal maupun kecelakaan. Penelitian ini menggunakan SCALE dalam rangka melakukan perhitungan nilai reaktivitas batang kendali. Dari hasil perhitungan menggunakan SCALE didapat hasil untuk nilai reaktivitas batang kendali adalah  $0,16 \Delta k/k$  dan *shut down margin* adalah  $0,134 \Delta k/k$ .

Kata kunci: HTR-10, reaktivitas, batang kendali, SCALE

### ABSTRACT

**CALCULATION REACTIVITY OF HTR-10 CONTROL RODS USING SCALE.** HTR-10 is one type of HTGR reactor that is become reference for HTGR reactor construction in several countries. Many research conducted related to the HTR-10 reactor. One of the research topics that is currently being done in relation to HTR-10 is the calculation of reactivity of HTR-10 control rods. Research related to reactivity of the control rod is very important because it is related to safety, namely the ability of the control rod to shut down the reactor under normal or accidents conditions. In this study using SCALE to calculate the control rod reactivity of HTR-10. From the calculation using SCALE, the results for the control rod reactivity are  $0,16 \Delta k/k$  and *shut down margin* is  $0,134 \Delta k/k$ .

Keyword: HTR-10, reactivity, control rods, SCALE

### PENDAHULUAN

HTR-10 adalah salah satu jenis reaktor HTGR yang saat ini menjadi referensi untuk pembangunan reaktor jenis HTGR di beberapa negara, salah satunya adalah Indonesia. Saat ini banyak penelitian yang dilakukan terkait dengan HTGR, karena HTGR saat ini menjadi salah satu pilihan reaktor yang akan dibangun di masa mendatang karena mempunyai beberapa keunggulan yang antara lain: mempunyai efisiensi thermal yang lebih tinggi apabila dibanding dengan PWR maupun BWR, sedangkan dari segi keselamatan HTGR juga mempunyai beberapa keunggulan yang antara lain HTGR mempunyai moderator dan reflektor dari graphite dimana graphite ini mempunyai kemampuan memindahkan panas dengan konduksi maupun konveksi ke luar teras walaupun tidak ada pendingin yang masuk ke teras dan juga HTGR mempunyai koefisien reaktivitas bahan bakar dan moderator negatif.

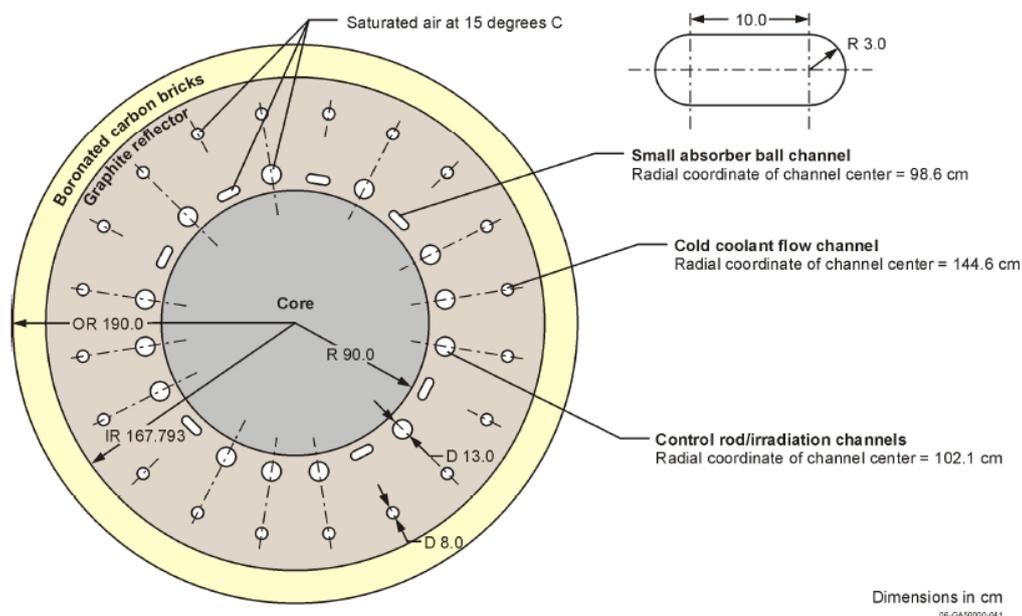
Ada tiga prinsip keselamatan terkait dengan pengoperasian suatu reaktor nuklir, yaitu kemampuan untuk memindahkan panas dari teras reaktor, kemampuan untuk memadamkan teras reaktor dan yang terakhir adalah kemampuan untuk mengungkung zat radioaktif di dalam teras reaktor. Oleh karena dalam penelitian ini akan dilakukan analisis perhitungan reaktivitas batang kendali. Nilai reaktivitas batang kendali ini sangat penting karena akan menggambarkan kemampuan batang kendali dalam memadamkan reaktor sehingga nilai reaktivitas batang kendali ini menjadi persyaratan dalam mendesain suatu reaktor. Analisis kemampuan batang kendali dalam memadamkan reaktor biasanya dilakukan dengan mengasumsikan bahwa batang kendali yang paling reaktif (yang mempunyai reaktivitas paling besar) gagal untuk dimasukkan ke dalam teras. Nilai kemampuan batang kendali memadamkan teras reaktor dengan mengasumsikan salah satu batang kendali gagal ini biasanya dikenal dengan istilah *shut down margin*. Dalam reaktor HTR 10 mempunyai 10

batang kendali, oleh karena itu dalam analisis ini akan dihitung nilai reaktivitas masing-masing batang kendali lalu dicari nilai reaktivitas batang kendali yang paling besar. Setelah itu dihitung berapa nilai shut down margin dari batang kendali dari HTR 10 tersebut.

### DESKRIPSI HTR-10

Reaktor HTR-10 merupakan salah satu jenis HTGR yang mana bahan bakar berupa *pebble bed*. HTR-10 mempunyai beberapa komponen yang antara lain bejana tekan, batang kendali, sistem penggerak batang kendali, *small ball absorber*, sistem pemuatan dan pengeluaran bahan bakar.

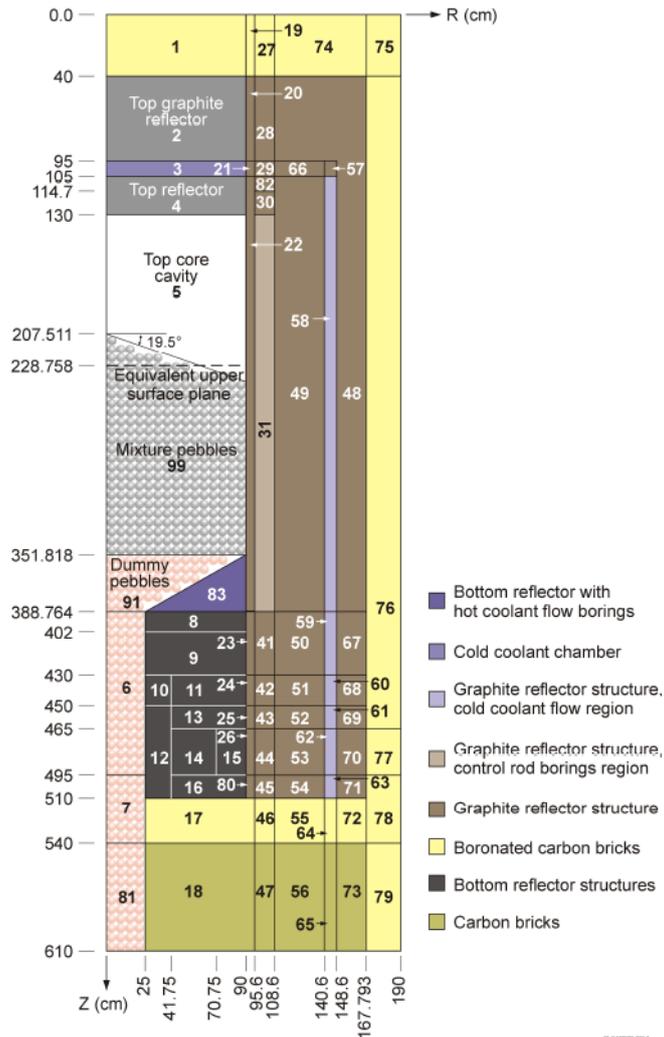
Teras aktif HTR-10 dikelilingi oleh reflektor graphite. Reflektor graphite sendiri dikategorikan menjadi reflektor atas, reflektor samping dan reflektor bawah. Bagian bawah dari teras reaktor berbentuk kerucut yang mana terhubung dengan tabung yang berfungsi untuk mengeluarkan bahan bakar. Pada reflektor bagian samping terdapat 20 kanal yang berada dekat teras aktif, 20 kanal tersebut terdiri dari 10 kanal batang kendali, 7 kanal untuk bola-bola penyerap, dan 3 kanal disediakan untuk kanal iradiasi. Sedangkan sisi bagian luar reflektor terdapat 20 kanal pendingin helium. Gambar tampang lintang secara horizontal dari HTR-10 yang menunjukkan posisi kanal untuk batang kendali maupun kanal pendingin helium ditunjukkan pada Gambar.1, sedangkan untuk tampang lintang secara vertikal dari HTR-10 ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Tampang lintang horizontal teras HTR-10[1]

Bahan bakar yang digunakan oleh HTR-10 adalah bola *pebble* yang mempunyai diameter 6 cm yang dilapisi dengan *coated particle*. Karakteristik bahan bakar *pebble bed* HTR-10 dapat dilihat pada Tabel 1 sedangkan deskripsi dari bahan bakar *pebble bed* dapat dilihat pada Gambar 3.

HTR-10 mempunyai 10 batang kendali yang diletakkan di reflektor samping. Batang kendali dari HTR-10 ini menggunakan Boron Carbide ( $B_4C$ ) sebagai penyerap neutron. Setiap batang kendali berisi 5 segmen dalam bentuk cincin (lima)  $B_4C$  yang dipasang antara lengan stainless steel bagian dalam dan luar. Segmen-segmen tersebut dihubungkan dengan sambungan metal. Diameter dalam dan luar dari cincin  $B_4C$  adalah 60 mm dan 105 mm, sedangkan panjang tiap segmen adalah 487 mm. Panjang untuk tiap sambungan dari batang kendali adalah 36 mm. Tabel 2 berikut ini menunjukkan deskripsi material dari batang kendali, sedangkan gambar dari batang kendali ditunjukkan pada Gambar 3



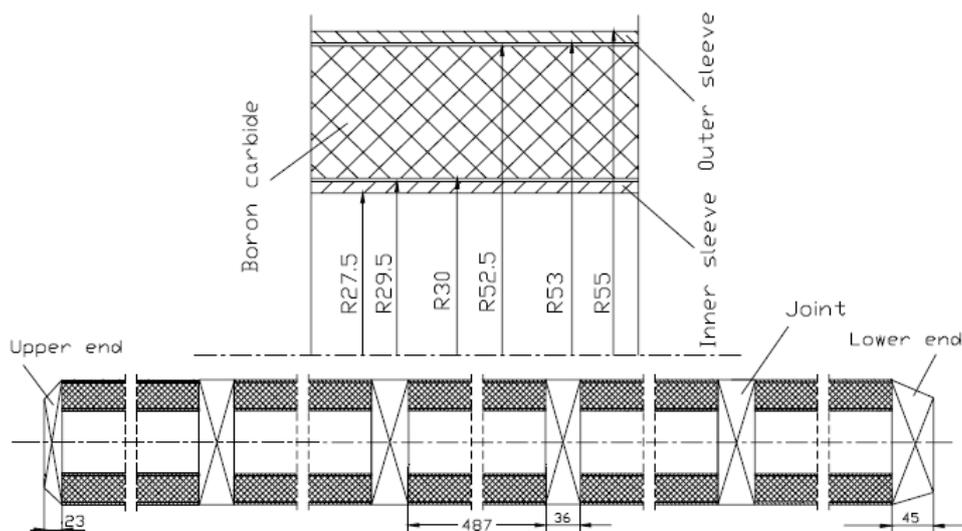
Gambar 2 Tampang lintang vertikal teras HTR-10[1]

Tabel 1 Deskripsi dari bahan bakar HTR-10[2]

Diameter bola	6,0 cm
Diameter daerah bahan bakar	5,0 cm
Densitas graphite di dalam matrik dan lapisan luar	1,73 g/cm <sup>3</sup>
Berat uranium setiap bola bahan bakar	5,0 g
Pengkayaan <sup>235</sup> U	17%
Kandungan boron alam dalam uranium	4 ppm
Kandungan boron alam dalam graphite	1,3 ppm
Fraksi volumetrik pengisian bola dalam teras	0,61
<i>Kernel</i> bahan bakar	
Jari jari <i>kernel</i>	0,25
Densitas UO <sub>2</sub>	10,4
Pelapis	
Material lapisan (mulai dari kernel)	PyC/PyC/SiC/PyC
Ketebalan lapisan	0,09/0,04/0,035/0,04
Densitas lapisan	1,1/1,9/3,18/1,9
Bola dummy	
Diameter bola	6,0 cm
Densitas graphite	1,73 g/cm <sup>3</sup>
Kandungan boron alam pada graphite	1,3 ppm

Tabel 2 Material penyusun batang kendali HTR-10[3]

Diameter kanal batang kendali/koordinat radial kanal dari pusat:	13 cm/102,1 cm
Panjang secara aksial dan material penyusun dari bawah keatas	45/487/36/487/36/487/36/487/36/487/23 (487 mm adalah pajang dari segmen B <sub>4</sub> C, lainnya adalah stainless steel)
Deskripsi area radial dan ketebalan dari batang kendali	27,5(void)/2(ss)/0,5(void)/ 22,5 (B <sub>4</sub> C)/0,5 (void)/2 (ss)
Densitas boron karbida dalam batang kendali	1,7 g/cm <sup>3</sup>
Koordinat aksial ujung batang kendali bagian bawah ketika ditarik secara penuh	119,2 cm
Koordinat aksial ujung batang kendali bagian bawah ketika dimasukkan secara penuh	394,2 cm
Struktur logam batang kendali adalah sebagai berikut:	
1) Stainless steel penutup B <sub>4</sub> C mempunyai densitas:	7,9 g/cm <sup>3</sup> dengan komposisi material; adalah : Cr-18%, Fe-68,1 %, Ni-10%, Si-1%. Mn-2%, C-0,1%, Ti-0,8%
2) Sambungan metal bagian atas dan bawah diasumsikan hanya Fe pada region 27,5,,<R<55mm dengan densitas atom:	0,04 cm <sup>-1</sup>



Gambar 3 Deskripsi dari batang kendali HTR-10[4]

**Teeori Dasar**

Perhitungan reaktivitas di dalam reaktor sangat penting untuk pengendalian daya pada suatu reaktor. Selain itu perhitungan reaktivitas batang kendali sangat penting untuk mengetahui kemampuan batang kendali dalam memadamkan reaktor. Reaktivitas dari batang kendali ini erat hubungannya dengan parameter fisik reaktor seperti perubahan temperatur yang dihasilkan dari perubahan laju alir dari pendingin dan juga posisi dari batang kendali di dalam teras. Besarnya reaktivitas yang ada di teras akan mempengaruhi besarnya fluks neutron dan daya reaktor. Oleh karena itu perhitungan reaktivitas batang kendali harus dilakukan sebelum reaktor beroperasi dan harus seakurat mungkin[3].

Hubungan reaktivitas dengan faktor multiplikasi dinyatakan dalam persamaan:

$$\rho = \frac{k - 1}{k} \dots \dots \dots (1)$$

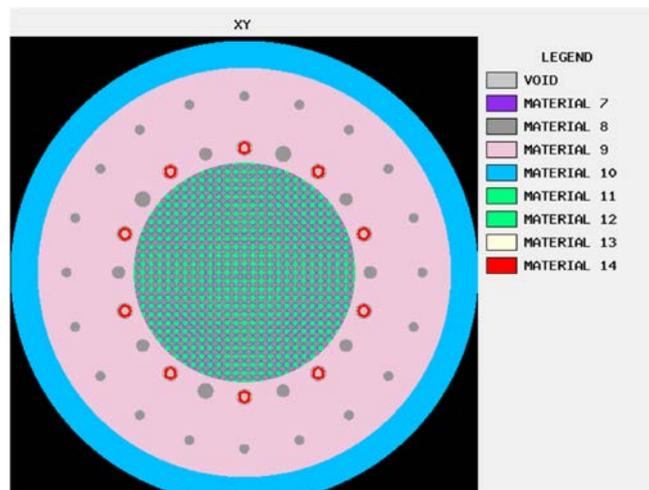
Nilai reaktivitas adalah nilai yang tidak berdimensi. Untuk memudahkan di dalam mendefinisikan nilai reaktivitas biasanya digunakan unit  $\Delta k/k$  atau  $\% \Delta k/k$  dan pcm (*percent milli rho*)

Ketika perubahan reaktivitas ( $\Delta\rho$ ) di definisikan sebagai perubahan reaktivitas, perubahan reaktivitas tersebut dinyatakan dalam persamaan:

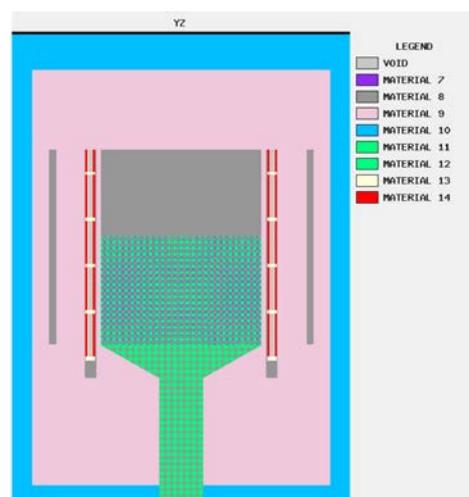
$$\Delta\rho = \frac{k_{eff-2} - k_{eff-1}}{k_{eff-2} \times k_{eff-1}} \dots \dots \dots (2)$$

### METODOLOGI

Perhitungan reaktivitas batang kendali HTR10 ini dilakukan dengan menggunakan program SCALE. Ada beberapa langkah yang perlu dilakukan dalam melakukan perhitungan reaktivitas batang kendali HTR-10, antara lain; menyusun material penyusun reaktor ke SCALE. Parameter-parameter material yang perlu dimasukkan ke dalam SCALE adalah densitas (dalam gram/cc. atau densitas atom) dan juga temperatur dari material tersebut. Langkah selanjutnya adalah memodelkan geometri reaktor HTR-10 [5]. Gambar.4 Dan Gambar 5 menunjukkan pemodelan HTR-10 dengan menggunakan SCALE.



Gambar 4 Pemodelan teras reaktor HTR-10 dengan SCALE (tampang lintang secara horizontal)



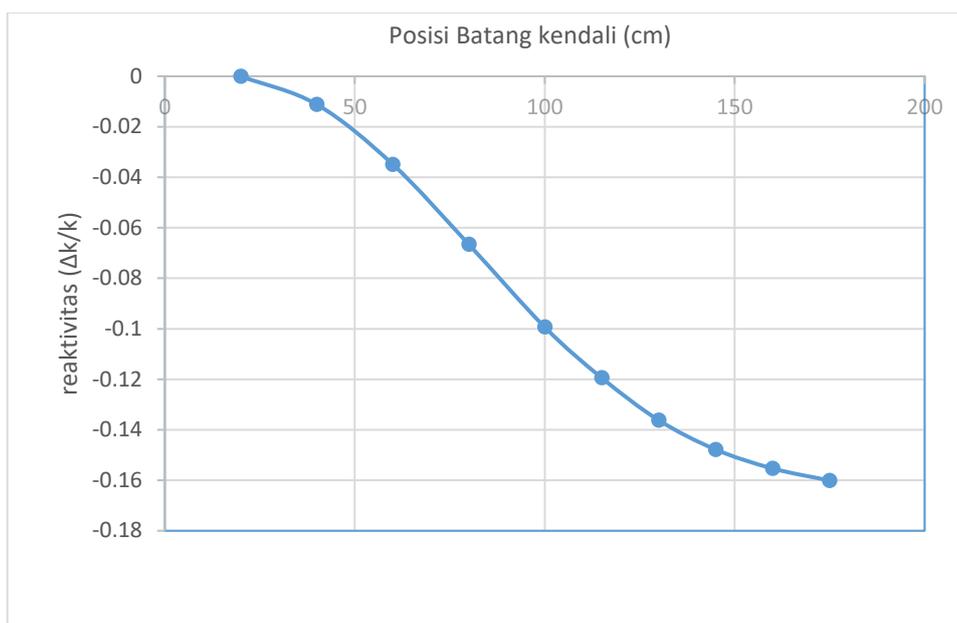
Gambar 5 Pemodelan teras reaktor HTR-10 dengan SCALE (tampang lintang secara vertikal)

### HASIL DAN PEMBAHASAN,

Dari hasil perhitungan, didapatkan hasil seperti Tabel 3. Tabel 3 Menunjukkan harga  $K_{eff}$  untuk seluruh batang kendali HTR-10 untuk berbagai posisi ketinggian di teras. Dari Tabel 3 dibuat grafik reaktivitas total untuk seluruh batang kendali di teras. Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai reaktivitas total untuk seluruh batang kendali di HTR-10 adalah 0,16  $\Delta k/k$ . Sehingga setiap batang kendali HTR-10 mempunyai reaktivitas 0,016  $\Delta k/k$ .

Tabel 3 harga  $K_{eff}$  untuk seluruh batang kendali HTR-10

Posisi	K eff	Reaktivitas
20	0,84794	0
40	0,85605	-0,0111727
60	0,87379	-0,034889
80	0,89867	-0,0665732
100	0,92594	-0,0993451
115	0,9435	-0,1194453
130	0,95866	-0,136206
145	0,96946	-0,1478267
160	0,97656	-0,1553261
175	0,98114	-0,1601062



Gambar 6 Kurva S reaktivitas batang kendali reaktor HTR-10 dengan menggunakan SCALE

Nilai reaktivitas batang kendali hasil perhitungan dari SCALE apabila dibandingkan dengan nilai reaktivitas batang kendali HTR-10 sedikit ada perbedaan. Di dalam referensi[4] reaktivitas untuk seluruh batang kendali HTR-10 adalah 0,14  $\Delta k/k$ . Perbedaan antara hasil perhitungan dengan menggunakan SCALE dengan hasil eksperimen adalah sekitar 14,28 %. Perbedaan ini kemungkinan disebabkan karena data material yang dimasukkan ke dalam program SCALE sedikit berbeda dengan data material yang sebenarnya pada HTR-10. Dan banyak penyederhanaan geometri HTR-10 ketika dimodelkan dengan menggunakan SCALE.

Untuk mengetahui shut down margin dari batang kendali HTR-10, perlu mengetahui excess reactivity dari HTR-10. Dari hasil perhitungan menggunakan SCALE, K-eff pada saat seluruh batang kendali ditarik adalah 1,0103 sehingga excess reactivity adalah 0,01019  $\Delta k/k$ . Nilai dari excess reactivity ini akan tergantung pada berapa ketinggian bahan bakar pebble dalam teras. Dalam penelitian ini ketinggian teras yang dipakai adalah ketinggian teras pada saat kekritisan pertama.

Dari excess reactivity, maka dapat dihitung untuk shut down margin untuk HTR-10. Shut down margin untuk HTR-10 adalah sebagai berikut:

$$\text{SDM} = \rho_{\text{total Batang kendali}} - \rho_{\text{Batang kendali gagal masuk}} - \rho_{\text{excess}} = (0,16 - 0,016 - 0,01019)$$
$$\text{SDM} = 0.134 \Delta k/k$$

### KESIMPULAN

Hasil perhitungan dengan menggunakan program SCALE, nilai reaktivitas untuk HTR-10 batang kendali adalah 0,16  $\Delta k/k$  dengan perbedaan dengan nilai reaktivitas batang kendali hasil eksperimen 14,28 %. Dan Shut down margin adalah 0,134  $\Delta k/k$ .

### UCAPAN TERIMA KASIH,

Kami mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada manajemen P2STPIBN yang telah memberikan fasilitas dan dukungan untuk melakukan kajian keselamatan HTGR. Tidak lupa kami ucapkan terima kasih kepada seluruh staf P2STPIBN yang telah memberikan masukan dan perbaikan terhadap hasil kajian ini.

### DAFTAR PUSTAKA,

- [1] W. K. Terry, Sam Kim, Leland M. Montierth, Joshua J. Cogliati, Abderrafi M. Ougouag, W. K. Terry, S. Sam Kim, L. M. Montierth, J. J. Cogliati, and A. M. Ougouag, "Evaluation of the HTR-10 Reactor as a Benchmark for Physics Code QA PHYSOR-2006, ANS Topical Meeting on Reactor Physics Evaluation of the HTR-10 Reactor as a Benchmark for Physics Code QA," 2006.
- [2] IAEA, *Evaluation of High Temperature Gas Cooled Reactor Performance: Benchmark Analysis Related to the PBMR-400, PBMM, GT-MHR, HTR-10 and the ASTRA Critical Facility*, 1st ed. Vienna: IAEA, 2013.
- [3] H. Adrial, Suwoto, A. Hamzah, and Zuhair, "Control Rod Reactivity Analysis of One Stuck Rod Condition in 10 MWth Experimental Reactor Conceptual Design (RDE-10 MWth) on First Full Core," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1198, no. 2, 2019.
- [4] IAEA, "the High Temperature Gas Cooled Reactor Test," no. March 1993, 2000.
- [5] ORNL, "Scale : A Comprehensive Modeling and Simulation Suite for Nuclear Safety Analysis and Design," *Ornl/Tm-2005/39*, no. June, 2011.

### DISKUSI/TANYA JAWAB :

#### 1. PERTANYAAN :

Apakah jenis material batang kendali mempengaruhi koefisien reaktivitas?

#### JAWABAN :

Material yang dimasukkan adalah material – material yang ada dalam referensi

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

---

# **KELOMPOK D1**

---



## **RENCANA INDUK KETENAGANUKLIRAN: KOMITMEN JANGKA PANJANG UNTUK MENINGKATKAN PENDAYAGUNAAN IPTEK NUKLIR**

**Falikul Fikri, Dwi Irwanti, Yogi Sugiawan**

*Biro Perencanaan BATAN, Jalan Kuningan Barat, Jakarta Selatan 12710*

*email: fikri@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

**RENCANA INDUK KETENAGANUKLIRAN: KOMITMEN JANGKA PANJANG UNTUK MENINGKATKAN PENDAYAGUNAAN IPTEK NUKLIR.** Meskipun telah berperan aktif dalam mendukung program pembangunan nasional selama lebih dari 60 tahun, peran iptek nuklir dalam mewujudkan keunggulan dan kesejahteraan bangsa dirasa masih belum optimal. Tantangan terbesar dalam meningkatkan pendayagunaan iptek nuklir lebih banyak berasal dari karakteristik iptek nuklir itu sendiri yang bersifat unik dan spesifik yang sering diasosiasikan dengan teknologi baru yang sangat maju, kompleks, dan beresiko tinggi. Sehingga penerimaan sosial terhadap hasil penelitian, pengembangan, perekayasaan, pengkajian, penerapan (litbangjirap) iptek nuklir berada pada tingkatan yang tidak sesuai dengan yang diharapkan. Oleh karena itu, dibutuhkan adanya dukungan regulasi dan komitmen jangka panjang dari pemerintah terkait keberlanjutan kegiatan litbangjirap iptek nuklir dan proses hilirisasinya. Selain itu, kegiatan litbangjirap iptek nuklir di Indonesia harus dilaksanakan selaras dengan kebijakan pembangunan jangka panjang nasional dan kebijakan pembangunan jangka panjang tematik termasuk Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) Tahun 2017-2045, Rencana Induk Pengembangan Industri Nasional (RIPIN) Tahun 2015-2035 dan Kebijakan Energi Nasional untuk menciptakan sinergi antara fokus kegiatan litbangjirap iptek nuklir dengan prioritas pembangunan nasional. Hal tersebut menjadi pertimbangan yang mendasar mengenai pentingnya menyusun sebuah kebijakan perencanaan jangka panjang terkait litbangjirap iptek nuklir dalam bentuk rencana induk ketenaganukliran (RIKN) yang disusun secara komprehensif dengan mempertimbangkan seluruh aspek terkait dalam rangka memberikan kepastian dan jaminan keberlangsungan litbangjirap iptek nuklir yang lebih terarah, berdaya guna dan berhasil guna. Makalah ini bertujuan untuk mengkaji peran strategis RIKN sebagai dokumen perencanaan jangka panjang terutama dalam mendorong terwujudnya industri berbasis iptek nuklir di Indonesia, yang aman, selamat, berkualitas, berdaya saing, dan ramah lingkungan.

Kata kunci: rencana induk ketenaganukliran, jangka panjang, litbangjirap iptek nuklir

### **ABSTRACT**

**MASTER PLAN OF NUCLEAR ENERGY: A LONG-TERM COMMITMENT TO INCREASE THE UTILIZATION OF NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGY IN INDONESIA.** Despite its active involvement in supporting the national development programs for more than sixty years, the role of nuclear science and technology (NST) for promoting the nation's level of excellence and welfare has not been fully acknowledged. The greatest challenge in increasing the utilization of NST comes mainly from its unique and specific characteristics which is usually associated with an advanced, complex and high risk technology. As a result, the degree of social acceptance of NST related products are generally in unfavourable level. Therefore, it is essential to have massive support from the government in terms of regulations and a long-term commitment to ensure the sustainability of research, development and utilization of NST along with the commercialization of its related product. Furthermore, it is also important to regulate the development of NST in Indonesia so that it is carried out in line with the national and thematic long-term development policies, including the 2017-2045 National Research Master Plan (RIRN), the National Industrial Development Master Plan (RIPIN) of the Year 2015-2035 and the National Energy Policy, to ensure the synergy between the main objectives of research, development and utilization of NST with the national development priorities. Those aforementioned issues suggest the necessity to have a comprehensive and inclusive master plan for NST development (RIKN) to guarantee the sustainability of research, development and utilization of NST and to ensure the highest beneficial impacts from NST related activities on increasing the nation's level of excellence and welfare. This paper aims to assess the strategic role of RIKN, as a thematic long-term development policy, particularly in accelerating the realization of a nuclear-based industry in Indonesia, which is safe, secure, high-quality, competitive, and environmental friendly.

Key words: nuclear master plan, long-term, nuclear science and technology R&D

## PENDAHULUAN

Peran iptek dalam pembangunan ekonomi nasional telah tertuang di dalam Rencana Induk Riset Nasional (RIRN) <sup>[1]</sup> Tahun 2017-2045, yang bertujuan untuk menciptakan sinergi perencanaan di sektor riset dengan kebijakan pembangunan nasional, baik itu jangka menengah (RPJMN) maupun jangka panjang (RPJPN), dan mendorong terwujudnya kemandirian bangsa secara sosial dan ekonomi melalui pengembangan invensi dan inovasi di bidang iptek. Hal tersebut merupakan landasan fundamental yang sangat diperlukan dalam upaya untuk mewujudkan Indonesia sebagai negara industri tangguh yang berbasis inovasi dan teknologi, sesuai dengan visi yang tercantum di dalam Rencana Induk Pengembangan Industri Nasional (RIPIN) <sup>[2]</sup> Tahun 2015-2035. Pengembangan iptek nuklir di Indonesia dilaksanakan selaras dengan regulasi dan kebijakan pengembangan iptek yang ada, termasuk RIRN Tahun 2017-2045, RIPIN Tahun 2015-2035 dan Kebijakan Energi Nasional (KEN) <sup>[3]</sup>. Tantangannya, teknologi nuklir memiliki karakteristik yang unik dan spesifik yang sering diasosiasikan dengan teknologi baru yang sangat maju namun beresiko tinggi dan membutuhkan komitmen jangka panjang. Akibatnya, di samping kontribusinya yang cukup signifikan terhadap pembangunan nasional, terutama di bidang energi, pangan, kesehatan, dan sumber daya alam dan lingkungan (SDAL), material maju dan kerecakayaan peralatan serta fasilitas nuklir di Indonesia saat ini dirasa masih belum optimal karena kurangnya dukungan regulasi dan penerimaan masyarakat. Dalam rangka memberikan kepastian dan jaminan keberlangsungan penelitian, pengembangan, pengkajian, penerapan (litbangjirap) iptek nuklir yang lebih terarah, berdaya guna dan berhasil guna diperlukan rencana induk ketenaganukliran (RIKN) yang komprehensif dengan mempertimbangkan seluruh aspek terkait, sebagai acuan terwujudnya industri berbasis nuklir di Indonesia, yang aman, selamat, berkualitas, berdaya saing, dan ramah lingkungan.

Tujuan penyusunan makalah ini adalah untuk mengkaji peran strategis RIKN sebagai dokumen perencanaan jangka panjang terutama dalam mendorong terwujudnya industri berbasis iptek nuklir di Indonesia, yang aman, selamat, berkualitas, berdaya saing, dan ramah lingkungan. Dari hasil kajian ini diharapkan dapat mendorong terwujudnya sistem perencanaan litbangjirap iptek nuklir yang lebih terarah dan berkualitas yang pada akhirnya akan menghasilkan output yang lebih berdaya guna dan berhasil guna sesuai dengan kebutuhan para pemangku kebijakan kunci.

## TEORI PERENCANAAN

Perencanaan <sup>[4]</sup> bukanlah sekedar menyusun apa yang akan kita kerjakan/lakukan besok, tetapi Perencanaan adalah proses menentukan apa yang akan kita capai besok, yang kemudian baru diikuti dengan apa yang akan kita kerjakan/lakukan untuk mencapainya. Perencanaan <sup>[5]</sup> adalah salah satu fungsi dari manajemen yang paling penting dimana di dalamnya terdapat aktivitas mendefinisikan tujuan organisasi, membuat strategi, serta mengembangkan rencana kerja organisasi. Manfaat Perencanaan <sup>[6]</sup> adalah sebagai penuntun arah, minimalisasi ketidakpastian, minimalisasi inefisiensi sumberdaya, penetapan standar dan pengawasan kualitas



Gambar 1: Piramida Perencanaan

### Jenis-Jenis Perencanaan:

Secara umum, perencanaan dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu berdasarkan ruang lingkupnya, berdasarkan tingkatannya, dan berdasarkan jangka waktunya. Adapun penjelasan jenis-jenis perencanaan adalah sebagai berikut:

1. Perencanaan Berdasarkan Ruang Lingkup
  - Rencana strategis (*strategic planning*), yaitu perencanaan yang di dalamnya terdapat uraian mengenai kebijakan jangka panjang dan waktu pelaksanaan yang lama. Umumnya jenis perencanaan seperti ini sangat sulit untuk diubah.
  - Rencana taktis (*tactical planning*), yaitu perencanaan yang di dalamnya terdapat uraian tentang kebijakan yang bersifat jangka pendek, mudah disesuaikan aktivitasnya selama tujuannya masih sama.
  - Rencana terintegrasi (*integrated planning*), yaitu perencanaan yang di dalamnya terdapat penjelasan secara menyeluruh dan sifatnya terpadu.
2. Perencanaan Berdasarkan Tingkatan
  - Rencana induk (*master plan*), yaitu perencanaan yang fokus kepada kebijakan organisasi dimana di dalamnya terdapat tujuan jangka panjang dan ruang lingkupnya luas.
  - Rencana operasional (*operational planning*), yaitu perencanaan yang fokus kepada pedoman atau petunjuk pelaksanaan program-program organisasi.
  - Rencana harian (*day to day planning*), yaitu perencanaan yang di dalamnya terdapat aktivitas harian yang bersifat rutin.
3. Perencanaan Berdasarkan Jangka Waktu
  - Rencana jangka panjang (*long term planning*), yaitu perencanaan yang dibuat dan berlaku untuk jangka waktu 10 – 25 tahun.
  - Rencana jangka menengah (*medium range planning*), yaitu perencanaan yang dibuat dan berlaku untuk jangka waktu 5 – 7 tahun.
  - Rencana jangka pendek (*short range planning*), yaitu perencanaan yang dibuat dan hanya berlaku selama kurang lebih 1 tahun.

### METODOLOGI

Metodologi penyusunan makalah ini menggunakan metode deskriptif kualitatif [7]. Dengan metode dan pendekatan ini diharapkan dapat menggambarkan berbagai permasalahan secara utuh dan menyeluruh tentang suatu masalah yang berkembang, sehingga hasil analisis permasalahannya dapat dipergunakan sebagai landasan untuk menentukan pentingnya disusunnya RIKN yang selaras dengan kebijakan perkembangan iptek saat ini dan bersinergi dengan perencanaan di sektor riset serta kebijakan pembangunan nasional jangka panjang.

Pengolahan data menggunakan data sekunder yang terdiri atas bahan hukum primer yang berupa peraturan perundang-undangan yang berkaitan perencanaan di sektor riset dan kebijakan energi nuklir serta bahan hukum tersier yang berupa hasil-hasil penelitian, pengkajian, referensi lainnya, dan data hasil diskusi (*focus group discussion*).

Kerangka logik pemikiran dalam penelitian dijabarkan pada bagan alir gambar 2.



Gambar 2 alur pikir kajian

### HASIL DAN PEMBAHASAN

RIKN merupakan instrumen kebijakan jangka panjang terkait litbangjirap iptek nuklir untuk kurun waktu 2020-2025 telah melewati proses kajian sejak tahun 2015 dimulai dari kajian hukum dilanjutkan di tahun 2016 konsepsi dasar rencana induk, tahun 2017 naskah akademik 1, tahun 2018 naskah akademik 2 menjadi bahan dalam pembuatan rencana induk ketenaganukliran 2020-2024 tercantum pada gambar 3.



Gambar 3. Proses Dokumen RIKN sejak tahun 2015-2019

RIKN yang berisi arah kebijakan jangka panjang ditetapkan dengan peraturan Kepala BATAN menjadi bahan acuan pengembangan iptek nuklir tahun 2020-2025. Penjelasan RIKN diilustrasikan pada gambar 4.



Gambar 4. RIKN ditetapkan dengan Peraturan Kepala BATAN

Salah satu modal utama yang dibutuhkan dalam kegiatan litbangjirap iptek nuklir dan hilirisasi produk hasil litbangjirap iptek nuklir adalah dukungan organisasi dan kelembagaan iptek nuklir yang unggul dan inovatif. Dengan adanya sistem kelembagaan yang dimaksud, kegiatan litbang iptek nuklir akan menjadi lebih terarah, terjamin mutu dan keamanannya serta bermanfaat bagi kesejahteraan masyarakat, pada umumnya, dan kemandirian industri nasional, pada khususnya menjadi *positioning* BATAN hadir ditengah masyarakat.

Kelembagaan iptek nuklir memiliki peran terutama sebagai institusi penghubung (hub institution) antara dunia riset, masyarakat, dan dunia industri yang bertanggung jawab untuk memastikan diperolehnya produk hasil litbang iptek nuklir berkualitas tinggi yang terjamin aspek keselamatan dan keamanannya. Proses menggiring hasil litbangjirap kepada industri agar pemanfaatan iptek nuklir semakin banyak dirasakan oleh masyarakat memerlukan

kerja sama antara pemerintah dengan swasta (pemerintah, perguruan tinggi, industri dan komunitas masyarakat).



Gambar 5. Positioning BATAN

Kelembagaan iptek nuklir yang unggul dan inovatif dapat mendorong efektivitas pelaksanaan litbangjirap iptek nuklir. Dengan dukungan kelembagaan yang tepat ukuran, tepat fungsi dan tepat proses diharapkan akan mendorong efektivitas kelembagaan yang sejalan dengan arah RIRN. Adapun urgensi kerangka kelembagaan dalam dokumen ini adalah mengarahkan penataan organisasi litbang iptek nuklir agar hadir di tengah-tengah masyarakat dan fungsi BATAN yang akan dicapai tampak pada gambar 6, sebagai berikut:



Gambar 6. Fungsi BATAN

*Technology provider* adalah kemampuan lembaga riset (*research institute*) maupun perguruan tinggi sebagai penyedia teknologi dan infrastruktur teknologi berbasis nuklir yang dapat dimanfaatkan baik itu secara langsung maupun tidak langsung untuk menjawab dan mengatasi permasalahan pembangunan nasional terutama di bidang energi, pangan, kesehatan, SDAL dan material maju. Peran kelembagaan iptek nuklir sebagai sebuah *technology provider* tidak hanya dibatasi dalam lingkup domestik saja, akan tetapi juga dalam konteks internasional. Indonesia saat ini telah berperan aktif sebagai nuclear technology provider untuk membantu negara-negara berkembang dalam menerapkan teknologi nuklir, terutama di bidang pertanian, melalui kerjasama selatan-selatan (*south-south cooperation*) di bawah payung IAEA.

*Technical Support Organization (TSO)* merupakan fungsi kelembagaan iptek nuklir sebagai penyedia dukungan teknis terkait desain, penyiapan infrastruktur, pembangunan, pengoperasian, pemeliharaan dan pendayagunaan fasilitas nuklir dan fasilitas radiasi serta dalam pemanfaatan dan pendayagunaan hasil litbangjirap iptek nuklir. Selain itu, TSO juga dapat berperan dalam memberikan layanan konsultasi untuk menjawab segala permasalahan terkait teknologi nuklir, termasuk menyediakan bantuan teknis bagi pihak-pihak yang ingin mengembangkan teknologi nuklir di Indonesia..

*Clearing House* Teknologi Nuklir (CHTN) merupakan fungsi kelembagaan iptek nuklir dalam melakukan kajian dan memberikan rekomendasi terhadap produk dan teknologi nuklir, pemberian sertifikasi personel, produk, proses dan sistem manajemen, penyediaan data/informasi keahlian, produk, dan teknologi nuklir. CHTN dibentuk untuk memberikan perlindungan kepada masyarakat dan lingkungan terkait pemanfaatan produk dan/atau teknologi nuklir, karena pemanfaatan tenaga nuklir harus memenuhi ketentuan keselamatan, keamanan, dan garda aman. Pemanfaatan tenaga nuklir yang dimaksud meliputi: pertambangan, mineral radioaktif, kegiatan produksi, distribusi, ekspor, impor, pengalihan dan pengangkutan. Selain itu, CHTN juga mempunyai fungsi sebagai pusat acuan dalam pemanfaatan produk, teknologi, proses dan sistem manajemen serta personel.

*Promoting body* merupakan fungsi kelembagaan iptek nuklir untuk melakukan promosi dan diseminasi hasil litbangjirap iptek nuklir untuk meningkatkan penerapan, penguasaan dan pemanfaatan teknologi nuklir oleh masyarakat dan komunitas bisnis. Meskipun tidak bersifat teknis, *promoting body* memiliki peran yang sangat strategis terutama dalam mendorong dan mempercepat proses hilirisasi hasil litbangjirap iptek nuklir dan memacu peningkatan kesejahteraan masyarakat melalui pemanfaatan hasil litbangjirap iptek nuklir.

*Regulatory body* merupakan badan yang memberikan otorisasi terhadap setiap kegiatan pemanfaatan ketenaganukliran. Badan Pengawas melakukan pembinaan berupa bimbingan dan penyuluhan mengenai pelaksanaan upaya yang menyangkut keselamatan dan kesehatan pekerja, dan anggota masyarakat serta perlingungan terhadap lingkungan hidup. Pengawasan ketenaganukliran dilaksanakan dengan menerapkan prinsip keselamatan dan keamanan.

*National security infrastructure*, kegiatan litbangjirap iptek nuklir memerlukan otoritas yang kompeten dalam kaitannya dengan peran dan tanggung jawab masing-masing untuk pelaksanaan sistem keamanan nuklir secara aman. Infrastruktur keamanan nasional terkait iptek nuklir diterapkan melalui sebuah mekanisme koordinasi nasional terkait yang berfungsi untuk mengidentifikasi dan menetapkan tanggung jawab kepada lembaga-lembaga yang mengelola sistem keamanan nuklir untuk melakukan koordinasi dan kerjasama, dan menerapkan sistem dan tindakan keamanan nuklir melalui infrastruktur tersebut.

*Education and training institute*, dukungan SDM yang berkualitas merupakan salah satu faktor utama yang akan menentukan kualitas dan keunggulan hasil litbangjirap iptek nuklir. Oleh karena itu, kelembagaan iptek nuklir harus memiliki peran sebagai penyedia layanan pendidikan dan pelatihan terkait kompetensi utama iptek nuklir guna menjamin keberlanjutan kegiatan litbangjirap iptek nuklir di Indonesia. Selain itu, layanan pendidikan dan pelatihan kompetensi iptek nuklir juga memegang peranan penting dalam penyediaan SDM iptek nuklir terampil untuk memenuhi permintaan dunia industri.

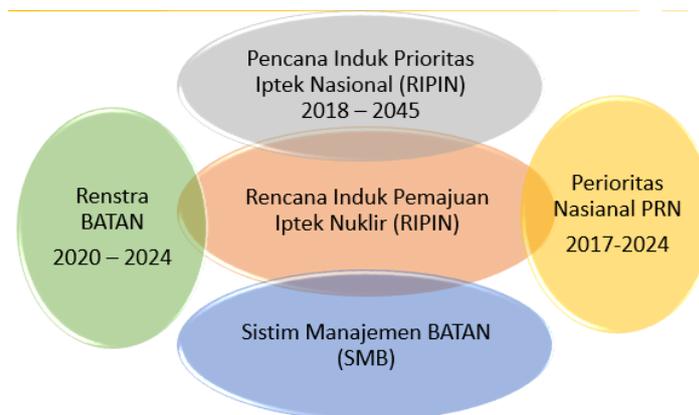
Penguatan fungsi-fungsi tersebut di atas juga harus diikuti dengan peningkatan sinergi, koordinasi dan kolaborasi antara fungsi-fungsi tersebut, sehingga keberadaannya akan saling memperkuat, bukan malah saling melemahkan, kinerja dari komunitas iptek nuklir secara keseluruhan. Selain itu, ego sektoral dari masing-masing fungsi tersebut di atas perlu untuk dihilangkan karena kinerja komunitas iptek nuklir tidak hanya bergantung dari kinerja satu fungsi saja, melainkan resultan kinerja dari keseluruhan fungsi yang ada.

Kinerja dari komunitas iptek nuklir akan sangat dipengaruhi oleh kondisi dari faktor eksternal. Sementara itu, faktor lingkungan eksternal dapat dibedakan menjadi tiga kelompok utama yaitu pengguna (end user), yaitu semua pihak yang memiliki potensi untuk menerima manfaat dari produk hasil litbangjirap iptek nuklir; komunitas non-iptek nuklir, yaitu pihak lain yang menawarkan teknologi alternatif selain iptek nuklir; dan komunitas bisnis, yaitu kelompok yang memegang peranan penting dalam mengantarkan hasil litbangjirap iptek nuklir ke end user melalui proses scale up dan produksi masal, diilustrasikan pada gambar 7.



Gambar 7. Pemangku Kepentingan BATAN

Dokumen RIKN dalam merumuskan kebijakan litbangjirap harus memperhatikan kebijakan litbangjirap iptek nuklir yang tertuang di dalam RIRN, RIPIN dan KEN dan memperhatikan penguatan fungsi BATAN secara keseluruhan sehingga dapat menjadi pelengkap atas dokumen perencanaan jangka panjang tematik tersebut dengan lebih menitikberatkan pada hilirisasi dan industrialisasi litbangjirap iptek nuklir menyelaraskan regulasi dan kebijakan sektor riset serta pembangunan nasional seperti diilustrasikan posisi BATAN pada gambar 7.



Gambar 7. Posisi status BATAN dengan kebijakan sektor riset

Dengan adanya kerangka kebijakan strategis litbang iptek nuklir di jangka panjang, maka akan diperoleh gambaran mengenai posisi strategis iptek nuklir dimana iptek nuklir dapat menunjukkan keunggulannya baik itu secara kompetitif maupun komparatif tentunya melibatkan lingkungan eksternal para pemangku kepentingan.

## KESIMPULAN

Kinerja, pengakuan dan kemanfaatan dari hasil litbangjirap iptek nuklir di Indonesia harus dinilai berdasarkan seberapa besar sumbangsih iptek nuklir terhadap peningkatan kesejahteraan masyarakat, baik itu yang bersifat tangible maupun intangible. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kinerja, pengakuan dan kemanfaatan dari hasil litbangjirap iptek nuklir, dibutuhkan sebuah dokumen kebijakan jangka panjang terkait iptek nuklir yang akan memberikan arah dan gambaran mengenai potensi yang dimiliki komunitas nuklir saat ini dan peluang pemanfaatannya di masa yang akan datang dengan memperhatikan kondisi dinamis dari lingkungan eksternalnya. RIKN disusun sebagai dokumen kebijakan jangka panjang tematik iptek nuklir yang akan digunakan sebagai acuan dalam menyusun

perencanaan, baik itu di jangka panjang maupun jangka menengah, yang berorientasi pada hasil yang berdaya guna bagi masyarakat. Akan tetapi, perlu digarisbawahi bahwa agar tujuan jangka panjang pengembangan iptek nuklir yang tertuang dalam RIKN dapat tercapai dengan baik, perlu adanya komitmen jangka panjang dari para pelaku dan pemangku kebijakan kunci.

#### **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala Biro Perencanaan Bapak Ir. Ferly Hermansyah, MM dan Kepala Bagian Perencanaan Program Bapak M. Busthomi, S.Si yang telah mengizinkan untuk melakukan kajian ini. Selain itu penulis juga ingin mengucapkan terima kasih rekan-rekan di Bagian Perencanaan Program atas segala bantuan, motivasi serta dukungan, hingga selesainya makalah ini..

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Peraturan Presiden No 38 tahun 2018 Tentang Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017-2045
- [2] Peraturan Pemerintah Nomor 14 tahun 2015 Tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional Tahun 2015-2035
- [3] Peraturan Pemerintah Nomor 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional
- [4] Susanto, Nurhadi, Materi pelatihan MAP UGM: Kerangka Regulasi dan Kelembagaan Dalam Renstra K/L. Magister Administrasi Publik UGM, Yogyakarta (2018).
- [5] Internet: <https://www.maxmanroe.com/vid/manajemen/pengertian-perencanaan.html>, pengertian perencanaan.M.Prawiro.
- [6] Wheelen, T.L. and Hunger, D.J., *Strategic management and business policy: Achieving sustainability*, 12th Edition, New Jersey: Prentice – Hall. (2010).
- [7] Sugiyono, "Metode Penelitian Kombinasi (*Mixed Methods*)", cetakan pertama, Alfabeta, Bandung (2011)

#### **DISKUSI/TANYA JAWAB:**

##### **1. PERTANYAAN (Catur Febriyanto S.-BAPETEN):**

Apakah rencana induk ini sejalan dengan 9 aspek dimana BATAN dapat terlibat di Riset?

##### **JAWABAN:**

Benar. Penyusunan Rencana Induk Ketenaganukliran juga mengacu pada RIRN ada 9 Fokus Bidang 1. Energi 2. Pangan 3. Kesehatan 4. SDAL 5. Material Maju 6. Kerekayasaan Peralatan dan Fasilitas Nuklir 7. Kemaritiman 8. Keselamatan dan Keamanan Radiasi 9. TIK

## IDENTIFIKASI PARA PEMANGKU KEPENTINGAN YANG TERLIBAT DALAM RENCANA PEMBANGUNAN PLTN DI KALIMANTAN BARAT

Dharu Dewi, Wiku Lulus Widodo, Imam Bastori

PKSEN - BATAN, Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta, 12710

email: dharu\_dewi@batan.go.id

### ABSTRAK

**IDENTIFIKASI PARA PEMANGKU KEPENTINGAN YANG TERLIBAT DALAM RENCANA PEMBANGUNAN PLTN DI KALIMANTAN BARAT.** Pemerintah provinsi Kalimantan Barat (Kalbar) merencanakan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) berperan dalam bauran energi di Kalbar untuk memenuhi kebutuhan energi bagi masyarakat, dan pengembangan industri di wilayahnya. Keterlibatan pemangku kepentingan sangat berpengaruh terhadap keberhasilan program pembangunan PLTN tersebut. Tujuan studi adalah mengidentifikasi para pemangku kepentingan yang terlibat dalam rencana pembangunan PLTN di Provinsi Kalbar. Metodologi studi adalah kajian literatur dengan menggunakan dokumen panduan Badan Tenaga Atom International/*International Atomic Energy Agency (IAEA)* dan penelusuran melalui internet tentang organisasi atau institusi nasional yang terkait dengan tugas pokok dan fungsi para pemangku kepentingan. Dari hasil studi, identifikasi pemangku kepentingan dapat dikelompokkan dalam 5 (lima) kelompok yakni kelompok penggerak (*driving group*), kelompok pengambil keputusan politik (*political decision maker group*), kelompok pendukung keteknikan (*technical support*), kelompok pembuat opini (*opinion maker group*), dan kelompok sosial dan lembaga pendukung (*social and institution group*). Kelompok penggerak meliputi instansi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), BATAN, BAPPENAS, Kementerian Keuangan, Kementerian Perindustrian, Kementerian BUMN, PT. PLN (Persero), Dewan Energi Nasional (DEN), Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti), dan pemerintah daerah provinsi Kalimantan Barat. Kelompok pengambil keputusan politik meliputi Presiden, DPR, dan partai politik. Kelompok pendukung keteknikan meliputi kontraktor, asosiasi profesi keteknikan, BAPETEN, KLH, dan Kementerian PUPR. Kelompok pemerhati dan pembuat opini meliputi wartawan, media massa, pemerhati lingkungan dan pemerhati teknologi. Kelompok sosial dan lembaga pendukung meliputi Nadhatul Ulama, Muhammadiyah, Kementerian Dalam Negeri (KEMENDAGRI), Kementerian Luar Negeri (KEMLU), Kepolisian Republik Indonesia (POLRI), Tentara Nasional Indonesia (TNI), dan tokoh Masyarakat. Semua organisasi atau institusi yang terlibat tersebut sangat berpengaruh terhadap keberhasilan program pembangunan PLTN di Provinsi Kalbar.

Kata kunci: identifikasi, pemangku kepentingan, pembangunan, PLTN

### ABSTRACT

**IDENTIFICATION OF STAKEHOLDER WHICH CAN INVOLVED IN THE NUCLEAR POWER PLANT CONSTRUCTION PLANNING IN THE WEST KALIMANTAN.** The provincial government of Kalimantan Barat (Kalbar) has plans to build a Nuclear Power Plant (PLTN) to meet the energy needs of the community, and the development of industries in the region. The involvement of stakeholders is very influential in making decisions on the success of the NPP development program. The aim of the study is to identify the stakeholders involved in the PLTN development plan in West Kalimantan Province. The methodology of study is a literature review using the International Atomic Energy Agency (IAEA) guidance document and internet searching of national organizations or institutions related to the main duties and functions of the stakeholders. From the results of the study, stakeholder identification can be grouped into 5 (five) groups, namely the driving group, political decision maker group, technical support group, opinion maker group, and social groups and supporting institutions (social and institution groups). Activists include the Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM), BATAN, BAPPENAS, the Ministry of Finance, the Ministry of Industry, the Ministry of BUMN, PT. PLN (Persero), National Energy Board (DEN), Ministry of Research, Technology and Higher Education (Kemenristekdikti), and the regional government of West Kalimantan province. Political decision-making groups include the President, Parliament and political parties. Engineering support groups include

contractors, engineering professional associations, BAPETEN, KLH, and the Ministry of PUPR. Observer groups and opinion makers include journalists, mass media, environmentalists, technology observers. Social groups and supporting institutions include Nadhatul Ulama, Muhammadiyah, Ministry of Home Affairs (KEMENDAGRI), Ministry of Foreign Affairs (KEMLU), Indonesian National Police (POLRI), Indonesian National Army (TNI), and Community leaders. All organizations or institutions involved are very influential on the success of the nuclear power plant development program in West Kalimantan Province.

Keywords: identification, stakeholder, construction, Nuclear Power Plant

## PENDAHULUAN

Pemerintah di berbagai negara melakukan tinjauan terhadap kebijakan energi untuk mengakomodasi adanya penggunaan sumber energi terbarukan sebagai tanggapan terhadap komitmen internasional untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Sumber energi lain yang digunakan yaitu sumber energi nuklir [1]. Sumber energi nuklir dalam hal ini PLTN merupakan salah satu sumber energi yang direncanakan oleh pemerintah daerah provinsi Kalimantan Barat dengan kapasitas 2 x 100 MWe masuk dalam Rencana Umum Energi Daerah (RUED). Para pemangku kepentingan diharapkan dapat mempengaruhi masyarakat untuk keberhasilan perencanaan program PLTN. Oleh karena itu dibutuhkan konsultasi dan koordinasi dari para pemangku kepentingan yang merupakan bagian penting dari berbagai program energi yang dibutuhkan [2].

Badan Tenaga Nuklir Internasional (IAEA) telah menyusun pedoman dalam bentuk petunjuk teknis yang menjelaskan tentang infrastruktur dan pagu-pagu penting (*milestone*) untuk proyek pembangunan PLTN. Pedoman tersebut disusun berdasarkan pengalaman dari berbagai negara yang telah memiliki pengalaman dalam menjalankan proyek PLTN. Infrastruktur PLTN terdiri dari 19 infrastruktur. Salah satu dari 19 infrastruktur tersebut adalah keterlibatan pemangku kepentingan. Keterlibatan pemangku kepentingan sangat diperlukan dan sangat berpengaruh di dalam pengambilan keputusan untuk program pembangunan PLTN di Indonesia. Dialog terbuka diantara para pemangku kepentingan merupakan salah satu strategi dan tindakan yang efektif untuk meningkatkan pengaruh pada masyarakat terhadap pengambilan keputusan untuk meningkatkan penerimaan masyarakat terhadap "Go Nuklir". Sejumlah pemangku kepentingan dapat menimbulkan risiko reaksi masyarakat yang negatif terhadap teknologi energi [3]. Oleh karena itu teknologi energi nuklir atau PLTN tidak lagi hanya menjadi tugas BATAN untuk mempromosikan pemanfaatan energi nuklir, tetapi sebaiknya juga dapat dibantu oleh beberapa institusi yang terlibat sebagai para pemangku kepentingan sehingga pemanfaatan energi nuklir dapat diterapkan untuk memenuhi kebutuhan energi jangka panjang demi keberlangsungan ketahanan energi di Indonesia dan keberlanjutan pembangunan nasional di seluruh aspek.

Tujuan makalah ini adalah mengidentifikasi para pemangku kepentingan yang terlibat dalam rencana pembangunan PLTN di Provinsi Kalbar. Diharapkan dengan adanya keterlibatan pemangku kepentingan dalam memberikan keputusan dan strategi untuk mencapai sasaran peningkatan tanggapan publik yang positif terhadap PLTN, akan memperlancar proses dukungan terhadap PLTN sebagai solusi dalam pemenuhan energi di Provinsi Kalimantan Barat di masa mendatang.

## TEORI/POKOK BAHASAN

Pemangku kepentingan secara luas didefinisikan sebagai setiap orang yang berdampak oleh suatu kegiatan apakah secara fisik maupun secara emosional. Berdasarkan dokumen *handbook* IAEA, definisi para pemangku kepentingan adalah mencakup industri atau profesional, badan ilmiah, lembaga pemerintah (lokal, regional dan nasional), media; publik (individu, kelompok masyarakat, dan kelompok kepentingan); dan negara - negara lain (terutama negara tetangga yang telah menandatangani perjanjian untuk pertukaran mata uang asing) [4,5]. Menurut OECD/NEA, definisi para pemangku kepentingan adalah setiap aktor-institusi, kelompok atau individu yang memiliki minat atau peran untuk bermain atau terlibat dalam proses pengambilan keputusan masyarakat [5,6]. Langkah utama dalam menjalankan program kemitraan untuk para pemangku kepentingan yang efektif adalah identifikasi yang tepat dan terencana untuk menerapkan strategi yang tepat sehingga pemangku kepentingan dapat mempengaruhi masyarakat secara positif untuk mendukung program pembangunan PLTN agar berhasil dengan sukses. Hal ini membutuhkan

pendekatan komprehensif untuk mengidentifikasi dan memahami posisi para pemangku kepentingan dalam suatu organisasi terkait kepentingan yang mempengaruhi mereka.

## **METODOLOGI**

Metodologi yang digunakan adalah kajian literatur dengan menggunakan dokumen panduan Badan Tenaga Atom International/*International Atomic Energy Agency (IAEA)* dan penelusuran melalui internet tentang organisasi atau institusi nasional yang terkait dengan tugas pokok dan fungsi para pemangku kepentingan untuk keberhasilan program pembangunan PLTN di Kalimantan Barat.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Tingkat atau level pemangku kepentingan yang berbeda dalam suatu institusi atau organisasi akan memberikan teknik atau strategi yang berbeda dalam pelaksanaan kegiatan program pembangunan PLTN di Kalimantan Barat. Prell et al mengatakan bahwa untuk mengidentifikasi para pemangku kepentingan, maka hal penting yang pertama dilakukan adalah mendefinisikan aspek dari suatu organisasi, permasalahan dan isu yang sedang dikaji]. Tujuannya adalah mengidentifikasi dan membuat kategori atau pengelompokan para pemangku kepentingan yang dapat mempengaruhi suatu organisasi serta siapa saja yang dapat menyebabkan perubahan terjadi [7]. Oleh karena itu, keterlibatan para pemangku kepentingan hendaknya sesuai dengan tugas pokok dan fungsi dari institusi pemangku kepentingan. Teknik atau strategi ini dapat secara signifikan memperkuat pemangku kepentingan dalam proses pembuatan keputusan. Pengambil keputusan harus sadar bahwa pemangku kepentingan memiliki keinginan dan harapan untuk tingkat keterlibatan yang spesifik. Diskusi awal, kontak dengan atau pengamatan kelompok pemangku kepentingan dan juga tinjauan terhadap persyaratan undang-undang akan membantu menentukan tingkatan keterlibatan yang sesuai. Berapa banyak organisasi para pemangku kepentingan yang dapat terlibat harus didefinisikan secara jelas. Hal ini kemudian dikomunikasikan dan dikoordinasikan secara jelas kepada para pemangku kepentingan.

Kejelasan terhadap tingkat keterlibatan pemangku kepentingan yang diharapkan adalah dengan melakukan konsultasi. Hal tersebut penting untuk mengetahui kejelasan isu apa yang dapat mempengaruhi. Dasar untuk membuat keputusan harus jelas. Sangat penting adanya kejelasan tentang informasi dan umpan balik yang disediakan oleh pembuat keputusan. Masyarakat ingin melihat bahwa pemangku kepentingan dapat mempengaruhi proses dan mempunyai dampak yang berarti pada *outcome*.

Dalam program PLTN, deskripsi identifikasi pemangku kepentingan dapat dikelompokkan dalam beberapa kelompok pemangku kepentingan yang terlibat dalam Program PLTN. Pengelompokan pemangku kepentingan dapat dibedakan dalam beberapa kelompok yakni kelompok penggerak (*driving group*), kelompok pengambil keputusan politik (*political decision maker group*), kelompok pendukung keteknikan (*technical support*), kelompok pembuat opini (*opinion maker group*), dan kelompok sosial dan lembaga pendukung (*social and institution group*). Masing – masing kelompok memiliki tugas pokok dan fungsi sebagai pemangku kepentingan yang sangat memiliki andil besar dalam keberhasilan program PLTN di Provinsi Kalimantan Barat. Adapun kelompok – kelompok tersebut dapat diuraikan secara rinci sebagai berikut.

### **1. Kelompok Penggerak (*Driving Group*)**

#### **1.1. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (Kementerian ESDM)**

Kementerian ESDM adalah badan pemerintah yang memiliki tugas pokok dan fungsi untuk perumusan, pembuatan dan pelaksanaan kebijakan energi, penyusunan norma, standar, prosedur dan kriteria, pemberian bimbingan teknis dan supervisi, pengendalian dan pengawasan di bidang penyiapan program ketenagalistrikan [8]. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan serta Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi merupakan dua direktorat dibawah Kementerian ESDM yang memiliki peran penting didalam perumusan dan pembuatan keputusan kebijakan energi nuklir dan menjalankan program PLTN.

#### **1.2. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)**

Tugas pokok BATAN sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 46 Tahun 2013, yakni BATAN sebagai lembaga pemerintah yang diberi amanat untuk melaksanakan penelitian, pengembangan dan pendayagunaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir dengan

mengutamakan persyaratan keselamatan, keamanan dan kehandalan khususnya untuk pembangunan PLTN [9]. BATAN diharapkan dapat sebagai pemicu untuk mendorong pemerintah dalam hal ini Presiden untuk segera Go Nuklir.

### **1.3. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS)/Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (PPN)**

BAPPENAS memiliki tugas dan fungsi dalam penyusunan rencana pembangunan nasional, penyusunan rancangan anggaran pendapatan dan belanja negara, serta pengendalian dan evaluasi terhadap pelaksanaan rencana pembangunan [10]. Untuk program PLTN, BAPPENAS mempunyai tugas menyusun anggaran untuk program pembangunan PLTN.

### **1.4. Kementerian Keuangan (KEMENKEU)**

Kementerian Keuangan mempunyai tugas dan fungsi dalam penyusunan, penetapan dan pelaksanaan kebijakan di bidang penganggaran dan pengelolaan pembiayaan dan risiko [11]. Untuk program PLTN, Kementerian Keuangan mempunyai tugas penyusunan dan pelaksanaan penganggaran dan pengelolaan pembiayaan untuk program PLTN.

### **1.5. Kementerian Perindustrian (KEMENPERIN)**

Kementerian Perindustrian memiliki tugas dan fungsi menyiapkan perumusan, penetapan, dan pelaksanaan kebijakan di bidang perindustrian [12]. Berdasarkan Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 54/M-IND/PER/3/2012 tentang Pedoman Penggunaan Produk Dalam Negeri untuk Pembangunan Infrastruktur Ketenagalistrikan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) [13], Pada peraturan menteri ini, penentuan tingkat komponen dalam negeri / kandungan lokal untuk produk dalam negeri PLTN belum ditentukan sampai saat ini.

### **1.6. Kementerian Badan Usaha Milik Negara (Kementerian BUMN)**

Kementerian BUMN sebagai badan usaha pemerintah yang terdiri dari sekitar 115 perusahaan BUMN yang memiliki kegiatan sebagai jasa keuangan/perbankan, jasa konstruksi, jasa asuransi, bidang kesehatan, dan lain - lain yang dalam hal terkait dengan program PLTN dapat berperan sebagai investor, pemilik, atau operator. Kementerian BUMN ini dalam kaitannya dengan program PLTN adalah dapat berperan dalam melaksanakan pengkajian manajemen risiko, peningkatan daya saing serta mencari peluang bisnis baru. Direktorat yang memiliki potensi terkait dengan program PLTN adalah [14]:

- Deputi Bidang Usaha Energi, Logistik, Kawasan dan Parawisata
- Deputi Bidang Usaha Pertambangan, Industri Strategis dan Media
- Deputi Bidang Usaha Konstruksi dan Sarana dan Prasarana Perhubungan

### **1.7. PT. PLN**

PT. PLN sebagai badan usaha pemerintah mempunyai tugas pokok dan fungsi melaksanakan usaha penyediaan tenaga listrik bagi kepentingan masyarakat umum dan melaksanakan penugasan di bidang ketenagalistrikan untuk menunjang pembangunan. Dalam hal program PLTN, PT. PLN dapat menjadi pemilik/operator/ owner PLTN di Indonesia.

### **1.8. Dewan Energi Nasional (DEN)**

Dewan Energi Nasional mempunyai tugas merancang dan merumuskan Kebijakan Energi Nasional (KEN) untuk ditetapkan oleh pemerintah dengan persetujuan DPR. Tugas lainnya adalah menetapkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) [15]. Oleh karena itu Dewan Energi Nasional selain memiliki peran penting dalam merumuskan kebijakan energi nasional juga tentunya memiliki peran juga untuk melakukan kajian dan merumuskan kebijakan energi nuklir.

### **1.9. Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti)**

Kemenristekdikti mempunya tugas dan fungsinya meningkatkan kualitas dan kualitas pendidikan tinggi dan meningkatkan kemampuan iptek dan inovasi teknologi untuk keunggulan daya saing bangsa [16]. Dalam kaitannya dengan program PLTN,

Kemenristekdikti memiliki peran dalam kajian teknologi PLTN dan memberikan pertimbangan keteknikan untuk program PLTN.

#### **1.10. Pemerintah Provinsi & BAPPEDA**

Pemerintah provinsi mempunyai tugas dan wewenang melaksanakan pembinaan, pengawasan dan koordinasi penyelenggaraan pemerintahan daerah. Pemerintah Provinsi juga menyiapkan penataan tata ruang diwilayahnya. Terkait dengan program PLTN, Pemerintah Provinsi memiliki tugas menyiapkan tapak PLTN di daerahnya serta menyiapkan perencanaan tata ruang dan wilayah (RTRW) untuk program PLTN. Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) yang merupakan bagian dari Pemerintah Provinsi juga mempunyai tugas membantu Gubernur (Pemprov) dalam menyelenggarakan sebagian tugas umum pemerintahan dan pembangunan di bidang koordinasi perencanaan dan penyusunan Rencana Kerja Pemerintah Jangka Panjang, Penetapan Plafon Anggaran Sementara (PPAS), serta penyusunan Kebijakan Umum Anggaran (KUA) [17]. Dalam melaksanakan tugasnya, BAPPEDA menyelenggarakan fungsi penyusunan rencana pembangunan jangka panjang (RPJP) Provinsi dan rencana pembangunan jangka menengah daerah (RPJMD) Provinsi; penyusunan rencana kerja pemerintah daerah (RKPD) Provinsi dan penyusunan program tahunan. Dalam kaitannya dengan program PLTN, BAPPEDA seperti halnya Pemerintah Provinsi berkoordinasi dalam menyusun rencana Tata Ruang (RTRW) untuk Program PLTN di daerah.

### **2. Kelompok Pengambil Keputusan Politik (*Political Decision Maker*):**

#### **2.1. Presiden**

Presiden memiliki tugas dan fungsi sebagai Kepala Negara yang mengendalikan jalannya pemerintahan. Presiden mengambil keputusan untuk program Pembangunan PLTN. Sesuai dengan UU ketenaganukliran no 10 tahun 1997 bahwa program pembangunan PLTN ditetapkan oleh pemerintah/presiden [18] .

#### **2.2. Dewan Perwakilan Rakyat (DPR)**

DPR adalah salah satu lembaga tinggi negara dalam sistem ketatanegaraan Indonesia yang merupakan lembaga perwakilan rakyat. DPR terdiri atas anggota partai politik peserta pemilihan umum yang dipilih melalui pemilihan umum. Tugas anggota DPR adalah menyusun dan membahas Rancangan Undang – Undang (RUU) yang diusulkan oleh Presiden ataupun DPD dan memberikan persetujuan atas RUU tentang APBN yang yang diajukan Presiden [19]. Untuk program PLTN, DPR sebagai wakil rakyat mempunyai tugas memberikan persetujuan untuk pembangunan PLTN. Sesuai dengan UU ketenaganukliran no 10 tahun 1997 bahwa program pembangunan PLTN harus disetujui oleh DPR.

#### **2.3. Partai Politik**

Partai politik di Indonesia adalah organisasi yang bersifat nasional dan dibentuk oleh sekelompok warga negara Indonesia secara sukarela atas dasar kesamaan kehendak dan cita-cita untuk memperjuangkan dan membela kepentingan politik anggota, masyarakat, bangsa dan negara, serta memelihara keutuhan Negara Kesatuan Republik Indonesia. Dalam program PLTN, partai politik mempunyai fungsi mendukung dan melobi penetapan pembangunan PLTN.

### **3. Kelompok Pendukung Keteknikan (*Technical Support*):**

#### **3.1. Kontraktor**

Kontraktor adalah suatu badan hukum atau badan usaha yang di kontrak atau di sewa untuk menjalankan proyek pekerjaan berdasarkan isi kontrak yang dimenangkannya dari pihak pemilik proyek yang merupakan instansi /lembaga pemerintahan, badan hukum, badan usaha, maupun perorangan, yang telah melakukan penunjukan secara resmi. Demikian juga untuk proyek pembangunan PLTN, kontraktor berfungsi sebagai badan usaha yang membangun proyek PLTN.

#### **3.2. Asosiasi Profesi Keteknikan**

Asosiasi Profesi Keteknikan terdiri dari beberapa profesi keteknikan yang berperan nantinya dalam perencanaan program PLTN termasuk juga perencanaan pembiayaan PLTN (contoh: Persatuan Insinyur Indonesia, asosiasi lainnya).

### **3.3. Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)**

BAPETEN sebagai lembaga yang berperan dalam perumusan dan penyusunan kebijakan nasional di bidang pengawasan tenaga nuklir serta penetapan pedoman pengawasan pemanfaatan teknologi nuklir [20]. Pemanfaatan tenaga nuklir harus memenuhi tingkat keselamatan dan keamanan serta seifgard sesuai dengan ketentuan dan persyaratan yang berlaku. Dalam hal pemeliharaan keselamatan dan keamanan, berbagai upaya untuk mempertahankan kepatuhan terhadap peraturan dalam pemanfaatan tenaga nuklir oleh pengguna harus dilaksanakan secara berkelanjutan, terutama setelah izin diterbitkan. Berdasarkan Undang-Undang, BAPETEN melaksanakan kewajiban pemerintah dalam mengawasi penggunaan tenaga nuklir. UU Ketenaganukliran tahun 1997 memberikan mandat pada BAPETEN untuk membuat peraturan, menerbitkan izin, melakukan inspeksi dan mengambil langkah penegakan peraturan untuk menjamin kepatuhan pengguna tenaga nuklir terhadap peraturan dan ketentuan keselamatan. Direktorat yang terkait dengan program PLTN adalah:

- Direktorat Inspeksi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif.
- Direktorat Inspeksi Instalasi dan Bahan Nuklir, baik untuk Reaktor Daya maupun Reaktor Non Daya
- Direktorat Perizinan
- Direktorat Kajian Teknologi

### **3.4. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)**

KLHK memiliki tugas menyiapkan perumusan dan penetapan kebijakan serta regulasi di bidang penyelenggaraan pemantapan kawasan hutan dan - lingkungan hidup secara berkelanjutan, pengelolaan konservasi sumber daya alam dan ekosistemnya, peningkatan daya dukung daerah aliran sungai dan hutan lindung, pengelolaan hutan produksi lestari, peningkatan kualitas fungsi lingkungan, pengendalian pencemaran dan kerusakan lingkungan, pengendalian dampak perubahan iklim, pengendalian kebakaran hutan dan lahan, perhutanan sosial dan kemitraan lingkungan, serta penurunan gangguan, ancaman, dan pelanggaran hukum bidang lingkungan hidup dan kehutanan [21]. Untuk Program PLTN, KLH memiliki peran untuk mengeluarkan ijin Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) untuk PLTN. Direktorat yang terkait dengan program PLTN adalah:

- Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan lingkungan
- Direktorat Jenderal Pengelolaan sampah, limbah, bahan berbahaya dan beracun.

### **3.5. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Kementerian PUPR)**

Kementerian PUPR mempunyai tugas menyelenggarakan urusan pemerintahan di bidang pekerjaan umum dan perumahan rakyat. Dalam melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud di atas, Kementerian PUPR menyelenggarakan fungsi yakni menyiapkan perumusan, penetapan, dan pelaksanaan kebijakan di bidang pengelolaan sumber daya air, penyelenggaraan jalan, penyediaan perumahan dan pengembangan kawasan permukiman, pembiayaan infrastruktur, penataan bangunan gedung, sistem pengelolaan air limbah dan drainase lingkungan maupun pembinaan jasa konstruksi [22]. Terkait dengan program PLTN, Kementerian PUPR memiliki peran dalam pemberian regulasi yang terkait dengan jasa konstruksi untuk PLTN, Beberapa Direktorat yang terkait dalam program PLTN yakni:

- Direktorat Jendral Bina Marga
- Direktorat Jenderal Cipta Karya
- Direktorat Jenderal Bina Konstruksi
- Badan Pengembangan Infrastruktur Wilayah

## **4. Kelompok Pemerhati dan Pembuat Opini (*Interest and Opinion Maker Group*):**

### **4.1. Jurnalis/Wartawan**

Wartawan sebagai kelompok pemerhati dan pembuat opini dalam menyebarkan berita tentang PLTN dan melakukan kritisi terhadap program PLTN.

### **4.2. Media Massa**

Media massa merupakan kelompok pembuat opini yang menyebarkan berita program PLTN baik yang terkait dengan berita tentang teknologi dan keselamatan PLTN termasuk penyampaian manfaat, kerugian, kendala maupun tantangan dalam program PLTN.

#### **4.3. Pemerhati Lingkungan**

Pemerhati lingkungan pada prinsipnya merupakan organisasi yang mengkritisi masalah lingkungan yang terkait dengan paparan radiasi yang mungkin dapat timbul maupun limbah radioaktif yang dihasilkan dalam program PLTN.

#### **4.4. Pemerhati Teknologi**

Pemerhati Teknologi adalah kelompok pemerhati yang memahami teknologi termasuk teknologi PLTN dan memberikan pendapat atau masukan positif maupun melakukan kritisi dalam teknologi PLTN.

### **5. Kelompok Sosial dan Lembaga Pendukung (*Social and Institution Support*):**

#### **5.1. Nadhatul Ulama**

Nadhatul Ulama merupakan organisasi masyarakat yang bergerak dalam dakwah dan pendidikan agama ISLAM serta menyiapkan lembaga pendidikan untuk memberikan kedamaian dan kesejahteraan bagi masyarakat di sekitar lingkungan tapak PLTN. Ormas NU dapat mempengaruhi penerimaan masyarakat terhadap proyek PLTN karena merupakan ormas islam terbesar di Indonesia.

#### **5.2. Muhammadiyah**

Muhammadiyah merupakan organisasi masyarakat yang bergerak dalam bidang dakwah dan pendidikan agama ISLAM serta menyiapkan lembaga pendidikan yang memberikan kedamaian dan kesejahteraan bagi masyarakat di sekitar lingkungan tapak PLTN. Ormas Muhammadiyah dapat mempengaruhi penerimaan masyarakat terhadap proyek PLTN.

#### **5.3. Kementerian Dalam Negeri (KEMENDAGRI)**

Kemendagri merupakan lembaga pemerintah yang memiliki tugas dan fungsi penyelenggaraan urusan pemerintahan dalam negeri dan pemberian layanan masyarakat serta perlindungan untuk semua warga negara khususnya di sekitar lingkungan tapak PLTN sesuai peraturan perundangan yang berlaku.

#### **5.4. Kementerian Luar Negeri (KEMLU)**

KEMLU merupakan lembaga pemerintah yang memiliki tugas dan fungsi menyelenggarakan perumusan dan penetapan kebijakan di bidang penyelenggaraan hubungan luar negeri dan politik luar negeri. Kemenlu memberikan pelayanan masyarakat dan meningkatkan kinerja diplomasi Indonesia baik dalam kerangka bilateral, intrakawasan dan antarkawasan [23]. Dalam program PLTN, Kemenlu berperan penting dalam hal hubungan kerjasama dengan pihak luar negeri terkait dengan program PLTN yang melibatkan kerjasama teknis dengan Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency/IAEA*), vendor asing maupun institusi negara lain.

#### **5.5. Kepolisian Republik Indonesia (POLRI)**

POLRI atau Kepolisian Republik Indonesia merupakan lembaga pemerintah yang memberikan pelayanan keamanan dan ketertiban masyarakat demi tegaknya hukum dan keamanan dalam negeri. POLRI memberikan layanan dan ketertiban masyarakat khususnya terkait dengan program PLTN.

#### **5.6. Tentara Nasional Indonesia (TNI)**

TNI merupakan alat negara yang memiliki tugas pokok dan fungsinya untuk menegakkan kedaulatan negara, mempertahankan keutuhan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia serta melindungi segenap bangsa dan seluruh tumpah darah Indonesia dari ancaman dan gangguan terhadap keutuhan bangsa dan negara [24]. Dalam kaitannya dengan Program PLTN, TNI memberikan perlindungan sepenuhnya terhadap Kawasan strategis PLTN jika dibangun.

#### **5.7. Tokoh Masyarakat**

Tokoh masyarakat adalah seseorang yang karena kedudukan sosialnya menerima kehormatan dari masyarakat dan/atau pemerintah. Tokoh masyarakat sebagai pemangku kepentingan menjembatani berbagai kepentingan dan dalam melaksanakan keputusannya dilakukan secara musyawarah dan gotong royong. Tokoh masyarakat sangat berperan

penting dalam memberikan informasi kepada masyarakat tentang pentingnya program PLTN.

Dari seluruh kelompok tersebut diatas, para pemangku kepentingan masing-masing memiliki peran yang sangat penting serta memiliki pengaruh yang cukup besar dalam keterlibatannya di dalam program pembangunan PLTN di Provinsi Kalbar. Pemangku kepentingan tersebut memiliki andil yang besar dalam keberhasilan pengambilan keputusan untuk perencanaan pembangunan PLN di Provinsi Kalbar.

## KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa identifikasi pemangku kepentingan dapat dikelompokkan dalam 5 (lima) kelompok yakni kelompok penggerak (*driving group*), kelompok pengambil keputusan politik (*political decision maker group*), kelompok pendukung keteknikan (*technical support*), kelompok pembuat opini (*opinion maker group*), dan kelompok sosial dan Lembaga pendukung (*social and institution group*). Kelompok penggerak meliputi instansi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), BATAN, BAPPENAS, Kementerian Keuangan, Kementerian Perindustrian, Kementerian BUMN, PT. PLN (Persero), Dewan Energi Nasional (DEN), Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti), dan pemerintah daerah provinsi Kalimantan Barat. Kelompok pengambil keputusan publik meliputi Presiden, DPR, dan partai politik. Kelompok pendukung keteknikan meliputi kontraktor, asosiasi profesi keteknikan, BAPETEN, KLH, dan Kementerian PUPR. Kelompok pemerhati dan pembuat opini meliputi wartawan, media massa, pemerhati lingkungan, pemerhati teknologi. Kelompok sosial dan lembaga pendukung meliputi Nadhatul Ulama, Muhammadiyah, Kementerian Dalam Negeri (KEMENDAGRI), Kementerian Luar Negeri (KEMLU), Kepolisian Republik Indonesia (POLRI), Tentara Nasional Indonesia (TNI), dan tokoh Masyarakat. Semua organisasi atau institusi yang terlibat tersebut sangat berpengaruh terhadap keberhasilan program pembangunan PLTN di Provinsi Kalbar.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada bapak Ir. Sriyana, MT selaku Kepala Bidang Kajian Infrastruktur PKSEN BATAN yang telah mengoreksi makalah ini untuk menjadi lebih baik. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada KPTF PKSEN dan para editor Seminar SIEN. Seluruh penulis merupakan kontributor utama dalam penulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Paula Diaz, "Carolina Alder, Anthony Patt, "Do stakeholders' perspectives on renewable energy infrastructure pose a risk to energy policy implementation? A case of a hydropower plant in Switzerland", <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.05.033>, Energy Policy 108, (2017), 21- 28.
- [2] Peta Simpson, Peta Ashworth, "ZeroGen new generation power – a framework for engaging stakeholders", Energy Procedia 1 (2009) 4697–4705, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.02.293>.
- [3] P.M. Connor , C.J. Axon, D. Xenias, N Balta Ozkan, "Sources of risk and uncertainty in UK smart grid deployment: An expert stakeholder analysis", Energy 161 (2018) , 1 – 9, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.115>.
- [4] IAEA, Stakeholder Involvement Throughout the Life Cycle of Nuclear Facilities, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T—1.4, 2011.
- [5] IAEA, Stakeholder Involvement in Nuclear Issues, INSAG 20, 2006.
- [6] Stakeholder Involvement Techniques Short Guide and Annotated Bibliography, Nuclear Energy Agency Organisation for Economic Co-Operation And Development, OECD 2004 NEA No. 5418)
- [7] Meagan B. Krupa, "Who's who in the Kenai River Fishery SES, A Streamlined method for stakeholder identification and investment analysis", Marine Policy 71 (2016) 194–200, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2016.06.001>.
- [8] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, <https://www.esdm.go.id/id/profil/tugas-fungsi/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan>
- [9] Badan Tenaga Nuklir Nasional, <http://www.batan.go.id/index.php/id/home/profil-batan>
- [10] BAPPENAS, <http://bappenas.go.id>.

- 
- [11] Kementerian Keuangan, <https://www.kemenkeu.go.id/profil/tugas-dan-fungsi/>
- [12] Kementerian Perindustrian, <https://kemenperin.go.id/tugas-pokok-fungsi-kementerian-perindustrian>.
- [13] Kementerian Perindustrian, Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 54/M-IND/PER/3/2012, Pedoman Penggunaan Produk Dalam Negeri untuk Pembangunan Infrastruktur Ketenagalistrikan, 2012.
- [14] Kementerian BUMN, <http://bumn.go.id/halaman/0-Bagan-Organisasi-Kementerian-BUMN>
- [15] Dewan Energi Nasional, <https://den.go.id/index.php/statispage/index/5-tugas-den.html>.
- [16] Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, <https://ristekdikti.go.id/tugas-fungsi/>.
- [17] BAPPEDA, <https://bappeda.ntbprov.go.id/profil-bappeda-ntb/tupoksi-bappeda/>
- [18] MENTERI NEGARA SEKRETARIS NEGARA, Undang Undang no 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, <https://jdih.kemenkeu.go.id/fulltext/1997/10TAHUN~1997UU.htm>
- [19] Dewan Perwakilan Rakyat, <http://www.dpr.go.id/tentang/tugas-wewenang>
- [20] BAPETEN, <https://www.bapeten.go.id/berita/tugas-pokok-dan-fungsi-bapeten-113723>
- [21] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, [http://www.menlhk.go.id/site/single\\_post/1565](http://www.menlhk.go.id/site/single_post/1565)
- [22] Kementerian PUPR, <https://www.pu.go.id/article/25/tugas-dan-fungsi>.
- [23] ....., Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 56 Tahun 2015 tentang Kementerian Luar negeri, [https://pih.kemlu.go.id/files/PERPRES\\_56\\_2015\\_KEMENTERIAN\\_LUAR\\_NEGERI.pdf](https://pih.kemlu.go.id/files/PERPRES_56_2015_KEMENTERIAN_LUAR_NEGERI.pdf)
- [24] TENTARA NASIONAL INDONESIA, <https://tni.mil.id/pages-2-peran-fungsi-dan-tugas.html>.



## IDENTIFIKASI PARA PEMANGKU KEPENTINGAN YANG TERLIBAT DALAM RENCANA PEMBANGUNAN PLTN DI KALIMANTAN BARAT

Dharu Dewi, Wiku Lulus Widodo, Imam Bastori

PKSEN - BATAN, Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta, 12710

email: dharu\_dewi@batan.go.id

### ABSTRAK

**IDENTIFIKASI PARA PEMANGKU KEPENTINGAN YANG TERLIBAT DALAM RENCANA PEMBANGUNAN PLTN DI KALIMANTAN BARAT.** Pemerintah provinsi Kalimantan Barat (Kalbar) merencanakan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) berperan dalam bauran energi di Kalbar untuk memenuhi kebutuhan energi bagi masyarakat, dan pengembangan industri di wilayahnya. Keterlibatan pemangku kepentingan sangat berpengaruh terhadap keberhasilan program pembangunan PLTN tersebut. Tujuan studi adalah mengidentifikasi para pemangku kepentingan yang terlibat dalam rencana pembangunan PLTN di Provinsi Kalbar. Metodologi studi adalah kajian literatur dengan menggunakan dokumen panduan Badan Tenaga Atom International/*International Atomic Energy Agency (IAEA)* dan penelusuran melalui internet tentang organisasi atau institusi nasional yang terkait dengan tugas pokok dan fungsi para pemangku kepentingan. Dari hasil studi, identifikasi pemangku kepentingan dapat dikelompokkan dalam 5 (lima) kelompok yakni kelompok penggerak (*driving group*), kelompok pengambil keputusan politik (*political decision maker group*), kelompok pendukung keteknikan (*technical support*), kelompok pembuat opini (*opinion maker group*), dan kelompok sosial dan lembaga pendukung (*social and institution group*). Kelompok penggerak meliputi instansi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), BATAN, BAPPENAS, Kementerian Keuangan, Kementerian Perindustrian, Kementerian BUMN, PT. PLN (Persero), Dewan Energi Nasional (DEN), Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Kemristekdikti), dan pemerintah daerah provinsi Kalimantan Barat. Kelompok pengambil keputusan politik meliputi Presiden, DPR, dan partai politik. Kelompok pendukung keteknikan meliputi kontraktor, asosiasi profesi keteknikan, BAPETEN, KLH, dan Kementerian PUPR. Kelompok pemerhati dan pembuat opini meliputi wartawan, media massa, pemerhati lingkungan dan pemerhati teknologi. Kelompok sosial dan lembaga pendukung meliputi Nadhatul Ulama, Muhammadiyah, Kementerian Dalam Negeri (KEMENDAGRI), Kementerian Luar Negeri (KEMLU), Kepolisian Republik Indonesia (POLRI), Tentara Nasional Indonesia (TNI), dan tokoh Masyarakat. Semua organisasi atau institusi yang terlibat tersebut sangat berpengaruh terhadap keberhasilan program pembangunan PLTN di Provinsi Kalbar.

Kata kunci: identifikasi, pemangku kepentingan, pembangunan, PLTN

### ABSTRACT

**IDENTIFICATION OF STAKEHOLDER WHICH CAN INVOLVED IN THE NUCLEAR POWER PLANT CONSTRUCTION PLANNING IN THE WEST KALIMANTAN.** The provincial government of Kalimantan Barat (Kalbar) has plans to build a Nuclear Power Plant (PLTN) to meet the energy needs of the community, and the development of industries in the region. The involvement of stakeholders is very influential in making decisions on the success of the NPP development program. The aim of the study is to identify the stakeholders involved in the PLTN development plan in West Kalimantan Province. The methodology of study is a literature review using the International Atomic Energy Agency (IAEA) guidance document and internet searching of national organizations or institutions related to the main duties and functions of the stakeholders. From the results of the study, stakeholder identification can be grouped into 5 (five) groups, namely the driving group, political decision maker group, technical support group, opinion maker group, and social groups and supporting institutions (social and institution groups). Activists include the Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM), BATAN, BAPPENAS, the Ministry of Finance, the Ministry of Industry, the Ministry of BUMN, PT. PLN (Persero), National Energy Board (DEN), Ministry of Research, Technology and Higher Education (Kemristekdikti), and the regional government of West Kalimantan province. Political decision-making groups include the President, Parliament and political parties. Engineering support groups include

contractors, engineering professional associations, BAPETEN, KLH, and the Ministry of PUPR. Observer groups and opinion makers include journalists, mass media, environmentalists, technology observers. Social groups and supporting institutions include Nadhatul Ulama, Muhammadiyah, Ministry of Home Affairs (KEMENDAGRI), Ministry of Foreign Affairs (KEMLU), Indonesian National Police (POLRI), Indonesian National Army (TNI), and Community leaders. All organizations or institutions involved are very influential on the success of the nuclear power plant development program in West Kalimantan Province.

Keywords: identification, stakeholder, construction, Nuclear Power Plant

## PENDAHULUAN

Pemerintah di berbagai negara melakukan tinjauan terhadap kebijakan energi untuk mengakomodasi adanya penggunaan sumber energi terbarukan sebagai tanggapan terhadap komitmen internasional untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Sumber energi lain yang digunakan yaitu sumber energi nuklir [1]. Sumber energi nuklir dalam hal ini PLTN merupakan salah satu sumber energi yang direncanakan oleh pemerintah daerah provinsi Kalimantan Barat dengan kapasitas 2 x 100 MWe masuk dalam Rencana Umum Energi Daerah (RUED). Para pemangku kepentingan diharapkan dapat mempengaruhi masyarakat untuk keberhasilan perencanaan program PLTN. Oleh karena itu dibutuhkan konsultasi dan koordinasi dari para pemangku kepentingan yang merupakan bagian penting dari berbagai program energi yang dibutuhkan [2].

Badan Tenaga Nuklir Internasional (IAEA) telah menyusun pedoman dalam bentuk petunjuk teknis yang menjelaskan tentang infrastruktur dan pagu-pagu penting (*milestone*) untuk proyek pembangunan PLTN. Pedoman tersebut disusun berdasarkan pengalaman dari berbagai negara yang telah memiliki pengalaman dalam menjalankan proyek PLTN. Infrastruktur PLTN terdiri dari 19 infrastruktur. Salah satu dari 19 infrastruktur tersebut adalah keterlibatan pemangku kepentingan. Keterlibatan pemangku kepentingan sangat diperlukan dan sangat berpengaruh di dalam pengambilan keputusan untuk program pembangunan PLTN di Indonesia. Dialog terbuka diantara para pemangku kepentingan merupakan salah satu strategi dan tindakan yang efektif untuk meningkatkan pengaruh pada masyarakat terhadap pengambilan keputusan untuk meningkatkan penerimaan masyarakat terhadap "Go Nuklir". Sejumlah pemangku kepentingan dapat menimbulkan risiko reaksi masyarakat yang negatif terhadap teknologi energi [3]. Oleh karena itu teknologi energi nuklir atau PLTN tidak lagi hanya menjadi tugas BATAN untuk mempromosikan pemanfaatan energi nuklir, tetapi sebaiknya juga dapat dibantu oleh beberapa institusi yang terlibat sebagai para pemangku kepentingan sehingga pemanfaatan energi nuklir dapat diterapkan untuk memenuhi kebutuhan energi jangka panjang demi keberlangsungan ketahanan energi di Indonesia dan keberlanjutan pembangunan nasional di seluruh aspek.

Tujuan makalah ini adalah mengidentifikasi para pemangku kepentingan yang terlibat dalam rencana pembangunan PLTN di Provinsi Kalbar. Diharapkan dengan adanya keterlibatan pemangku kepentingan dalam memberikan keputusan dan strategi untuk mencapai sasaran peningkatan tanggapan publik yang positif terhadap PLTN, akan memperlancar proses dukungan terhadap PLTN sebagai solusi dalam pemenuhan energi di Provinsi Kalimantan Barat di masa mendatang.

## TEORI/POKOK BAHASAN

Pemangku kepentingan secara luas didefinisikan sebagai setiap orang yang berdampak oleh suatu kegiatan apakah secara fisik maupun secara emosional. Berdasarkan dokumen *handbook* IAEA, definisi para pemangku kepentingan adalah mencakup industri atau profesional, badan ilmiah, lembaga pemerintah (lokal, regional dan nasional), media; publik (individu, kelompok masyarakat, dan kelompok kepentingan); dan negara - negara lain (terutama negara tetangga yang telah menandatangani perjanjian untuk pertukaran mata uang asing) [4,5]. Menurut OECD/NEA, definisi para pemangku kepentingan adalah setiap aktor-institusi, kelompok atau individu yang memiliki minat atau peran untuk bermain atau terlibat dalam proses pengambilan keputusan masyarakat [5,6]. Langkah utama dalam menjalankan program kemitraan untuk para pemangku kepentingan yang efektif adalah identifikasi yang tepat dan terencana untuk menerapkan strategi yang tepat sehingga pemangku kepentingan dapat mempengaruhi masyarakat secara positif untuk mendukung program pembangunan PLTN agar berhasil dengan sukses. Hal ini membutuhkan

pendekatan komprehensif untuk mengidentifikasi dan memahami posisi para pemangku kepentingan dalam suatu organisasi terkait kepentingan yang mempengaruhi mereka.

## **METODOLOGI**

Metodologi yang digunakan adalah kajian literatur dengan menggunakan dokumen panduan Badan Tenaga Atom International/*International Atomic Energy Agency (IAEA)* dan penelusuran melalui internet tentang organisasi atau institusi nasional yang terkait dengan tugas pokok dan fungsi para pemangku kepentingan untuk keberhasilan program pembangunan PLTN di Kalimantan Barat.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Tingkat atau level pemangku kepentingan yang berbeda dalam suatu institusi atau organisasi akan memberikan teknik atau strategi yang berbeda dalam pelaksanaan kegiatan program pembangunan PLTN di Kalimantan Barat. Prell et al mengatakan bahwa untuk mengidentifikasi para pemangku kepentingan, maka hal penting yang pertama dilakukan adalah mendefinisikan aspek dari suatu organisasi, permasalahan dan isu yang sedang dikaji]. Tujuannya adalah mengidentifikasi dan membuat kategori atau pengelompokan para pemangku kepentingan yang dapat mempengaruhi suatu organisasi serta siapa saja yang dapat menyebabkan perubahan terjadi [7]. Oleh karena itu, keterlibatan para pemangku kepentingan hendaknya sesuai dengan tugas pokok dan fungsi dari institusi pemangku kepentingan. Teknik atau strategi ini dapat secara signifikan memperkuat pemangku kepentingan dalam proses pembuatan keputusan. Pengambil keputusan harus sadar bahwa pemangku kepentingan memiliki keinginan dan harapan untuk tingkat keterlibatan yang spesifik. Diskusi awal, kontak dengan atau pengamatan kelompok pemangku kepentingan dan juga tinjauan terhadap persyaratan undang-undang akan membantu menentukan tingkatan keterlibatan yang sesuai. Berapa banyak organisasi para pemangku kepentingan yang dapat terlibat harus didefinisikan secara jelas. Hal ini kemudian dikomunikasikan dan dikoordinasikan secara jelas kepada para pemangku kepentingan.

Kejelasan terhadap tingkat keterlibatan pemangku kepentingan yang diharapkan adalah dengan melakukan konsultasi. Hal tersebut penting untuk mengetahui kejelasan isu apa yang dapat mempengaruhi. Dasar untuk membuat keputusan harus jelas. Sangat penting adanya kejelasan tentang informasi dan umpan balik yang disediakan oleh pembuat keputusan. Masyarakat ingin melihat bahwa pemangku kepentingan dapat mempengaruhi proses dan mempunyai dampak yang berarti pada *outcome*.

Dalam program PLTN, deskripsi identifikasi pemangku kepentingan dapat dikelompokkan dalam beberapa kelompok pemangku kepentingan yang terlibat dalam Program PLTN. Pengelompokan pemangku kepentingan dapat dibedakan dalam beberapa kelompok yakni kelompok penggerak (*driving group*), kelompok pengambil keputusan politik (*political decision maker group*), kelompok pendukung keteknikan (*technical support*), kelompok pembuat opini (*opinion maker group*), dan kelompok sosial dan lembaga pendukung (*social and institution group*). Masing – masing kelompok memiliki tugas pokok dan fungsi sebagai pemangku kepentingan yang sangat memiliki andil besar dalam keberhasilan program PLTN di Provinsi Kalimantan Barat. Adapun kelompok – kelompok tersebut dapat diuraikan secara rinci sebagai berikut.

### **1. Kelompok Penggerak (*Driving Group*)**

#### **1.1. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (Kementerian ESDM)**

Kementerian ESDM adalah badan pemerintah yang memiliki tugas pokok dan fungsi untuk perumusan, pembuatan dan pelaksanaan kebijakan energi, penyusunan norma, standar, prosedur dan kriteria, pemberian bimbingan teknis dan supervisi, pengendalian dan pengawasan di bidang penyiapan program ketenagalistrikan [8]. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan serta Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi merupakan dua direktorat dibawah Kementerian ESDM yang memiliki peran penting didalam perumusan dan pembuatan keputusan kebijakan energi nuklir dan menjalankan program PLTN.

#### **1.2. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)**

Tugas pokok BATAN sesuai dengan Peraturan Presiden Nomor 46 Tahun 2013, yakni BATAN sebagai lembaga pemerintah yang diberi amanat untuk melaksanakan penelitian, pengembangan dan pendayagunaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir dengan

mengutamakan persyaratan keselamatan, keamanan dan kehandalan khususnya untuk pembangunan PLTN [9]. BATAN diharapkan dapat sebagai pemicu untuk mendorong pemerintah dalam hal ini Presiden untuk segera Go Nuklir.

### **1.3. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BAPPENAS)/Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional (PPN)**

BAPPENAS memiliki tugas dan fungsi dalam penyusunan rencana pembangunan nasional, penyusunan rancangan anggaran pendapatan dan belanja negara, serta pengendalian dan evaluasi terhadap pelaksanaan rencana pembangunan [10]. Untuk program PLTN, BAPPENAS mempunyai tugas menyusun anggaran untuk program pembangunan PLTN.

### **1.4. Kementerian Keuangan (KEMENKEU)**

Kementerian Keuangan mempunyai tugas dan fungsi dalam penyusunan, penetapan dan pelaksanaan kebijakan di bidang penganggaran dan pengelolaan pembiayaan dan risiko [11]. Untuk program PLTN, Kementerian Keuangan mempunyai tugas penyusunan dan pelaksanaan penganggaran dan pengelolaan pembiayaan untuk program PLTN.

### **1.5. Kementerian Perindustrian (KEMENPERIN)**

Kementerian Perindustrian memiliki tugas dan fungsi menyiapkan perumusan, penetapan, dan pelaksanaan kebijakan di bidang perindustrian [12]. Berdasarkan Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 54/M-IND/PER/3/2012 tentang Pedoman Penggunaan Produk Dalam Negeri untuk Pembangunan Infrastruktur Ketenagalistrikan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Gas (PLTG), Pembangkit Listrik Tenaga Gas dan Uap (PLTGU), dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) [13], Pada peraturan menteri ini, penentuan tingkat komponen dalam negeri / kandungan lokal untuk produk dalam negeri PLTN belum ditentukan sampai saat ini.

### **1.6. Kementerian Badan Usaha Milik Negara (Kementerian BUMN)**

Kementerian BUMN sebagai badan usaha pemerintah yang terdiri dari sekitar 115 perusahaan BUMN yang memiliki kegiatan sebagai jasa keuangan/perbankan, jasa konstruksi, jasa asuransi, bidang kesehatan, dan lain - lain yang dalam hal terkait dengan program PLTN dapat berperan sebagai investor, pemilik, atau operator. Kementerian BUMN ini dalam kaitannya dengan program PLTN adalah dapat berperan dalam melaksanakan pengkajian manajemen risiko, peningkatan daya saing serta mencari peluang bisnis baru. Direktorat yang memiliki potensi terkait dengan program PLTN adalah [14]:

- Deputi Bidang Usaha Energi, Logistik, Kawasan dan Parawisata
- Deputi Bidang Usaha Pertambangan, Industri Strategis dan Media
- Deputi Bidang Usaha Konstruksi dan Sarana dan Prasarana Perhubungan

### **1.7. PT. PLN**

PT. PLN sebagai badan usaha pemerintah mempunyai tugas pokok dan fungsi melaksanakan usaha penyediaan tenaga listrik bagi kepentingan masyarakat umum dan melaksanakan penugasan di bidang ketenagalistrikan untuk menunjang pembangunan. Dalam hal program PLTN, PT. PLN dapat menjadi pemilik/operator/ owner PLTN di Indonesia.

### **1.8. Dewan Energi Nasional (DEN)**

Dewan Energi Nasional mempunyai tugas merancang dan merumuskan Kebijakan Energi Nasional (KEN) untuk ditetapkan oleh pemerintah dengan persetujuan DPR. Tugas lainnya adalah menetapkan Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) [15]. Oleh karena itu Dewan Energi Nasional selain memiliki peran penting dalam merumuskan kebijakan energi nasional juga tentunya memiliki peran juga untuk melakukan kajian dan merumuskan kebijakan energi nuklir.

### **1.9. Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti)**

Kemenristekdikti mempunyai tugas dan fungsinya meningkatkan kualitas dan kualitas pendidikan tinggi dan meningkatkan kemampuan iptek dan inovasi teknologi untuk keunggulan daya saing bangsa [16]. Dalam kaitannya dengan program PLTN,

Kemenristekdikti memiliki peran dalam kajian teknologi PLTN dan memberikan pertimbangan keteknikan untuk program PLTN.

#### **1.10. Pemerintah Provinsi & BAPPEDA**

Pemerintah provinsi mempunyai tugas dan wewenang melaksanakan pembinaan, pengawasan dan koordinasi penyelenggaraan pemerintahan daerah. Pemerintah Provinsi juga menyiapkan penataan tata ruang diwilayahnya. Terkait dengan program PLTN, Pemerintah Provinsi memiliki tugas menyiapkan tapak PLTN di daerahnya serta menyiapkan perencanaan tata ruang dan wilayah (RTRW) untuk program PLTN. Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) yang merupakan bagian dari Pemerintah Provinsi juga mempunyai tugas membantu Gubernur (Pemprov) dalam menyelenggarakan sebagian tugas umum pemerintahan dan pembangunan di bidang koordinasi perencanaan dan penyusunan Rencana Kerja Pemerintah Jangka Panjang, Penetapan Plafon Anggaran Sementara (PPAS), serta penyusunan Kebijakan Umum Anggaran (KUA) [17]. Dalam melaksanakan tugasnya, BAPPEDA menyelenggarakan fungsi penyusunan rencana pembangunan jangka panjang (RPJP) Provinsi dan rencana pembangunan jangka menengah daerah (RPJMD) Provinsi; penyusunan rencana kerja pemerintah daerah (RKPD) Provinsi dan penyusunan program tahunan. Dalam kaitannya dengan program PLTN, BAPPEDA seperti halnya Pemerintah Provinsi berkoordinasi dalam menyusun rencana Tata Ruang (RTRW) untuk Program PLTN di daerah.

### **2. Kelompok Pengambil Keputusan Politik (*Political Decision Maker*):**

#### **2.1. Presiden**

Presiden memiliki tugas dan fungsi sebagai Kepala Negara yang mengendalikan jalannya pemerintahan. Presiden mengambil keputusan untuk program Pembangunan PLTN. Sesuai dengan UU ketenaganukliran no 10 tahun 1997 bahwa program pembangunan PLTN ditetapkan oleh pemerintah/presiden [18] .

#### **2.2. Dewan Perwakilan Rakyat (DPR)**

DPR adalah salah satu lembaga tinggi negara dalam sistem ketatanegaraan Indonesia yang merupakan lembaga perwakilan rakyat. DPR terdiri atas anggota partai politik peserta pemilihan umum yang dipilih melalui pemilihan umum. Tugas anggota DPR adalah menyusun dan membahas Rancangan Undang – Undang (RUU) yang diusulkan oleh Presiden ataupun DPD dan memberikan persetujuan atas RUU tentang APBN yang yang diajukan Presiden [19]. Untuk program PLTN, DPR sebagai wakil rakyat mempunyai tugas memberikan persetujuan untuk pembangunan PLTN. Sesuai dengan UU ketenaganukliran no 10 tahun 1997 bahwa program pembangunan PLTN harus disetujui oleh DPR.

#### **2.3. Partai Politik**

Partai politik di Indonesia adalah organisasi yang bersifat nasional dan dibentuk oleh sekelompok warga negara Indonesia secara sukarela atas dasar kesamaan kehendak dan cita-cita untuk memperjuangkan dan membela kepentingan politik anggota, masyarakat, bangsa dan negara, serta memelihara keutuhan Negara Kesatuan Republik Indonesia. Dalam program PLTN, partai politik mempunyai fungsi mendukung dan melobi penetapan pembangunan PLTN.

### **3. Kelompok Pendukung Keteknikan (*Technical Support*):**

#### **3.1. Kontraktor**

Kontraktor adalah suatu badan hukum atau badan usaha yang di kontrak atau di sewa untuk menjalankan proyek pekerjaan berdasarkan isi kontrak yang dimenangkannya dari pihak pemilik proyek yang merupakan instansi /lembaga pemerintahan, badan hukum, badan usaha, maupun perorangan, yang telah melakukan penunjukan secara resmi. Demikian juga untuk proyek pembangunan PLTN, kontraktor berfungsi sebagai badan usaha yang membangun proyek PLTN.

#### **3.2. Asosiasi Profesi Keteknikan**

Asosiasi Profesi Keteknikan terdiri dari beberapa profesi keteknikan yang berperan nantinya dalam perencanaan program PLTN termasuk juga perencanaan pembiayaan PLTN (contoh: Persatuan Insinyur Indonesia, asosiasi lainnya).

### **3.3. Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN)**

BAPETEN sebagai lembaga yang berperan dalam perumusan dan penyusunan kebijakan nasional di bidang pengawasan tenaga nuklir serta penetapan pedoman pengawasan pemanfaatan teknologi nuklir [20]. Pemanfaatan tenaga nuklir harus memenuhi tingkat keselamatan dan keamanan serta seifgard sesuai dengan ketentuan dan persyaratan yang berlaku. Dalam hal pemeliharaan keselamatan dan keamanan, berbagai upaya untuk mempertahankan kepatuhan terhadap peraturan dalam pemanfaatan tenaga nuklir oleh pengguna harus dilaksanakan secara berkelanjutan, terutama setelah izin diterbitkan. Berdasarkan Undang-Undang, BAPETEN melaksanakan kewajiban pemerintah dalam mengawasi penggunaan tenaga nuklir. UU Ketenaganukliran tahun 1997 memberikan mandat pada BAPETEN untuk membuat peraturan, menerbitkan izin, melakukan inspeksi dan mengambil langkah penegakan peraturan untuk menjamin kepatuhan pengguna tenaga nuklir terhadap peraturan dan ketentuan keselamatan. Direktorat yang terkait dengan program PLTN adalah:

- Direktorat Inspeksi Fasilitas Radiasi dan Zat Radioaktif.
- Direktorat Inspeksi Instalasi dan Bahan Nuklir, baik untuk Reaktor Daya maupun Reaktor Non Daya
- Direktorat Perizinan
- Direktorat Kajian Teknologi

### **3.4. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)**

KLHK memiliki tugas menyiapkan perumusan dan penetapan kebijakan serta regulasi di bidang penyelenggaraan pemantapan kawasan hutan dan - lingkungan hidup secara berkelanjutan, pengelolaan konservasi sumber daya alam dan ekosistemnya, peningkatan daya dukung daerah aliran sungai dan hutan lindung, pengelolaan hutan produksi lestari, peningkatan kualitas fungsi lingkungan, pengendalian pencemaran dan kerusakan lingkungan, pengendalian dampak perubahan iklim, pengendalian kebakaran hutan dan lahan, perhutanan sosial dan kemitraan lingkungan, serta penurunan gangguan, ancaman, dan pelanggaran hukum bidang lingkungan hidup dan kehutanan [21]. Untuk Program PLTN, KLH memiliki peran untuk mengeluarkan ijin Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) untuk PLTN. Direktorat yang terkait dengan program PLTN adalah:

- Direktorat Jenderal Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan lingkungan
- Direktorat Jenderal Pengelolaan sampah, limbah, bahan berbahaya dan beracun.

### **3.5. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Kementerian PUPR)**

Kementerian PUPR mempunyai tugas menyelenggarakan urusan pemerintahan di bidang pekerjaan umum dan perumahan rakyat. Dalam melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud di atas, Kementerian PUPR menyelenggarakan fungsi yakni menyiapkan perumusan, penetapan, dan pelaksanaan kebijakan di bidang pengelolaan sumber daya air, penyelenggaraan jalan, penyediaan perumahan dan pengembangan kawasan permukiman, pembiayaan infrastruktur, penataan bangunan gedung, sistem pengelolaan air limbah dan drainase lingkungan maupun pembinaan jasa konstruksi [22]. Terkait dengan program PLTN, Kementerian PUPR memiliki peran dalam pemberian regulasi yang terkait dengan jasa konstruksi untuk PLTN, Beberapa Direktorat yang terkait dalam program PLTN yakni:

- Direktorat Jendral Bina Marga
- Direktorat Jenderal Cipta Karya
- Direktorat Jenderal Bina Konstruksi
- Badan Pengembangan Infrastruktur Wilayah

## **4. Kelompok Pemerhati dan Pembuat Opini (*Interest and Opinion Maker Group*):**

### **4.1. Jurnalis/Wartawan**

Wartawan sebagai kelompok pemerhati dan pembuat opini dalam menyebarkan berita tentang PLTN dan melakukan kritisi terhadap program PLTN.

### **4.2. Media Massa**

Media massa merupakan kelompok pembuat opini yang menyebarkan berita program PLTN baik yang terkait dengan berita tentang teknologi dan keselamatan PLTN termasuk penyampaian manfaat, kerugian, kendala maupun tantangan dalam program PLTN.

#### **4.3. Pemerhati Lingkungan**

Pemerhati lingkungan pada prinsipnya merupakan organisasi yang mengkritisi masalah lingkungan yang terkait dengan paparan radiasi yang mungkin dapat timbul maupun limbah radioaktif yang dihasilkan dalam program PLTN.

#### **4.4. Pemerhati Teknologi**

Pemerhati Teknologi adalah kelompok pemerhati yang memahami teknologi termasuk teknologi PLTN dan memberikan pendapat atau masukan positif maupun melakukan kritisi dalam teknologi PLTN.

### **5. Kelompok Sosial dan Lembaga Pendukung (*Social and Institution Support*):**

#### **5.1. Nadhatul Ulama**

Nadhatul Ulama merupakan organisasi masyarakat yang bergerak dalam dakwah dan pendidikan agama ISLAM serta menyiapkan lembaga pendidikan untuk memberikan kedamaian dan kesejahteraan bagi masyarakat di sekitar lingkungan tapak PLTN. Ormas NU dapat mempengaruhi penerimaan masyarakat terhadap proyek PLTN karena merupakan ormas islam terbesar di Indonesia.

#### **5.2. Muhammadiyah**

Muhammadiyah merupakan organisasi masyarakat yang bergerak dalam bidang dakwah dan pendidikan agama ISLAM serta menyiapkan lembaga pendidikan yang memberikan kedamaian dan kesejahteraan bagi masyarakat di sekitar lingkungan tapak PLTN. Ormas Muhammadiyah dapat mempengaruhi penerimaan masyarakat terhadap proyek PLTN.

#### **5.3. Kementerian Dalam Negeri (KEMENDAGRI)**

Kemendagri merupakan lembaga pemerintah yang memiliki tugas dan fungsi penyelenggaraan urusan pemerintahan dalam negeri dan pemberian layanan masyarakat serta perlindungan untuk semua warga negara khususnya di sekitar lingkungan tapak PLTN sesuai peraturan perundangan yang berlaku.

#### **5.4. Kementerian Luar Negeri (KEMLU)**

KEMLU merupakan lembaga pemerintah yang memiliki tugas dan fungsi menyelenggarakan perumusan dan penetapan kebijakan di bidang penyelenggaraan hubungan luar negeri dan politik luar negeri. Kemenlu memberikan pelayanan masyarakat dan meningkatkan kinerja diplomasi Indonesia baik dalam kerangka bilateral, intrakawasan dan antarkawasan [23]. Dalam program PLTN, Kemenlu berperan penting dalam hal hubungan kerjasama dengan pihak luar negeri terkait dengan program PLTN yang melibatkan kerjasama teknis dengan Badan Tenaga Atom Internasional (*International Atomic Energy Agency/IAEA*), vendor asing maupun institusi negara lain.

#### **5.5. Kepolisian Republik Indonesia (POLRI)**

POLRI atau Kepolisian Republik Indonesia merupakan lembaga pemerintah yang memberikan pelayanan keamanan dan ketertiban masyarakat demi tegaknya hukum dan keamanan dalam negeri. POLRI memberikan layanan dan ketertiban masyarakat khususnya terkait dengan program PLTN.

#### **5.6. Tentara Nasional Indonesia (TNI)**

TNI merupakan alat negara yang memiliki tugas pokok dan fungsinya untuk menegakkan kedaulatan negara, mempertahankan keutuhan wilayah Negara Kesatuan Republik Indonesia serta melindungi segenap bangsa dan seluruh tumpah darah Indonesia dari ancaman dan gangguan terhadap keutuhan bangsa dan negara [24]. Dalam kaitannya dengan Program PLTN, TNI memberikan perlindungan sepenuhnya terhadap Kawasan strategis PLTN jika dibangun.

#### **5.7. Tokoh Masyarakat**

Tokoh masyarakat adalah seseorang yang karena kedudukan sosialnya menerima kehormatan dari masyarakat dan/atau pemerintah. Tokoh masyarakat sebagai pemangku kepentingan menjembatani berbagai kepentingan dan dalam melaksanakan keputusannya dilakukan secara musyawarah dan gotong royong. Tokoh masyarakat sangat berperan

penting dalam memberikan informasi kepada masyarakat tentang pentingnya program PLTN.

Dari seluruh kelompok tersebut diatas, para pemangku kepentingan masing-masing memiliki peran yang sangat penting serta memiliki pengaruh yang cukup besar dalam keterlibatannya di dalam program pembangunan PLTN di Provinsi Kalbar. Pemangku kepentingan tersebut memiliki andil yang besar dalam keberhasilan pengambilan keputusan untuk perencanaan pembangunan PLN di Provinsi Kalbar.

## KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan dapat disimpulkan bahwa identifikasi pemangku kepentingan dapat dikelompokkan dalam 5 (lima) kelompok yakni kelompok penggerak (*driving group*), kelompok pengambil keputusan politik (*political decision maker group*), kelompok pendukung keteknikan (*technical support*), kelompok pembuat opini (*opinion maker group*), dan kelompok sosial dan Lembaga pendukung (*social and institution group*). Kelompok penggerak meliputi instansi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), BATAN, BAPPENAS, Kementerian Keuangan, Kementerian Perindustrian, Kementerian BUMN, PT. PLN (Persero), Dewan Energi Nasional (DEN), Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Kemenristekdikti), dan pemerintah daerah provinsi Kalimantan Barat. Kelompok pengambil keputusan publik meliputi Presiden, DPR, dan partai politik. Kelompok pendukung keteknikan meliputi kontraktor, asosiasi profesi keteknikan, BAPETEN, KLH, dan Kementerian PUPR. Kelompok pemerhati dan pembuat opini meliputi wartawan, media massa, pemerhati lingkungan, pemerhati teknologi. Kelompok sosial dan lembaga pendukung meliputi Nadhatul Ulama, Muhammadiyah, Kementerian Dalam Negeri (KEMENDAGRI), Kementerian Luar Negeri (KEMLU), Kepolisian Republik Indonesia (POLRI), Tentara Nasional Indonesia (TNI), dan tokoh Masyarakat. Semua organisasi atau institusi yang terlibat tersebut sangat berpengaruh terhadap keberhasilan program pembangunan PLTN di Provinsi Kalbar.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada bapak Ir. Sriyana, MT selaku Kepala Bidang Kajian Infrastruktur PKSEN BATAN yang telah mengoreksi makalah ini untuk menjadi lebih baik. Ucapan terima kasih juga kami sampaikan kepada KPTF PKSEN dan para editor Seminar SIEN. Seluruh penulis merupakan kontributor utama dalam penulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Paula Diaz, "Carolina Alder, Anthony Patt, "Do stakeholders' perspectives on renewable energy infrastructure pose a risk to energy policy implementation? A case of a hydropower plant in Switzerland", <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.05.033>, Energy Policy 108, (2017), 21- 28.
- [2] Peta Simpson, Peta Ashworth, "ZeroGen new generation power – a framework for engaging stakeholders", Energy Procedia 1 (2009) 4697–4705, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2009.02.293>.
- [3] P.M. Connor , C.J. Axon, D. Xenias, N Balta Ozkan, "Sources of risk and uncertainty in UK smart grid deployment: An expert stakeholder analysis", Energy 161 (2018) , 1 – 9, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.115>.
- [4] IAEA, Stakeholder Involvement Throughout the Life Cycle of Nuclear Facilities, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T—1.4, 2011.
- [5] IAEA, Stakeholder Involvement in Nuclear Issues, INSAG 20, 2006.
- [6] Stakeholder Involvement Techniques Short Guide and Annotated Bibliography, Nuclear Energy Agency Organisation for Economic Co-Operation And Development, OECD 2004 NEA No. 5418)
- [7] Meagan B. Krupa, "Who's who in the Kenai River Fishery SES, A Streamlined method for stakeholder identification and investment analysis", Marine Policy 71 (2016) 194–200, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2016.06.001>.
- [8] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, <https://www.esdm.go.id/id/profil/tugas-fungsi/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan>
- [9] Badan Tenaga Nuklir Nasional, <http://www.batan.go.id/index.php/id/home/profil-batan>
- [10] BAPPENAS, <http://bappenas.go.id>.

- 
- [11] Kementerian Keuangan, <https://www.kemenkeu.go.id/profil/tugas-dan-fungsi/>
- [12] Kementerian Perindustrian, <https://kemenperin.go.id/tugas-pokok-fungsi-kementerian-perindustrian>.
- [13] Kementerian Perindustrian, Peraturan Menteri Perindustrian Nomor 54/M-IND/PER/3/2012, Pedoman Penggunaan Produk Dalam Negeri untuk Pembangunan Infrastruktur Ketenagalistrikan, 2012.
- [14] Kementerian BUMN, <http://bumn.go.id/halaman/0-Bagan-Organisasi-Kementerian-BUMN>
- [15] Dewan Energi Nasional, <https://den.go.id/index.php/statispage/index/5-tugas-den.html>.
- [16] Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, <https://ristekdikti.go.id/tugas-fungsi/>.
- [17] BAPPEDA, <https://bappeda.ntbprov.go.id/profil-bappeda-ntb/tupoksi-bappeda/>
- [18] MENTERI NEGARA SEKRETARIS NEGARA, Undang Undang no 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, <https://jdih.kemenkeu.go.id/fulltext/1997/10TAHUN~1997UU.htm>
- [19] Dewan Perwakilan Rakyat, <http://www.dpr.go.id/tentang/tugas-wewenang>
- [20] BAPETEN, <https://www.bapeten.go.id/berita/tugas-pokok-dan-fungsi-bapeten-113723>
- [21] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, [http://www.menlhk.go.id/site/single\\_post/1565](http://www.menlhk.go.id/site/single_post/1565)
- [22] Kementerian PUPR, <https://www.pu.go.id/article/25/tugas-dan-fungsi>.
- [23] ....., Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 56 Tahun 2015 tentang Kementerian Luar negeri, [https://pih.kemlu.go.id/files/PERPRES\\_56\\_2015\\_KEMENTERIAN\\_LUAR\\_NEGERI.pdf](https://pih.kemlu.go.id/files/PERPRES_56_2015_KEMENTERIAN_LUAR_NEGERI.pdf)
- [24] TENTARA NASIONAL INDONESIA, <https://tni.mil.id/pages-2-peran-fungsi-dan-tugas.html>.

HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKA

## ANALISIS KETERLIBATAN PEMANGKU KEPENTINGAN PADA PROGRAM PLTN DI INDONESIA

Imam Bastori

PKSEN-BATAN, Mampang Prapatan Jakarta 12710  
imbast@batan.go.id

### ABSTRAK

**ANALISIS KETERLIBATAN PEMANGKU KEPENTINGAN PADA PROGRAM PLTN DI INDONESIA.** Pemangku kepentingan merupakan bagian yang penting dari pelaksanaan program PLTN di Indonesia. Keberhasilan program sangat ditentukan oleh keterlibatan para pemangku kepentingan. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemetaan pemangku kepentingan agar dapat disusun strategi yang tepat untuk mengatur keterlibatan mereka dalam program PLTN. Makalah ini memaparkan hal tersebut dengan pendekatan menggunakan Matriks Mendelow. Berdasarkan analisis karakteristik pemangku kepentingan ini dan posisinya pada matriks Mendelow dapat dibuat strategi yang secara komprehensif dapat mengarahkan keterlibatan mereka dalam mewujudkan program PLTN yang dapat diterima oleh semua pihak dalam rangka implementasi alih teknologi dan substitusi energi yang berkesinambungan. Hasil analisis menunjukkan bahwa strategi yang sesuai untuk group penggerak berupa pembuatan aturan yang diperlukan dalam implementasi program nuklir, untuk group pembuat keputusan politik berupa proposal proyek pembangunan PLTN yang mampu meyakinkan dan dapat diterima oleh para pihak pembuat keputusan. Proposal ini dapat dibuat oleh kelompok pendukung keteknikan dengan otorisasi dan kajian oleh group penggerak. Keluaran group pemerhati dan pembuat opini, dan group ormas dan lembaga pendukung dapat berwujud program sosialisasi dan penerimaan masyarakat (*public acceptance*) dengan mempertimbangkan kepentingan nasional dan posisi strategis Indonesia dalam pergaulan dunia sebagai bangsa yang berdaulat dan mandiri.

*Kata kunci: pemangku kepentingan, program PLTN, strategi keterlibatan*

### ABSTRACT

**ANALYSIS OF STAKEHOLDER INVOLVEMENT IN THE NPP PROGRAM IN INDONESIA.** Stakeholders are an important part of the implementation of the NPP program in Indonesia. The success of a program is very determined by the involvement of stakeholders. Therefore, stakeholder mapping needs to be carried out so that appropriate strategies can be developed to regulate their involvement in the NPP program. This paper describes this with an approach using the Mendelow Matrix. Based on the analysis of the characteristics of these stakeholders and their position in the Mendelow Matrix a comprehensive strategy can be made that can direct their involvement in realizing the NPP program that can be accepted by all parties in the context of implementing technology transfer and sustainable energy substitution. The results of the analysis show that an appropriate strategy for the mobilizing group in the form of making the rules needed in the implementation of the nuclear program, for the group of political decision makers in the form of nuclear power plant development project proposals that are able to convince and be accepted by the decision makers. This proposal can be made by an engineering support group with authorization and study by the mobilizing group. The output of observer groups and opinion makers, and mass organizations and supporting institutions can take the form of socialization programs and public acceptance by taking into account national interests and Indonesia's strategic position in world relations as a sovereign and independent nation.

*Keyword: stakeholder, NPP program, involvement strategy*

### PENDAHULUAN

Pemangku kepentingan (*stakeholder*) secara umum didefinisikan sebagai setiap orang, kelompok atau organisasi yang berpengaruh dalam proses pengambilan keputusan dan hasilnya, yang biasanya bervariasi sesuai dengan keputusan yang dibuat [3]. Pemangku kepentingan dapat mencakup pelanggan, pemilik, operator, karyawan, pemasok, mitra, serikat buruh, industri resmi atau profesional, lembaga ilmiah, lembaga pemerintah atau regulator (lokal, regional dan nasional) yang memiliki kepentingan dalam satu atau lebih aspek

dari program PLTN [1]. Kelompok lain dari para pemangku kepentingan tidak langsung termasuk media, masyarakat, negara lain, terutama negara tetangga yang mungkin telah menandatangani perjanjian berkomitmen untuk pertukaran informasi mengenai dampak lintas batas yang mungkin terjadi, atau negara yang terlibat dalam ekspor atau impor teknologi atau bahan tertentu. Begitu strategisnya posisi pemangku kepentingan pada keberhasilan program PLTN, maka peranan dan keterlibatannya harus dipetakan untuk mengukur sejauh mana ketertarikan dan pengaruh masing-masing pemangku kepentingan pada berbagai isu yang berkaitan dengan program yang sedang dijalankan serta untuk menyusun strategi yang sesuai untuk mengatur keterlibatan mereka pada program PLTN. Makalah ini dibatasi hanya fokus pada analisis keterlibatan pemangku kepentingan untuk program PLTN fase 1.

## PEMETAAN PEMANGKU KEPENTINGAN

Beberapa definisi pemangku kepentingan (*stakeholder*) dikemukakan seperti oleh Freeman yang mendefinisikan *stakeholder* sebagai kelompok atau individu yang dapat memengaruhi dan atau dipengaruhi oleh suatu pencapaian tujuan tertentu [1]. Sedangkan Biset secara singkat mendefinisikan *stakeholder* merupakan orang dengan suatu kepentingan atau perhatian pada permasalahan. *Stakeholder* ini sering diidentifikasi dengan suatu dasar tertentu sebagaimana dikemukakan Freeman yaitu dari segi kekuatan dan kepentingan relatif *stakeholder* terhadap isu, Grimble and Wellard memandang dari segi posisi penting dan pengaruh yang dimiliki mereka [4]. Menurut ISO 26000 SR, *stakeholder* didefinisikan individu atau kelompok yang memiliki kepentingan terhadap keputusan serta aktivitas organisasi.

Terdapat perbedaan pendapat tentang siapa atau apa pemangku kepentingan itu sebenarnya. Menurut Ramirez dalam Reed et al. kata pemangku kepentingan atau *stakeholder* muncul pada abad ke-17. Selanjutnya teori *stakeholder* tersebut berkembang dengan definisi-definisi yang lebih sempit dan lebih bersifat instrumen sebagai kelompok atau individu dalam suatu organisasi. Selain itu terdapat pula pandangan yang lebih luas dan lebih normatif yang mendefinisikan pemangku kepentingan sebagai "entitas alami yang dipengaruhi oleh kinerja organisasi" [3,5]. Dalam implementasi program pembangunan, istilah pemangku kepentingan juga digunakan untuk mendeskripsikan komunitas atau organisasi yang menerima dampak dari aktivitas atau kebijakan, dimana suatu pihak tidak selalu menerima dampak secara adil. Sebagian pihak mungkin menanggung biaya dan sebagian lainnya justru memperoleh manfaat dari suatu kegiatan atau kebijakan. Bryson mendefinisikan pemangku kepentingan adalah setiap individu atau kelompok yang dapat memberi dampak atau yang terkena dampak oleh keberhasilan tujuan suatu organisasi. Hal tersebut bisa berdasarkan suatu kebijakan, program, atau aktivitas pembangunannya. Mereka bisa laki-laki atau perempuan, komunitas, kelompok sosial ekonomi, atau lembaga dalam berbagai dimensi pada setiap tingkat golongan masyarakat. Setiap kelompok ini memiliki sumber daya dan kebutuhan masing-masing yang harus terwakili dalam proses pengambilan keputusan dalam kegiatan pembangunan. Proses pengambilan keputusan tidak dapat dilaksanakan secara efektif oleh hanya satu kelompok tertentu [5,11].

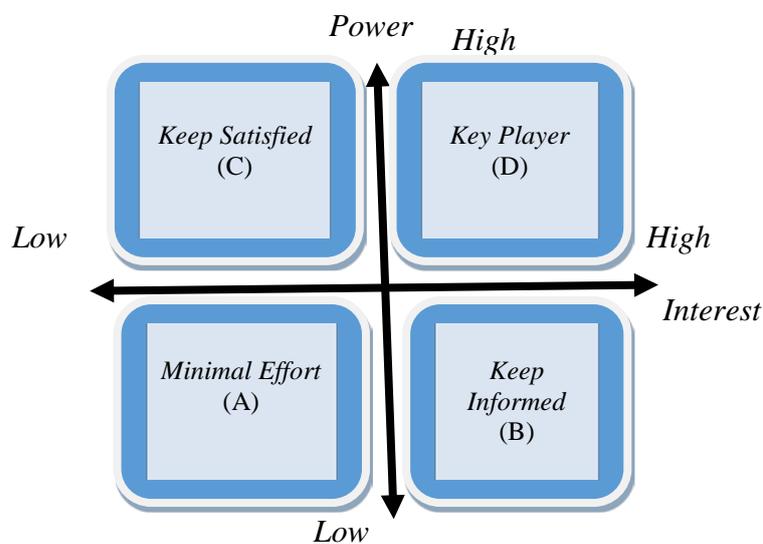
Berdasarkan klasifikasinya pemangku kepentingan terdiri atas: (1) pemangku kepentingan utama, yaitu mereka yang menerima dampak positif atau negatif dari suatu kegiatan; (2) pemangku kepentingan penunjang, yaitu mereka yang menjadi perantara dalam membantu proses penyampaian kegiatan. Pemangku kepentingan penunjang ini dapat digolongkan sebagai pihak penyandang dana, pelaksana, pengawas, organisasi pemerintah, lembaga swadaya masyarakat (LSM), dan pihak swasta. Dalam beberapa kegiatan, mereka dapat merupakan perorangan atau kelompok kunci yang memiliki kepentingan baik formal maupun informal; (3) pemangku kepentingan kunci, yaitu yang berpengaruh kuat atau penting terkait dengan masalah, kebutuhan, dan perhatian terhadap kelancaran kegiatan. Sementara itu partisipasi pemangku kepentingan merupakan media untuk mencapai tujuan dalam pelaksanaan kegiatan. Melalui partisipasi ini diharapkan dapat diformulasikan suatu rencana aksi dan sekaligus mengimplementasikan aksi-aksi tersebut secara bersama. Keterlibatan pemangku kepentingan sangat perlu dalam rangka menunjang keberhasilan suatu program/kegiatan. Pertama, partisipasi diperlukan untuk meningkatkan rencana pengembangan program/kegiatan secara umum dan kegiatan prioritas secara khusus. Kedua, partisipasi memiliki tujuan agar implementasi kegiatan berjalan sesuai dengan kebutuhan masyarakat. Ketiga, partisipasi diperlukan untuk menjamin keberlangsungan kegiatan. Keempat, partisipasi dapat meningkatkan kesetaraan dalam implementasi kegiatan [3,4].

**MATRIKS MENDELOW**

Pada berbagai aktivitas bisnis, pemangku kepentingan sangat perlu untuk diidentifikasi dan dikelola dengan tujuan untuk mencapai kesuksesan proyek atau bisnis [1,2,8]. Berbagai identifikasi pemangku kepentingan bisa dijalankan dengan mengelompokan mereka dalam beberapa group, dimana dalam satu group pemangku kepentingan memiliki karakter yang sama atau mirip. Ada group penggerak (*driving group*), group pengambil keputusan politik (*political decision maker*), group pendukung keteknikan (*technical support*), group pemerhati dan pembuat opini (*interest and opinion group*), group ormas dan lembaga pendukung (*social and institution support*). Untuk kasus program PLTN di Indonesia group pemangku kepentingan ini disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Group Pemangku Kepentingan Program PLTN di Indonesia

Group Penggerak	Pengambil Keputusan Politik	Pendukung Keteknikan	Pemerhati dan Pembuat Opini	Group Ormas dan Lembaga Pendukung
Kementerian ESDM	Presiden	Kontraktor	Jurnalis	Nahdatul Ulama (NU)
Bapenas	DPR	Asosiasi-Keteknikan	WALHI	Muhammadiyah
DEN	Parpol	Perguruan Tinggi	Green Peace Media	Persis (Persatuan Islam)
Perusahaan		Batan	Pemerhati-Teknologi	Polri
Kemenritek		Bapeten	Kolumnis	TNI
Dikti		KLH		Kemendagri
Kemenperin		PUPR		Tokoh-Masyarakat
Kemenkeu				
Batan				
Pemprov.				



Gambar 1. Matriks Mendelow [2,9]

Pemangku kepentingan ini harus dipetakan berdasarkan parameter ketertarikan (*interest*) dan pengaruh (*power*). Parameter ketertarikan adalah suatu ukuran kualitatif pemangku kepentingan terhadap kesuksesan program PLTN. Parameter pengaruh adalah ukuran kualitatif kemampuan pemangku kepentingan mempengaruhi kesuksesan program PLTN. Seorang pemangku kepentingan mungkin punya pengaruh yang kuat tetapi kurang tertarik pada program PLTN atau punya pengaruh yang kuat dan memiliki ketertarikan yang tinggi pada program tersebut atau punya pengaruh yang lemah tetapi memiliki ketertarikan yang tinggi. Model yang digunakan untuk meletakkan masing-masing group pemangku kepentingan dalam suatu peta adalah Matriks Mendelow. Matriks ini memiliki empat kuadran dengan karakter yang berbeda. Kuadran A disebut *minimal effort/Monitor* yaitu kuadran dengan karakter ketertarikan dan pengaruh rendah. Kuadran B *keep informed*

adalah kelompok yang memiliki pengaruh kuat tetapi ketertarikan rendah. Kuadran C *keep satisfied* adalah kelompok yang memiliki ketertarikan tinggi tetapi pengaruhnya lemah. Kuadran D *key player* merupakan kelompok pemangku kepentingan yang memiliki ketertarikan dan pengaruh yang tinggi.

Tabel 2. Strategi Generik Matriks Mendelow [2,10,11]

Kuadran	Keterangan
<i>Key Player</i> (Pengaruh dan keinginan tinggi)	Strategi yang harus dijalankan melibatkan semua orang ini untuk melakukan usaha yang sangat besar agar dapat memberikan kepuasan pada mereka.
<i>Keep Satisfied</i> (Pengaruh tinggi, ketertarikan rendah)	Berikan pekerjaan yang cukup pada orang-orang ini untuk menjaga mereka tetap puas tetapi jangan berlebihan yang akan membuat mereka jadi bosan/muak dengan keinginan kita.
<i>Keep Informed</i> (Pengaruh rendah, ketertarikan tinggi)	Informasikan secara sungguh-sungguh kepada orang-orang ini, dan berbicaralah dengan mereka untuk memastikan tidak ada masalah utama yang muncul.
<i>Minimal Effort/Monitor</i> (Pengaruh dan ketertarikan rendah)	Jangan buat kelompok <i>stake holder</i> ini bosan/muak karena komunikasi yang berlebihan, perhatikan secara seksama mereka, siapa tahu tingkat ketertarikan dan pengaruh tiba-tiba berubah.

### DAMPAK PEMANGKU KEPENTINGAN

Ketidakpastian dan kompleksitas pemangku kepentingan dapat diminimalisir dengan mengetahui dampak atau pengaruh yang ditimbulkan oleh pemangku kepentingan. Dengan mengetahui dampak pemangku kepentingan, maka manajer proyek dapat memperhitungkan pengaruh pemangku kepentingan pada proyek, tingkat pengaruh setiap pemangku kepentingan utama dan prioritas dampak proyek. Dampak yang ditimbulkan pemangku kepentingan terhadap suksesnya proyek disebabkan karena adanya kekuasaan, legitimasi, urgensi, kedekatan, kepentingan pribadi, sikap dan pengetahuan yang dimiliki pemangku kepentingan. Hal yang senada juga diungkapkan oleh Ward & Chapman dimana ketidakpastian yang ditimbulkan oleh pemangku kepentingan salah satunya ditentukan oleh klasifikasi pemangku kepentingan (posisi, kekuasaan, isu, kepentingan pribadi) [1,3].

Dampak pemangku kepentingan terhadap keberhasilan proyek PLTN lebih disebabkan adanya urgensi, pengetahuan, kedekatan, dan sikap pemangku kepentingan. Urgensi pemangku kepentingan adalah tingkat dimana tuntutan atau klaim dari pemangku kepentingan meminta perhatian dengan segera. Urgensi ini akan tetap ada jika tuntutan yang diajukan pemangku kepentingan merupakan sesuatu yang sensitif terhadap waktu dan bersifat kritis. Kepentingan yang menonjol atau yang bersifat segera harus diselesaikan adalah intensitas dari klaim, perhatian dan prioritas yang mengikat pada kepentingan itu sendiri. Urgensi merupakan atribut pemangku kepentingan dalam memutuskan melakukan penekanan terhadap tindakan darurat untuk menyelesaikan tuntutan pemangku kepentingan. Pengetahuan pemangku kepentingan berada pada kisaran penuh kepedulian hingga ketidaktahuan total. Bentuknya ditentukan oleh intensitas dari pemangku kepentingan untuk meningkatkan pengetahuannya tentang proyek untuk membantu mencapai tujuan pemangku kepentingan itu sendiri. Pengetahuan itu lebih banyak berdasar atas apa yang didengarnya dan asumsinya yang sering melebihi fakta dilapangan. Makin banyak pengetahuan yang dimiliki pemangku kepentingan makin banyak pula pengaruhnya terhadap proyek itu sendiri. Kedekatan pemangku kepentingan adalah keberadaan pemangku kepentingan yang berkaitan dengan keterlibatan dan hubungannya dengan proyek dan kedekatan komunikasi

pemangku kepentingan dengan proyek. Keterlibatan ini bisa secara langsung dan tidak langsung yang keseluruhannya akan mempengaruhi proses manajemen proyek. Keterlibatan pemangku kepentingan dalam proyek merupakan kriteria yang menentukan prioritas pemangku kepentingan mulai dari yang tidak terlibat langsung hingga yang bekerja secara langsung dalam proyek. Bourne dan Walker menunjukkan bahwa kebutuhan terhadap keterlibatan pemangku kepentingan dalam proyek merupakan kekuasaan atau kekuatan yang kuat dan transparan. Sikap pemangku kepentingan merefleksikan apakah pemangku kepentingan bersikap mendukung atau beroposisi terhadap proyek. Sikap ini merupakan tanda bagi manajer proyek agar peduli terhadap pengaruh positif atau negatif pemangku kepentingan dalam mencapai keluaran proyek. Ada lima tingkatan sikap pemangku kepentingan yaitu aktif oposisi, pasif oposisi, tidak berkomitmen, pasif mendukung, dan aktif mendukung [3,7].

## METODOLOGI

Tahap pertama, melakukan survei dan identifikasi pemangku kepentingan program PLTN di Indonesia. Tahap kedua, melakukan penilaian dengan parameter *interest* dan *power* untuk masing-masing *stakeholder* dengan skala penilaian 1 – 5. Tahap ketiga, memetakan hasil penilaian menggunakan Matriks Mendelow, dalam tahap ini dapat diketahui ranking *stakeholder* dan posisi masing-masing *group stakeholder* dalam matriks Mendelow. Tahap keempat verifikasi dan analisis hasil Matriks Mendelow. Tahap kelima penyusunan strategi keterlibatan pemangku kepentingan (*stakeholder involvement*).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Group Penggerak dan Keteknikan

Group penggerak beranggotakan para pemangku kepentingan yang memiliki kemampuan untuk menggerakkan program PLTN. Dengan segala kewenangan dan otoritas yang dimiliki pada batas-batas tertentu mampu mewujudkan program PLTN berjalan dengan baik. Persoalan yang muncul adalah masalah ketertarikan (*interest*) mereka pada program tersebut. Anggota kelompok ini meliputi Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bapenas), Dewan Energi Nasional (DEN), PT. PLN, Kementerian Ristek Dikti, Kementerian Perindustrian, Kementerian Keuangan, Badan Tenaga Nuklir Nasional (Batan), dan Pemerintahan Provinsi. Anggota group keteknikan mencakup Batan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Kementerian PUPR), Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Bapeten), Asosiasi Keteknikan, dan Kementerian Lingkungan Hidup.

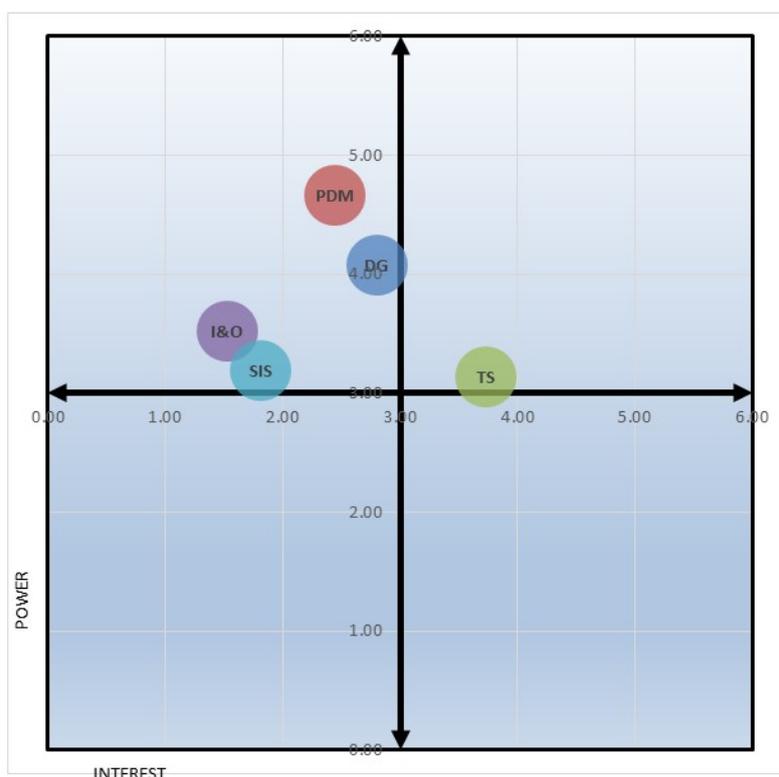
Kementerian ESDM memiliki otoritas dalam kebijakan energi nasional. Dengan kewenangan yang dimilikinya, ESDM mempunyai kekuasaan (*power*) untuk menyusun program pembangunan PLTN yang dapat dituangkan dalam bentuk Peraturan Pemerintah atau Peraturan Presiden atau Peraturan Menteri, buku cetak biru (*blue print*) dan lainnya. Perumusan program tersebut dapat diwujudkan lewat saluran komunikasi yang tersedia seperti rapat koordinasi, *focus group discussion* serta penggunaan jalur komunikasi informal seperti silaturahmi/lobi dan WA group. Menteri ESDM dapat menunjuk para pejabat eselon I dan II untuk berkomunikasi dan berkoordinasi dengan instansi terkait sebagai mitra.

Bapenas sebagai instansi yang memiliki kewenangan dalam perencanaan pembangunan nasional dapat memasukan program PLTN dalam program prioritas pembangunan nasional. Dengan demikian pendanaan secara formal akan dapat dialokasikan, baik dengan APBN murni maupun dengan model pendanaan dengan pihak ketiga yang melibatkan peran Badan Usaha Milik Negara (BUMN) dan pihak swasta. Harus ada dukungan dari instansi teknis yang berkaitan dengan masalah ini terutama Batan, Bapeten, Kementerian PUPR, Asosiasi Keteknikan dan Kementerian Lingkungan Hidup yang memiliki sumber daya manusia yang terkait dengan teknologi nuklir, perijinan PLTN, konstruksi, dampak lingkungan dan masalah keteknikan lainnya. Kementerian Perindustrian yang memiliki kewenangan dalam menyusun kebijakan industri nasional juga harus dilibatkan. Kemenperin dapat menyusun program yang berkaitan dengan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) untuk PLTN dan menyusun program pengembangan industri nuklir dalam perspektif program industri nasional. Dengan demikian dukungan industri nasional pada pembangunan PLTN menjadi wujud nyata dalam meningkatkan TKDN.

Inisiasi program PLTN dapat juga datang dari pemerintah provinsi (Pemprov) yang secara faktual memahami kebutuhan penyediaan listrik untuk wilayahnya. Pemprov dapat mengajukan kepada pemerintah pusat untuk pembangunan PLTN dengan didasarkan pada

perencanaan energi yang secara komprehensif telah mempertimbangkan kebutuhan energi listrik jangka pendek, menengah dan panjang. Ini memerlukan studi kelayakan yang melibatkan banyak pemangku kepentingan seperti PT. PLN, Batan, BPPT, Badan Pusat Statistik, Dewan Energi Nasional, Kementerian ESDM, Kemenperin dan instansi lainnya.

Pada peta Mendelow anggota group penggerak umumnya tersebar pada kwadran C dan D. Untuk kwadran D, upaya yang harus dijalankan adalah melibatkan semua pemangku kepentingan dalam melakukan usaha yang sangat besar guna mewujudkan program pembangunan PLTN agar dapat memberikan kebanggaan dan kepuasan pada mereka. Bebearapa hal yang dapat dilakukan diantaranya mewujudkan Kepres tentang pembentukan organisasi sebagai pelaksana program pembangunan PLTN, peraturan tentang TKDN pembangunan PLTN, peraturan yang berkaitan dengan pendanaan PLTN, penjadwalan pembangunan PLTN, dan Surat Keputusan pembentukan organisasi manajemen proyek PLTN.



Keterangan:

- DG: Driving Group (Group Penggerak)
- PDM: Political Decision Maker (Pengambil keputusan politik)
- TS: Technical Support (pendukung keteknikan)
- I&O: Interest and Opinion (Pemerhati dan pembuat opini)
- SIS: Social and Institution Support (Ormas dan Lembaga pendukung)

Gambar 2. Posisi pemangku kepentingan dalam peta Mendelow

### Pengambil Keputusan Politik

Kelompok ini terdiri dari lembaga kepresidenan (Presiden), Dewan Perwakilan Rakyat (DPR), dan partai politik. Sesuai dengan dengan UU No. 10 Tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, Presiden Republik Indonesia memiliki kewenangan dalam menetapkan pembangunan PLTN setelah berkonsultasi terlebih dahulu dengan DPR. Penetapan kebijakan pembangunan ini dapat berupa Peraturan Presiden (Perpres) atau Keputusan Presiden (Kepres). Penetapan ini akan ditindak lanjuti dengan pembentukan organisasi sebagai pelaksana proyek pembangunan PLTN dan organisasi yang bertindak sebagai pemilik, dan operator PLTN.

DPR sebagai lembaga legislatif memiliki peranan yang penting dalam menggolkan program PLTN di Indonesia. DPR sebagai representatif dari masyarakat Indonesia terdiri dari fraksi-fraksi yang mewakili partai politik. Mereka memiliki karakter dan kepentingan yang berbeda-beda sesuai dengan kepentingan partai politik pengusungnya. Fakta ini menjadi

kerumitan tersendiri ketika inisiator program PLTN mengajukan proposal pada pemerintah. Sesuai dengan kewenangan yang dimilikinya DPR dapat menggagalkan atau menolak program PLTN, oleh karena itu hubungan baik dengan semua fraksi yang ada di DPR dan dukungan dari mayoritas partai politik yang ada di Indonesia menjadi suatu keharusan sebelum proposal program PLTN diajukan. Saluran komunikasi yang dapat digunakan pada mereka terdiri dari rapat koordinasi, *focus group discussion (FGD)*, blue print, silaturahmi/lobi, WA Group dan lainnya.

Pada peta Mendelow Gambar 2, kelompok pengambil keputusan politik secara umum berada pada kwadran C dengan power (kewenangan) yang tinggi namun memiliki ketertarikan yang rendah. Upaya yang dapat dilakukan untuk mendorong pada kwadran D adalah dengan memberikan pemahaman dan argumentasi yang meyakinkan akan pentingnya program PLTN. Untuk mencapai hal tersebut dibutuhkan adanya proposal program PLTN yang secara politik dapat memberikan manfaat bagi masyarakat dan semua pemangku kepentingan.

### **Pemerhati, Pembuat Opini, Ormas dan Lembaga Pendukung**

Kelompok ini terdiri dari para pemerhati teknologi, pemerhati lingkungan, pengamat sosial, kolumnis, media massa, dan ormas keagamaan. Yang termasuk pemerhati lingkungan antara lain Walhi, Green Peace, dan pribadi-pribadi yang konsen pada masalah lingkungan hidup. Ormas keagamaan antara Nahdatul Ulama (NU), Muhammadiyah, Persatuan Islam (Persis), Persatuan Gereja Indonesia (PGI) dan ormas lainnya. Anggota lembaga pendukung meliputi Tentara Nasional Indonesia, Kepolisian Republik Indonesia, dan Kementerian Dalam Negeri. Untuk Pemerhati, pembuat opini dan ormas secara umum kekuatan mereka pada pengaruhnya (power) dalam membuat opini di masyarakat, membuat penolakan atas penerimaan masyarakat (public acceptance) terhadap program PLTN. Mereka dapat mengekspresikannya melalui tulisan di media cetak, televisi, radio, email, dakwah langsung, WA group, dan dalam bentuk demonstrasi. Penggiringan opini masyarakat ini bisa berakibat fatal pada kegagalan program PLTN.

Secara umum posisi mereka dalam peta Mendelow berada pada kwadran A dan C. Mereka yang berada pada kwadran A menunjukkan pengaruh dan ketertarikan yang rendah pada program PLTN sedangkan pada posisi kwadran C, menunjukkan mereka mempunyai pengaruh yang kuat namun memiliki ketertarikan yang rendah pada program PLTN. Mereka yang berada di kwadran A umumnya ormas, sedangkan yang berada pada kwadran C umumnya pemerhati, pembuat opini, dan lembaga pendukung. Usaha yang harus dilakukan adalah bagaimana mendorong mereka yang berada pada kwadran C didorong kedalam kwadran D. Sedangkan mereka yang berada pada kwadran A selama tidak ada potensi mengganggu program PLTN bisa dibiarkan begitu saja atau jika memungkinkan dan mudah dapat didorong menuju kwadran D. Migrasi dari kwadran lain menuju kwadran D memerlukan upaya yang sungguh-sungguh oleh semua pemangku kepentingan dengan memanfaatkan semua saluran komunikasi yang tersedia dan pemahaman yang sama akan tujuan program pembangunan PLTN.

### **Strategi Keterlibatan Pemangku Kepentingan**

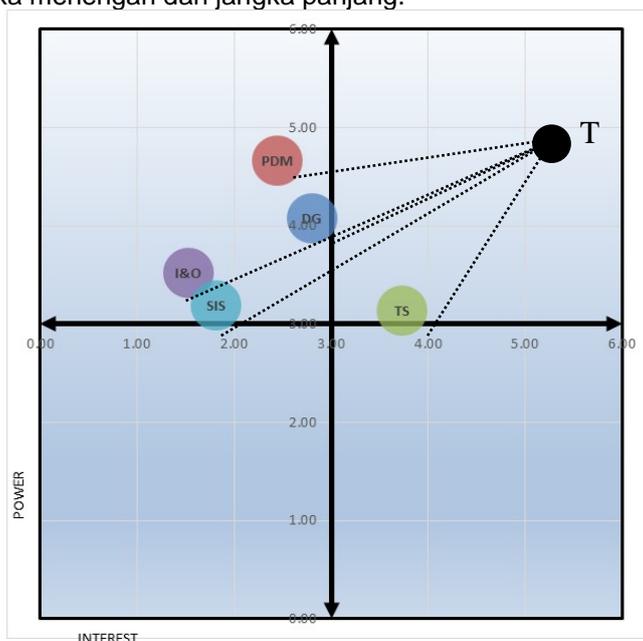
Mengelola Keterlibatan Pemangku Kepentingan adalah proses berkomunikasi dan bekerja dengan pemangku kepentingan untuk memenuhi kebutuhan / harapan mereka, mengatasi masalah saat itu terjadi, dan mendorong keterlibatan pemangku kepentingan yang tepat dalam kegiatan proyek sepanjang siklus hidup proyek. Manfaat utama dari proses ini adalah memungkinkan manajer proyek untuk meningkatkan dukungan dan meminimalkan resistensi dari para pemangku kepentingan, dan secara signifikan dapat meningkatkan peluang untuk mencapai keberhasilan proyek.

Berdasarkan hasil analisis maka dapat ditentukan bentuk strategi untuk mengelola pemangku kepentingan. Manajemen pemangku-kepentingan dapat menggunakan metode komunikasi, negosiasi, kolaborasi formal dan memelihara hubungan atau relasi serta membina mereka agar dapat berperilaku untuk menunjang kelancaran proyek atau kegiatan program PLTN dan bermanfaat untuk pemangku-kepentingan lainnya. Jika mereka (pemangku-kepentingan) tidak acuh terhadap proyek yang berjalan, maka perusahaan dapat sekadar memberikan informasi tentang perkembangan proyek jika ada pertanyaan. Sebaliknya jika mereka menentang keberadaan proyek, maka perusahaan harus melakukan negosiasi. Namun jika pemangku-kepentingan mendukung keberadaan proyek, maka mereka dapat dilibatkan dalam kegiatan perusahaan.

Jika peluang untuk terlibat dalam proyek tidak memungkinkan, maka perusahaan dapat melibatkan mereka dalam kegiatan *community development*. Kegiatan yang dapat diciptakan tentunya tergantung kebutuhan masyarakat. Oleh sebab itu perusahaan juga perlu melakukan pemetaan atas kebutuhan dan potensi masyarakat setempat sebagai dasar utama untuk melakukan pelibatan pemangku-kepentingan. Metode pelibatan dapat berbentuk formal maupun informal. Bentuk formal kepada pemangku-kepentingan di luar perusahaan misalnya melalui surat resmi, laporan resmi, website, dan lainnya. Sedangkan informal bisa berupa silaturahmi rutin melalui mengobrol di warung kopi, SMS, komunikasi lewat telepon genggam, atau lainnya. Metode pelibatan formal untuk pemangku-kepentingan di dalam perusahaan dapat berupa surat elektronik, surat resmi, laporan resmi, presentasi, dan lainnya. Sedangkan informal misalnya melalui percakapan langsung, *WhatsApp Group*, dan lainnya.

Berdasarkan pada karakteristik pemangku kepentingan dan posisinya pada matriks Mendelow dapat dibuat strategi yang secara komprehensif dapat mengarahkan keterlibatan mereka dalam mewujudkan program PLTN yang dapat diterima oleh semua pihak dalam rangka terwujudnya alih teknologi dan substitusi energi yang berkesinambungan. Strategi sebagaimana yang dimaksud dipaparkan dalam tabel 3. Strategi dibuat untuk masing-masing kelompok pemangku kepentingan yang memiliki karakter dan otoritas/tanggung jawab yang berbeda-beda. Keluaran dari strategi group penggerak berupa aturan yang diperlukan dalam implementasi program nuklir, untuk group pembuat keputusan politik berupa proposal proyek pembangunan PLTN yang mampu meyakinkan dan dapat diterima oleh para pihak pembuat keputusan. Proposal ini dapat dibuat oleh kelompok pendukung keteknikan dengan otorisasi dan kajian dari kelompok penggerak. Keluaran group pemerhati dan pembuat opini, dan group ormas dan lembaga pendukung dapat berwujud program sosialisasi dan penerimaan masyarakat (*public acceptance*) dengan mempertimbangkan kepentingan nasional dan posisi strategis Indonesia dalam pergaulan dunia sebagai bangsa yang berdaulat dan mandiri.

Peranan Kementerian ESDM dalam mengkoordinasikan dan mengarahkan para pemangku kepentingan untuk mencapai satu visi dan tujuan yang sama menjadi sangat penting. Di sini membutuhkan peranan secara menyeluruh semua strata kementerian ESDM untuk menggolkan program pembangunan PLTN dengan dukungan dari berbagai instansi lain seperti Batan, DEN, Bapeten, Kemenperin, Ristek Dikti, KLH, calon vendor dan pihak terkait lainnya. Kementerian ESDM sebagai pemegang kebijakan penyediaan energi nasional harus menjadi pemimpin (*leader*) dalam aktivitas keterlibatan pemangku kepentingan (*stakeholder involvement*) sedangkan para pemangku kepentingan lainnya sebagai anggota dan pendukung sesuai kemampuan dan latar belakangnya. Pemikiran dan kemampuan para anggota group harus dapat dieksplorasi sepenuhnya dalam kegiatan ini untuk mencapai target jangka pendek, jangka menengah dan jangka panjang.



Gambar 3. Target strategi keterlibatan pemangku kepentingan

Strategi keterlibatan pemangku kepentingan dimaksudkan untuk mengarahkan semua kelompok pemangku kepentingan bergerak ke satu titik target T dalam kuadran D seperti diperlihatkan Gambar 3. Dengan demikian maka seluruh kelompok memiliki persepsi dan arah yang sama dengan program PLTN yang sedang dijalankan. Secara lengkap strategi ini dipaparkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Strategi keterlibatan pemangku kepentingan dalam implementasi program PLTN

Group Pemangku Kepentingan	Strategi
Penggerak (Driving)	Membuat berbagai aturan sebagai landasan hukum untuk implementasi program PLTN di Indonesia dalam bentuk Peraturan Pemerintah (PP), Peraturan Presiden (Perpres), Keputusan Presiden (Kepres), Peraturan Menteri (Permen), Keputusan Menteri (Kepmen), Peraturan Gubernur (Pergub), Peraturan Kepala (Perka) dan lainnya.
Pembuat keputusan politik	Meyakinkan Presiden, DPR dan partai politik melalui lobi dan proposal program PLTN yang komprehensif dengan penekanan pada alih teknologi dan substitusi energi.
Pendukung keteknikan	Membuat proposal proyek pembangunan PLTN yang secara rasional dapat diterima oleh Presiden, DPR dan partai politik.
Pemerhati dan pembuat opini	Merangkul mereka untuk mensosialisasikan pentingnya program PLTN bagi bangsa Indonesia dilihat dari berbagai aspek dan sudut pandang kepentingan nasional dengan mempertimbangkan posisi strategis Indonesia dalam kawasan regional dan dunia.
Kemasyarakatan dan lembaga pendukung	Merangkul mereka untuk mensosialisasikan pentingnya program PLTN bagi bangsa Indonesia dilihat dari berbagai aspek dan sudut pandang dalam memberikan kemaslahatan pada rakyat.

## KESIMPULAN

Berdasarkan karakteristik pemangku kepentingan program PLTN di Indonesia dan posisinya pada matriks Mendelow dapat dibuat strategi yang secara komprehensif dapat mengarahkan keterlibatan mereka dalam mewujudkan program PLTN yang dapat diterima oleh semua pihak. Strategi dibuat untuk masing-masing kelompok pemangku kepentingan yang memiliki karakter dan otoritas/tanggung jawab yang berbeda-beda. Berdasarkan kajian ini, strategi yang diperlukan group penggerak berupa pembuatan aturan yang diperlukan dalam implementasi program nuklir, untuk group pembuat keputusan politik berupa proposal proyek pembangunan PLTN yang mampu meyakinkan dan dapat diterima oleh para pihak pembuat keputusan. Proposal ini dapat dibuat oleh kelompok pendukung keteknikan dengan otorisasi dan kajian oleh kelompok penggerak. Keluaran group pemerhati dan pembuat opini, dan group ormas dan lembaga pendukung dapat berwujud program sosialisasi dan penerimaan masyarakat (*public acceptance*) dengan mempertimbangkan kepentingan nasional dan posisi strategis Indonesia dalam pergaulan dunia sebagai bangsa yang berdaulat dan mandiri.

---

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] R. Edward Freeman, Jeffrey S. Harrison, Andrew C. Wikcs, Bidhan L. Parmer, Simone De Colle, "Stakeholder Theory, The State of The Art". Cambridge 2010
- [2] <https://www.praxisframework.org/id/knowledge/stakeholder-management>
- [3] Herry Pintardi Chandra, Indarto, Putu Artama Wiguna dan Peter Kamin, "Peran Kondisi Pemangku Kepentingan Dalam Keberhasilan Proyek", Jurnal Manajemen dan Kewirausahaan, Vol.13 No.2, September 2011, Hal. 135 – 150
- [4] Busyra Azheri, Corporate Social Responsibility; Dari Voluntary Menjadi Mandatory, Rajawali Pers, Jakarta, 2012, hlm.112
- [5] Christian Prell, Klaus Hubachek, Mark Reed, "Stakeholder Analysis and Social Network Analysis in Natural Resource Management", International Journal of Society & Natural Resources, Volume 22, 209-Issue 6
- [6] Iis Alviya, Elvida Y. Suryandari, Retno Maryani & M. Zahrul Muttaqin, "Meningkatkan Peran Pemangku Kepentingan Dalam Pengelolaan Wilayah Hulu Daerah Aliran Sungai Ciliwung", Jurnal Penelitian Sosial dan Ekonomi Kehutanan Vol. 13 No. 2 Agustus 2016, Hal. 121-134
- [7] Dea Wemona Rahma, Anisah Herdiyanti, Hanim Maria Astuti, "Perencanaan Strategi Manajemen Stakeholder untuk Program Implementasi ERP di PTPN XI", Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Industri (SNTIKI) 9, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru, 18-19 Mei 2017
- [8] Irine Kusumatantya, "Peran Pemangku Kepentingan Dalam Pembentukan Komunitas Guna Mencapai Ketahanan Sosial Ekonomi Masyarakat", Jurnal Wilayah Dan Lingkungan Volume 1 Nomor 1, April 2013, Hal. 33-48
- [9] A Guide to the Project Management Body of Knowledge, Fifth Edition, 2013, ISBN: 978-1-935589-67-9
- [10] [https://id.wikipedia.org/wiki/Pemangku\\_kepentingan](https://id.wikipedia.org/wiki/Pemangku_kepentingan)
- [11] Preparation of a Feasibility Study for New Nuclear Power Projects, IAEA Nuclear Energy Series No. NG-T-3.3

## **EVALUASI USULAN KEGIATAN BATAN 2015-2018 SEBAGAI BACKGROUND STUDY RENSTRA 2020-2024**

**Yuri Garini, Yogi Sugiawan**

*Biro Perencanaan-BATAN, Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710  
email: [riniga17@gmail.com](mailto:riniga17@gmail.com)*

### **ABSTRAK**

**EVALUASI USULAN KEGIATAN BATAN 2015-2018 SEBAGAI BACKGROUND STUDY RENSTRA 2020-2024.** Identifikasi isu strategis yang dirumuskan dengan tepat dan lengkap sangat dibutuhkan dalam penyusunan Rencana Strategis (Renstra) BATAN periode 2020-2024. Oleh karena itu perlu adanya *background study* untuk penyusunan Rencana Strategis (Renstra) BATAN tersebut sebagaimana latar belakang baik bersifat umum maupun khusus dari fenomena-fenomena yang ada yang digunakan sebagai dasar melakukan indentifikasi masalah yang harus diselesaikan pada penelitian. Penyusunan Renstra 2020-2024 tidak lepas dari perencanaan nasional yang dimulai perencanaan pembangunan jangka panjang (RPJP) 2005-2024 dan rencana pembangunan jangka menengah (RPJMN) 2020-2024. Permasalahan yang ada pada Renstra 2015-2019 dapat dievaluasi dari berbagai sudut pandang, salah satunya masih tidak fokusnya penelitian mengakibatkan perumusan tujuan, sasaran, target dan indikator masih belum sepenuhnya selaras dengan RPJMN 2015-2019. Metodologi pengambilan data penelitian menggunakan sekunder sedangkan metode pengolahan data menggunakan analisis deskriptif kualitatif untuk merumuskan kebijakan strategis. Hasil penelitian ini memberikan arah kebijakan (rekomendasi) terhadap Renstra 2020-2024 yang tidak terlepas dari peraturan yang terkait industri, energi dan rencana induk riset nasional dan peraturan lain yang menunjang prioritas nasional (PN) maupun prioritas riset nasional (PRN).

Kata kunci: Perencanaan, Renstra, Peraturan, Prioritas Nasional, Prioritas Riset Nasional.

### **ABSTRACT**

**EVALUATION OF PROPOSAL ACTIVITIES OF BATAN 2015-2018 AS BACKGROUND STUDY OF RENSTRA 2020-2024.** Identification of strategic issues that are formulated correctly and completely is needed in the preparation of the Strategic Plan (Renstra) of BATAN for the period 2020-2024. Therefore it is necessary to have a background study for the preparation of the BATAN Strategic Plan (Renstra) as the background, both general and specific nature of the phenomena that are used as a basis for identifying problems that must be resolved in research. The preparation of the 2020-2024 Strategic Plan cannot be separated from the national planning that began the 2005-2024 long-term development plan (RPJP) and the 2020-2024 medium-term development plan (RPJMN). The problems that exist in the 2015-2019 Strategic Plan can be evaluated from a variety of perspectives, one of which is the unfocused research which has resulted in the formulation of goals, targets, targets and indicators that are still not fully aligned with the 2015-2019 RPJMN. The research data collection methodology uses secondary while the data processing method uses descriptive qualitative analysis to formulate strategic policies. The results of this study provide policy directions (recommendations) for the 2020-2024 Strategic Plan which are inseparable from regulations related to industry, energy and the national research master plan and other regulations that support national priorities (PN) and national research priorities (PRN).

Keywords: Planning, Strategic Plan, Regulation, National Priority, National Research Priority.

### **PENDAHULUAN**

Rencana Strategis (Renstra) merupakan dokumen perencanaan yang harus dimiliki organisasi yang merupakan arah kebijakan yang akan dituju pada jangka menengah, sesuai Peraturan Menteri Perencanaan Pembangunan Nasional/Kepala Badan Perencanaan Pembangunan Nasional Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 tentang Pedoman Penyusunan dan Penelaahan Rencana Strategis Kementerian/Lembaga (Renstra K/L) 2015-2019, yang mana Kementerian/Lembaga wajib menyusun Renstra yang berpedoman pada Rencana Pembangunan Jangka Menengah dan memuat visi, misi, tujuan, strategi, kebijakan, program dan kegiatan pembangunan sesuai tugas dan fungsinya. Renstra

BATAN 2015-2019 disusun dengan mengacu RPJP 2005-2025 dan RPJMN III tahun 2015-2019 dengan penekanan daya saing kompetitif perekonomian berlandaskan keunggulan sumber daya alam, sumber daya manusia berkualitas serta kemampuan iptek yang meningkat. Dalam rangka menyusun Renstra BATAN 2020-2024 mengacu pada RPJMN IV tahun 2020-2024 yaitu pembangunan ekonomi pada tahap pengembangan *compepetitive advange* (keunggulan kompetitif) melalui inovasi dan peningkatan produktivitas. *Background Study* diartikan sebagai latar belakang baik bersifat umum maupun khusus dari fenomena-fenomena yang ada yang digunakan sebagai dasar melakukan indentifikasi masalah yang harus diselesaikan pada penelitian. Kajian *background study (background paper)* ini bertujuan untuk mengidentifikasi isu-isu strategis yang berkembang dan proyeksi ke depan di bidang iptek nuklir serta menyusun kebijakan iptek nuklir sebagai input dalam penyusunan Renstra 2020-2024. Indentifikasi terhadap isu stratgeis dalam kajian hanya terbatas pada isu strategis eksternal yang berada di luar BATAN yaitu berupa peluang dan tantangan yang berasal dari luar organisasi yang dapat dilakukan oleh BATAN sesuai dengan tugas pokok dan fungsi BATAN. Diharapkan isu strategis ini dapat dirumuskan dengan tepat dan lengkap sangat dibutuhkan dalam penyusunan Rencana Strategis (Renstra) BATAN periode 2020-2024.

Beberapa permasalahan yang perlu mendapat perbaikan dalam Renstra 2020-2024 diperoleh dari hasil kaji diri (*self assessmen*) maupun hasil evaluasi atas Laporan Kinerja BATAN Renstra 2015-2019 adalah perumusan tujuan, sasaran, target dan indikator masih belum sepenuhnya selaras, masih ditemuinya kegiatan kegiatan selesu berlanjut (*never ending*), kegiatan yang terlalu banyak dan tidak fokus. Oleh karena itu untuk memperbaiki kondisi tersebut maka dalam penyusunan Renstra Batan 2020-2020 perlu evaluasi terhadap kegiatan Renstra 2015-2019 sebagai dasar background study penyusunan Renstra 2020-2024. Hasil penelitian memberikan arah kebijakan (rekomendasi) terhadap Renstra 2020-2024 yang tidak terlepas isu-isu eksternal yang diatur dalam peraturan yang terkait fokus bidang yang terkait pada kegiatan riset nasional dan peraturan lain yang menunjang prioritas nasional (PN) maupun prioritas riset nasional (PRN).

## TEORI POKOK BAHASAN

Isu Lingkungan Strategis. Langkah awal yang dapat dilakukan dalam melakukan analisis terhadap lingkungan strategis adalah dengan cara mengidentifikasi isu-isu publik yang muncul yang bersifat strategis dan relevan bagi BATAN. Lawrence dan Weber [1] mendefinisikan isu publik sebagai permasalahan yang menjadi perhatian bersama, baik itu bagi suatu organisasi maupun bagi para stakeholdernya. Kemudian, Lawrence dan Weber menegaskan bahwa suatu organisasi harus mampu merespon isu publik yang baru muncul secara cepat dan tepat. Suatu organisasi harus memiliki sebuah metode yang sistematis untuk mengidentifikasi, memantau, dan memilih isu publik yang bersifat strategis dan relevan bagi organisasi tersebut. Dengan menerapkan metode analisis lingkungan tersebut maka suatu organisasi dapat mengumpulkan informasi tentang trend dan perubahan yang terjadi pada lingkungannya sebagai bahan untuk merumuskan strategi organisasi. Wheelen dan Hunger [2] menyebut proses analisis lingkungan internal ini sebagai analisis organisasi. Wheelen dan Hunger mengingatkan tentang perlunya melakukan evaluasi terhadap pentingnya sumber daya, kemampuan dan kompetensi dari suatu organisasi untuk memastikan apakah faktor-faktor internal tersebut benar-benar bersifat strategik yang berpengaruh terhadap masa depan dari organisasi

BATAN perlu melakukan analisis terhadap lingkungan strategis dengan melakukan analisis terhadap lingkungan baik eksternal dan internal dengan mengidentifikasi isu-isu strategik di lingkungan internal dan eksternal serta tinjauan kebijakan terkait perkembangan teknologi kedepan pada Rencana Induk Riset Nasional 2017-2014 dan Prioritas Riset Nasional 2020-2024. Menurut Wheelen dan Hungler, analisis lingkungan yaitu proses mengumpulkan informasi, hal tersebut sejalan dengan *background study* penyusunan Rencana Strategis (Renstra) BATAN sebagai latar belakang baik bersifat umum maupun khusus dari fenomena-fenomena yang ada yang digunakan sebagai dasar melakukan indentifikasi masalah yang harus diselesaikan pada penelitian.

## METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan desain penelitian deskriptif. Penelitian deskriptif bertujuan untuk menggambarkan secara tepat sifat-sifat suatu individu, kelompok tertentu, atau

menentukan frekuensi penyebaran suatu gejala, atau frekuensi adanya pengaruh tertentu antara suatu gejala lain dalam masyarakat [3]. Teknik pengumpulan data dan informasi dalam penelitian ini menggunakan data sekunder. Data sekunder diperoleh dari literatur dan dokumen RPJMN 2015-2019 serta data yang berasal dari aplikasi SIPL2 milik BATAN. Pengolahan data dilakukan dengan menginput data pada aplikasi Microsoft Words kemudian mengolah dan menganalisisnya untuk menjawab tujuan penelitian.

Kerangka pemikiran penelitian dapat diuraikan pada tahapan berikut dan terlihat pada gambar 1.

1. Mengumpulkan sumber data yang meliputi data sekunder yang ada baik dari dokumen perencanaan dari RPJMN 2015-2019, data sekunder dari Aplikasi SIPL2 berupa usulan Kerangka Acuan Kerja (KAK), dan peraturan-peraturan yang terkait dengan perencanaan dan litbang BATAN.
2. Merumuskan permasalahan.
3. Melakukan analisis kebijakan berdasarkan data dokumen, sebagai analisis kebijakan strategis dalam penyusunan Renstra 2020-2024.
4. Memberikan rekomendasi



## HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi permasalahan pada Renstra 2015-2010 dapat diidentifikasi dari hasil evaluasi oleh Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi (KemenPANRB) pada tahun 2015-2018 ada beberapa kelemahan dalam Renstra 2015-2019 yaitu (a). Perumusan visi, misi dan tujuan kurang dapat terukur walaupun telah ada ukuran keberhasilan berupa indikator kinerja utama; (b). Perumusan tujuan dan sasaran Renstra 2015-2019 kurang menggambarkan permasalahan yang ada di masyarakat (*stakeholder*), masih melihat keunggulan dari sudut pandang BATAN bukan dari sudut pandang kebutuhan masyarakat; (c). Perumusan tujuan dan sasaran Renstra 2015-2019 juga belum sepenuhnya dibuat secara berjenjang (*cascade*), yang mengakibatkan antara tujuan, sasaran, program, kegiatan dan indikatornya kurang selaras, sehingga sasaran belum sepenuhnya dapat terukur ; (d). Struktur Renstra BATAN 2015-2019 yang dibuat dengan mengacu pada pedoman Renstra Bappenas, ternyata tidak sesuai dengan kriteria evaluasi kinerja oleh KemenPAN-RB. Kelemahan tersebut menyebabkan adanya ketidakselarasan sehingga sasaran belum sepenuhnya dapat terukur karena program dan kegiatan yang terlalu banyak, tidak fokus sehingga sulit merumuskan tujuan dan sasaran. Hal tersebut sesuai dengan data terhadap usulan Kerangka Acuan Kegiatan (KAK) pada periode Renstra 2015-2019 jumlah Usulan KAK BATAN di tahun 2015-2019 sangat banyak, baik dari usulan output maupun sub output seperti nampak pada tabel 1.berikut, sehingga kegiatan tidak fokus yang mengakibatkan tujuan dan sasaran tidak fokus dan sulit terukur.

Tabel 1. Jumlah Usulan KAK 2015-2018 berserta pagu indikatif

Tahun	KAK Output	KAK Sub Output
2015	158	432
2016	147	366
2017	161	447
2018	172	462

Sumber : Renja BATAN 2015-2018 pada Aplikasi SIPL2



Sedangkan usulan anggaran BATAN di tahun 2015-2019 terlihat pada tabel 2 tidak mengalami kenaikan, namun jumlah KAK Ouput dan Sub Ouput cenderung meningkat. dan cenderung turun.

Tabel 2. Usulan Anggaran BATAN Tahun 2015 -2018

Tahun	Usukan Anggaran KAK	Usulan Pagu Indikatif
2015	1.581.506.513.561	911.670.500.000
2016	1.445.435.850.813	806.904.330.000
2017	1.670.640.478.515	898.904.330.000
2018	1.468.996.494.000	896.534.644.000

Sumber : Renja BATAN 2015-2018 pada Aplikasi SIPL2



Dengan jumlah anggaran yang terbatas yang diperoleh BATAN maka pemerintah mulai tahun 2017 menetapkan fokus riset dalam mendukung prioritas riset nasional (PRN) guna menfokuskan kegiatan penelitian yang terlalu banyak dan tidak fokus. Pada tahun periode Renstra BATAN 2015-2019, BATAN telah melaksanakan PRN sesuai dengan tupoksinya, dengan 3 fokus riset yaitu (1).Pangan-.Pertanian; (2) Energi Baru dan Terbarukan; (3). Material Maju. Adapun rincian terhadap kegiatan PRN terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tiga fokus riset BATAN pada PRN [4]

No.	Fokus Riset –Tema –Topik	Target Capaian 2017-2019
1.	<p>Pangan – Pertanian</p> <p><i>Teknologi Pemuliaaan Bibit Tanaman</i></p> <p><i>Pemanfaatan teknik radiasi untuk pencarian galur mutan unggul</i></p> <p><i>Teknologi iradiasi pengawetan hasil pertanian</i></p>	<p>5 varietas unggul dan 2 publikasi</p> <p>1 prototipe teknologi radiasi pengawetan (pilot plant Iradoator Gamma dan 2 publikasi</p>
2.	<p>Energi – Energi Baru dan Terbarukan</p> <p><i>Teknologi Ketahanan Energi, Diversifikasi Energi dan Penguatan Komunitas Sosial</i></p> <p><i>Penyiapan infrastruktur PLTN</i></p>	<p>1 dokumen teknis infrastruktur pendukung proyek PLTN dan 2 publikasi</p>
3.	<p>Material Maju</p> <p><i>Teknologi Pengolahan Mineral Strategis Berbahan Baku Lokal</i></p> <p><i>Ekstraksi dan rancang bangun pabrik logam tanah jarang</i></p>	<p>1 pilot plant pengolahan logam tanah jarang menjadi logam stratgeis bernilai ekonomis tinggi, 2 Publikasi</p>

Dari 10 fokus riset, 38 tema riset, 125 topik pada Prioritas Riset Nasional, BATAN di tahun 2017-2019 telah berperan pada 3 fokus riset, 3 tema riset dan 4 topik riset. Diharapkan pada PRN tahap kedua di tahun 2020-2024 BATAN lebih dapat menyumbangkan topik riset yang lebih banyak. Dalam hubungan PRN dengan dokumen perencanaan RPJMN 2015-2019 yang terdapat matrik bidang pembangunan terdapat perbedaan target. Hal tersebut dapat dibandingkan dengan melihat Tabel 3 dan Tabel 4

Tabel 4. Target capaian pada matrik bidang RPJMN 2015-2019 [5]

No.	Indikator Kegiatan	Target Capaian 2015-2019					Ket.
		2015	2016	2017	2018	2019	
1.	Jumlah galur harapan	3	3	3	3	3	PAIR
	<i>Jumlah aplikasi bidang pangan pertanian, kesehatan, industri</i>	5	5	5	5	5	PAIR
	<i>Jumlah metode pemanfaatan lahan sub optimal</i>	1	1	1	1	1	PAIR
	<i>Jumlah protipe produk polimer</i>	1	1	1	1	1	PAIR
2.	Jumlah prototipe iradiator untuk pengawetan bahan pangan yang dikembangkan	1	1	1	1	1	PRFN
	<i>Jumlah perangkat nuklir bidang industri</i>	1	1	1	1	1	PRFN
	<i>Jumlah perangkat nuklir bidang kesehatan</i>	1	1	1	1	1	PRFN
	<i>Jumlah perangkat nuklir bidang SDAL</i>	1	1	1	1	1	PRFN
	<i>Jumlah dokumen insfrastruktur pendukung</i>	1	1	1	1	1	PRFN

	<i>RDE</i>						
3.	Jumlah Dokumen Infrastruktur Pendukung Proyek PLTN	1	1	1	1	1	PKSEN
	<i>Jumlah data geologi calon tapak RDE</i>	1	1	1	1	1	PKSEN
4.	Jumlah prototipe pilot plant pengolahan logam tanah jarang menjadi logam strategis bernilai ekonomis tinggi	1	1	1	1	1	PTBGN
	<i>Jumlah dokumen infrastruktur pendukung RDE</i>	1	1	1	1	1	PTBGN

Sumber : Matrik RPJMN 2015-2019

Pada dokumen RPJMN 2015-2019 terdapat 14 fokus kegiatan BATAN dengan 60 indikator lainnya, sedangkan pada PRN hanya memfokuskan pada 4 topik kegiatan atau 3 fokus riset dan 4 indikator. Indikator kegiatan yang banyak juga terdapat pada Renstra BATAN 2015-2019 sebanyak 182 indikator. Sehingga dari suatu lembaga perlunya fokus kegiatan yang mendukung pada kegiatan riset nasional. Prioritas Riset Nasional yang ditargetkan pada Renstra 2015-2019 setiap tahunnya temanya tidak sama, PRN BATAN 2015-2019 yaitu kegiatan NSTP, Galur, Pendidikan Advokasi, Mal Nutrisi dan Polutan selain dari kegiatan 4 topik kegiatan riset di atas.

Dalam rangka penyusunan Renstra BATAN 2020-2024, BATAN tidak lepas dari isu-isu strategis nasional dengan mensinergikan kegiatan litbang yang lebih fokus yang ada di semua kementerian lembaga agar penggunaan dana penelitian bisa lebih efektif dan efisien untuk menghasilkan output penelitian yang mempunyai dampak nyata bagi masyarakat. Anggaran penelitian tidak boleh “dibagi-bagi” ke setiap Kementerian/Lembaga tanpa sasaran yang jelas.

Pada kajian perencanaan dengan tema “Analisis Lingkungan Strategik dalam Rangka Penyusunan Renstra BATAN Tahun 2015 – 2019” [6] yang dilakukan Biro Perencanaan pada tahun 2013, maka diperoleh hasil isu-isu yang berasal dari lingkungan eksternal yang pada umumnya keterkaitan dengan kebijakan peraturan yang berlaku yaitu kebijakan tentang mineral, program pemerintah terhadap ketahanan pangan, kebijakan nasional yang mendukung pengembangan energi baru dan terbarukan, program pemerintah dalam penyediaan air bersih. Sedangkan dari isu-isu internal pada umumnya berada di lingkungan BATAN seperti SDM yang berkompeten, adanya fasilitas yang telah tersertifikasi, fasilitas ageing, struktur organisasi yang belum tepat fungsi dan tepat ukuran, belum optimalnya pelaksanaan diseminasi litbangyasa dan lain-lainnya.

Kajian ini difokuskan pada isu-isu eksternal yang terkait dengan perkembangan peraturan baru kegiatan litbang BATAN. Oleh karena itu pemerintah perlu upaya untuk melakukan *Refocusing* distribusi anggaran untuk kegiatan penelitian dan pengembangan yang ada di setiap Kementerian/Lembaga.

Isu-isu eksternal yang terkait peraturan dengan kegiatan yang ada BATAN adalah :

1. Peraturan Presiden Nomor 38 Tahun 2018 tentang Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017-2045 [7]

Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017-2045 dijabarkan lebih lanjut dalam bentuk Prioritas Riset Nasional (PRN) dengan periode waktu 5 [lima] tahun untuk mengakomodasi berbagai dinamika dan perubahan lingkungan strategis. PRN adalah dokumen pelaksanaan dari RIRN yang disusun untuk jangka waktu lima tahun yang bersifat operasional. Untuk itu, penetapan jumlah fokus Riset dalam PRN harus mempertimbangkan dukungan riset untuk sektor hilir terkait. Dalam rancangan Renstra BATAN 2020-2024, BATAN dapat mengambil sebagian dari fokus riset yang ada pada Pepres Nomor 38 Tahun 2018. Sepuluh fokus riset yang meliputi Pangan, Pertanian, Energi, Kesehatan dan Obat, Transportasi, Teknologi Informasi dan Komunikasi, Pertahanan dan Keamanan, Material Maju, Kemaritiman, Kebencanaan, Sosial Humaniora. Adapun kegiatan yang berhubungan dengan kegiatan BATAN yaitu Pangan,

Energi, Kesehatan dan Obat, Material Maju. Sedangkan Sumber Daya Alam dan Lingkungan serta Rekayasa Ketenikan yang tidak tercantum dalam Pepres tersebut namun dilakukan oleh BATAN.

2. Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) [8]

Kebijakan energi nasional merupakan kebijakan pengelolaan energi yang berdasarkan prinsip berkeadilan, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan guna terciptanya kemandirian energi dan ketahanan. Dalam rancangan Renstra 2020-2024 diharapkan memberikan kontribusi bauran energi nasional yang ditetapkan dalam RPJMN sebesar 23%. BATAN terkait dengan dokumen infrastruktur pembangunan PLTN yang sudah dimulai sejak lama yang sudah dimulai dari studi tapak di Jepara, Bangka. Dalam rancangan Renstra BATAN 2020-2024, BATAN dapat mengambil sebagian dari fokus riset dengan melakukan studi tapak di Kalimantan Barat dan menyiapkan dokumen ifra struktur pembangunan prototipe Reaktor Daya Non Komersial (RDNK).

3. Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional 2015-2035 (RIPIN) [9]

Dalam rancangan Renstra BATAN 2020-2024, BATAN dapat mengambil sebagian dukungan industri yang ada Pepres Nomor 14 Tahun 2015, yang mana dalam Pepres ini menyebutkan 3 industri yaitu industri andalan, industri pendukung dan industri hulu. BATAN dapat mendukung industri nasional yaitu (1). industri andalan pada pangan, farmasi & alkes, industri pembangkit energi, (2). industri pendukung yaitu industri bahan penolong dan jasa industri, dan (3). industri hulu yaitu industri logam dan industri non logam termasuk material maju. BATAN terkait dengan Pepres ini dapat mendukung 3 industri tersebut pada industri pangan, farmasi & alat kesehatan yang didukung pada kegiatan pada unit kerja PAIR, PTRRR dan PRFN. Jasa industri juga dapat dilakukan dengan menjadi tenaga ahli dalam berbagai industri misalnya piping, desain, monitoring lingkungan dan lain-lainnya. Dan pada industri non logam yaitu material maju berupa material maju baterai lithium dan cat anti radar.

4. Peraturan Menteri Nomor 40 Tahun 2018 tentang Prioritas Riset Nasional Tahun 2017-2019 yang merupakan dokumen pelaksanaan dari Peraturan Presiden Nomor 38 tahun 2018 dalam rangka mensinergikan kegiatan riset dan memastikan kesiapan pelaksanaan Prioritas Riset Nasional (PRN) 2020-2024 menjadi Flagship Nasional [4].



Sedangka isu-isu internal yang peraturannya terkait dengan BATAN adalah

1. Undang-Undang Nomor 11 tahun 2019 tentang Sistem Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi [10].

Komposisi usia pegawai BATAN per 31 Desember 2018 dengan jumlah pegawai 2.247 orang yang terdiri : usia kurang dari 26 tahun (2,73%), usia 26-40 tahun (24,03%), usia 41-55 tahun (52,19%) dan diatas 55 tahun (21,05%). Dengan berlakunya UU Nomor 11 Tahun 2019 maka pendayagunaan Sumber Daya Manusia (SDM) yang tersedia adanya penyesuaian, dimana terdapat perubahan batas usia pensiun peneliti dan perekayasa di tingkat utama dan madya. Semula batas usia pensiun untuk jenjang jabatan fungsional ahli madya tersebut 60 tahun menjadi 65 tahun dan pada jenjang jabatan fungsional utama 65 tahun menjadi 70 tahun. Kebijakan ini sangat menguntungkan BATAN dimana jabatan fungsional peneliti mendominasi yang ada di BATAN yang pada umumnya telah berusia diatas 55 tahun. Sehingga SDM kedepan masih dapat didayagunakan pada 10 tahun kedepan guna menyelesaikan program BATAN selain penambahan pegawai baru.

- Rancangan Teknokratik RPJMN 2020-2024 terdapat 4 sasaran pokok pembangunan iptek yaitu (a). Iptek dan Inovasi pada Bidang Fokus RIRIN untuk percepatan pembangunan yang berkelanjutan; (b). Pengembangan Research Power-House yang berupa peningkatan kualitas, kuantitas dan produktivitas SDM Iptek Pengembangan Infrastruktur litbang strategis, Pusat Unggulan Iptek; (c). (Peciptaan Ekosistem Inovasi berupa penguatan kapasitas dan layanan STP, pendampingan *technopreneur/start-ups* dan dukungan regulasi.

### KESIMPULAN (REKOMENDASI)

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan diatas maka kebijakan yang perlu dilakukan oleh manajemen BATAN terhadap litbang iptek nuklir dengan sedikitnya dana litbang iptek nuklir dan banyak usulan output dan sub output, maka litbang iptek nuklir haruslah fokus dan tidak terjadi tumpang tindih dengan litbang lain di lembaga litbang mengingat dana yang terbatas di litbang dan serta dapat menyelesaikan sasaran pokok iptek yaitu manusia yang berkualitas dan berdaya saing melalui peningkatan produktivitas melalui iptek-inovasi. Hal ini sesuai dengan **isu strategis pengembangan iptek** yaitu pemanfaatan iptek sebagai penghela pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, peningkatan kapabilitas adopsi teknologi dan inovasi, peningkatan efektivitas pemanfaatan iptek-inovasi. Adanya sinergi dengan lembaga litbang lain, adanya kerjasama antara industri, Perguruan Tinggi dan BATAN. Perubahan paradigma penelitian pada tahun 2020-2024 dimana penelitian telah diatur pada Peraturan Presiden dan Peraturan Pemerintah, berdasarkan penugasan, bersifat *multi years* dan berorientasi output dan outcome, maka manajemen BATAN perlu memahami dan melaksanakan strategi dengan memperbanyak kolaborasi, *sharing* fasilitas laboratorium dan infrastruktur penelitian, dan strategi mendapatkan pendanaan dari pihak swasta.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala Biro Perencanaan Bapak Ir. Ferly Hermansyah yang telah mengizinkan untuk melakukan kajian ini. Selain ini kami juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala Sub Bagian Perencanaan Program II Saudari Ninik Pitayaningtyas, S.Sos. yang telah memberikan data dan informasi terkait kegiatan Prioritas yang ada di BATAN.

### DAFTAR PUSTAKA

- LAWRENCE, A.T. and WEBER, J., "*Business and Society: Stakeholders, Ethics, Public Policy*". Singapore: McGraw – Hill, (2011)
- WHEELEN, T.L. and HUNGER, D.J. , "*Strategic management and business policy: Achieving sustainability* ", 12<sup>th</sup> Edition, New Jersey: Prentice – Hall, (2010)
- INDRIANTORO, SUPOMO, "Metodologi Penelitian Bisnis Untuk Akuntansi dan Manajemen", Edisi Pertama: BPFE Yogyakarta, (1999)
- Peraturan Menteri Riset, Teknologi, dan Pendidikan Republik Indonesia Nomor 40 Tahun 2018 tentang Prioritas Riset Nasional Tahun 2017-2019 (2018)
- Peraturan Presiden RI Nomor 2 Tahun 2015 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah (RPJMN) 2015-2019 : Matrik Bidang Pembangunan, Jakarta, (2015)
- SUGIAWAN, YOGI, "Analisis Lingkungan Strategik dalam Rangka Penyusunan Renstra BATAN Tahun 2015 – 2019", Laporan Kajian Biro Perencanaan, Jakarta (2015)
- Peraturan Presiden Nomor 38 Tahun 2018 tentang Rencana Induk Riset Nasional Tahun 2017-2045 (2018)
- Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (2014)
- Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional 2015-2035 (2015)
- Undang-Undang Nomor 11 tahun 2019 tentang Sistem Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (2019)

## **KAJIAN TENTANG KETENTUAN *DESIGN EXTENSION CONDITION* UNTUK PENGEMBANGAN REGULASI KESELAMATAN REAKTOR DAYA DI INDONESIA**

**Diah Hidayanti Sukarno**

*Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jl. Gajah Mada 8 Jakarta Pusat 10120  
email: d.hidayanti@bapeten.go.id*

### **ABSTRAK**

**KAJIAN TENTANG KETENTUAN *DESIGN EXTENSION CONDITION* UNTUK PENGEMBANGAN REGULASI KESELAMATAN REAKTOR DAYA DI INDONESIA.** Salah satu pelajaran penting dari kecelakaan di Fukushima Daiichi adalah upaya peningkatan keselamatan reaktor daya melalui penerapan ketentuan DEC (*design extension condition*) dalam desain reaktor. Sebagai konsep baru, belum semua negara mengadopsi DEC dalam regulasi keselamatan reaktor daya. Selain itu, peraturan maupun pedoman yang mengatur ketentuan DEC belum tersedia secara rinci. Makalah ini membahas tentang konsep DEC menurut IAEA dan regulasi ketenaganukliran di beberapa negara, serta mengkaji kemungkinan penerapan DEC di Indonesia. Hasil kajian dimaksudkan untuk dapat memberikan rekomendasi bagi pengembangan peraturan yang terkait dengan keselamatan reaktor daya di Indonesia. Kajian ini dilakukan melalui pengumpulan literatur dan penelaahan data kajian. Hasil kajian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan kompleksitas perumusan ketentuan DEC dalam regulasi keselamatan reaktor daya di setiap negara, terutama dalam hal kategorisasi DEC beserta kriteria penerimaannya. Finlandia mengatur ketentuan DEC secara lebih preskriptif jika dibandingkan dengan Kanada. Adapun Amerika Serikat belum mengadopsi ketentuan DEC dalam regulasi ketenaganuklirannya. Secara garis besar, DEC dikategorikan dalam dua kelompok, yaitu DEC tanpa adanya kerusakan bahan bakar yang signifikan dan DEC dengan adanya pelelehan teras. Kriteria penerimaan untuk DEC secara umum ditentukan berdasarkan dua aspek, yaitu konsekuensi radiologi dan integritas *physical barriers*. Ketentuan DEC perlu diterapkan di Indonesia untuk dapat meningkatkan keselamatan pengoperasian reaktor daya secara lebih sistematis. Penerapan DEC dalam regulasi keselamatan reaktor daya di Indonesia sebaiknya mengacu pada standar IAEA dengan menentukan kriteria penerimaan yang jelas.

Kata kunci: DEC, regulasi keselamatan, reaktor daya, kategorisasi, kriteria penerimaan

### **ABSTRACT**

**THE ASSESSMENT OF DESIGN EXTENSION CONDITION PROVISION FOR THE DEVELOPMENT OF SAFETY REGULATION OF POWER REACTOR IN INDONESIA.** One important lesson learned from the accident at Fukushima Daiichi is the effort to improve the safety of power reactors through the implementation of design extension condition (DEC) provision in the reactor design. As a new concept, not all countries have adopted DEC in the safety regulation of power reactor. In addition, regulations and guidances governing DEC provisions are not yet available in detail. This paper discusses the DEC concept according to the IAEA and the nuclear regulations in several countries, as well as assesses the feasibility of applying DEC provision in Indonesia. The results of the assessment are intended to provide recommendations for the development of regulations related to the safety of power reactors in Indonesia. The assessment was conducted through the literature collection and data study. The result shows that the complexity of DEC provision in the safety regulation of power reactor in each country is different, especially in terms of DEC categorization and its acceptance criteria. Finland regulates DEC provision more prescriptive than Canada. The United States has not yet adopted the DEC provision in its nuclear regulations. In general, DEC is categorized into two groups, namely DEC without significant fuel degradation and DEC with core melting. The acceptance criteria for DEC are generally determined based on two aspects, namely radiological consequences and integrity of physical barriers. The DEC provision needs to be applied in Indonesia in order to increase the safety level of power reactors systematically. The implementation of DEC in the safety regulations of power reactor should refer to the IAEA standards by establishing the clear acceptance criteria.

Keyword: DEC, safety regulation, power reactor, categorization, acceptance criteria

## PENDAHULUAN

Kecelakaan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) di Fukushima Daiichi pada tahun 2011 telah membawa beberapa perubahan konstruktif dalam konsep keselamatan. Salah satu konsep baru yang lahir sebagai bentuk pembelajaran dari kejadian Fukushima adalah konsep kondisi ekstensi desain (*design extension condition/DEC*) yang harus diperhitungkan dalam desain reaktor daya (PLTN). Konsep DEC diperkenalkan secara resmi oleh IAEA pada tahun 2016 dalam dokumen *IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev.1)* tentang *Safety of Nuclear Power Plants: Design* [1]. Dokumen tersebut merupakan revisi dari dokumen *IAEA Safety Standards Series No. NS-R-1* tentang *Safety of Nuclear Power Plants: Design* yang diterbitkan pada tahun 2000 dan belum memasukkan konsep DEC.

Saat ini belum semua negara mengadopsi konsep DEC dalam regulasi ketenaganukliran, termasuk Indonesia. Peraturan dan pedoman yang membahas tentang DEC secara rinci juga belum banyak tersedia. Sebagai suatu konsep yang baru, DEC perlu dipahami secara benar, agar memudahkan dalam perumusan konsep tersebut dalam peraturan/pedoman serta dalam implementasi di lapangan. Oleh karena itu, makalah ini mengkaji tentang ketentuan DEC dengan mengacu pada standar IAEA serta pada regulasi ketenaganukliran di beberapa negara, yaitu Finlandia, Kanada, dan Amerika Serikat. Hasil kajian ini diharapkan dapat memberikan tambahan informasi dan rekomendasi mengenai konsep DEC bagi badan pengawas dalam rangka peningkatan aspek keselamatan reaktor daya melalui penyusunan atau revisi peraturan dan pedoman.

## POKOK BAHASAN

Pada bagian awal makalah ini akan dikaji secara singkat mengenai kondisi instalasi yang diperhitungkan dalam desain reaktor daya di Indonesia. Pokok bahasan selanjutnya yang dikaji adalah konsep DEC yang meliputi definisi dan tujuan DEC, kategorisasi DEC, dan kriteria penerimaan untuk setiap kategori. Kajian terhadap konsep DEC tersebut mengacu pada standar dan pedoman IAEA, yaitu *IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev.1)* tentang *Safety of Nuclear Power Plants: Design* dan *IAEA-TECDOC-1791* tentang *Considerations on the Application of the IAEA Safety Requirements for the Design of Nuclear Power Plants* [2], serta mengacu pula pada regulasi ketenaganukliran di beberapa negara seperti Finlandia, Kanada, dan Amerika Serikat.

Berdasarkan kajian tentang konsep DEC tersebut, dalam makalah ini juga disampaikan rekomendasi terhadap revisi peraturan yang terkait dengan keselamatan reaktor daya di Indonesia.

## METODOLOGI KAJIAN

Kajian ini dilakukan melalui dua tahap, yaitu:

- Tahap pengumpulan literatur. Referensi yang digunakan, antara lain standar keselamatan dan pedoman teknis yang dikeluarkan oleh IAEA, serta peraturan maupun pedoman yang dikeluarkan oleh badan pengawas di negara-negara yang ditinjau.
- Tahap penelaahan/pengkajian. Data-data yang diperoleh dari tahap pengumpulan literatur selanjutnya ditelaah dan dikaji.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagai bentuk pembelajaran (*lesson learned*) kecelakaan PLTN di Fukushima Daiichi pada tahun 2011, IAEA menambahkan ketentuan tentang DEC sebagai salah satu persyaratan desain bagi reaktor daya, yaitu tepatnya pada *Requirement 20* dalam *IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev.1)*. Adapun peraturan BAPETEN yang terkait dengan keselamatan desain reaktor daya, yaitu Peraturan BAPETEN No. 3 Tahun 2011, belum mengatur tentang ketentuan DEC karena peraturan tersebut dikeluarkan pada bulan Januari 2011 sebelum kejadian kecelakaan di Fukushima. Dalam peraturan BAPETEN tersebut [3], kondisi instalasi (*plant states*) yang diperhitungkan dalam desain meliputi kondisi operasi normal, kejadian operasi terantisipasi (*Anticipated Operational Occurrence/AOO*), dan kecelakaan dasar desain (*Design Basis Accident/DBA*). Level peraturan yang lebih tinggi yang menaungi keselamatan reaktor daya, yaitu Peraturan Pemerintah RI No. 54 Tahun 2012 tentang Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir, juga belum mengadopsi ketentuan DEC.

Definisi DEC menurut standar IAEA No. SSR-2/1 (Rev.1) adalah kondisi kecelakaan yang lebih parah dari DBA yang harus dipertimbangkan dalam desain reaktor daya sedemikian rupa sehingga konsekuensi radiologi yang ditimbulkan masih dapat diterima.

Kecelakaan yang termasuk dalam kategori DEC ditentukan berdasarkan kajian deterministik dan probabilistik serta pertimbangan teknis (*engineering judgement*). Sebelum terjadinya kecelakaan Fukushima, skenario kecelakaan yang dipertimbangkan dalam tahap desain reaktor daya hanya kecelakaan tipe DBA. Kecelakaan yang dampaknya melampaui DBA diistilahkan sebagai BDBA (*Beyond Design Basis Accident*) dan tidak diperhitungkan dalam desain reaktor. Contohnya adalah kecelakaan Fukushima yang diinisiasi oleh peristiwa *station blackout* (SBO). Peristiwa SBO tersebut menyebabkan terjadinya *multiple failures* yang berdampak pada pelelehan teras reaktor. Dengan demikian, jelaslah bahwa konsep DEC merupakan suatu upaya untuk meningkatkan level keselamatan reaktor daya/PLTN dengan cara meningkatkan kemampuan reaktor untuk dapat mencegah terjadinya kecelakaan atau memitigasi dampak kecelakaan yang lebih parah dari DBA. Dengan adanya DEC, klasifikasi kondisi instalasi menurut IAEA mengalami perubahan sebagaimana dapat dilihat pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa IAEA mengklasifikasikan DEC dalam dua kategori, yaitu:

- DEC-A: tidak terjadi kerusakan bahan bakar yang signifikan
- DEC-B: terjadi pelelehan teras (*core melting*). Kecelakaan yang termasuk kategori DEC-B termasuk sebagai kecelakaan parah (*severe accident*).

Tabel 1. Kondisi instalasi menurut standar IAEA [2]

← <b>Kondisi Desain</b> →				← <b>Di Luar Kondisi Desain</b> →
<b>Kondisi Operasional</b>		<b>Kondisi Kecelakaan</b>		<i>Practically Eliminated Condition</i>
Operasi Normal	AOO	DBA	DEC	
			DEC-A    DEC-B	

Klasifikasi suatu skenario kecelakaan sebagai DEC dapat dilakukan, antara lain berdasarkan tingkat kebolehjadian kecelakaan tersebut. Untuk reaktor berpendingin air, IAEA memberikan panduan kategorisasi kondisi instalasi berdasarkan frekuensi kejadian sebagai berikut:

Tabel 2. Frekuensi kejadian untuk setiap kondisi instalasi [2]

Kondisi Instalasi	Frekuensi Kejadian
Operasi Normal	-
AOO	$> 10^{-2}$ kejadian/tahun
DBA	$10^{-2} - 10^{-6}$ kejadian/tahun
DEC-A	$10^{-4} - 10^{-6}$ kejadian/tahun
DEC-B	$< 10^{-6}$ kejadian/tahun

Implikasi penerapan DEC pada desain reaktor daya adalah adanya penambahan fitur keselamatan khusus untuk DEC atau penambahan kapabilitas sistem keselamatan yang sudah ada. Penambahan fitur keselamatan untuk DEC tersebut memiliki dua tujuan, yaitu:

- Fitur keselamatan DEC-A bertujuan untuk mencegah terjadinya pelelehan teras
- Fitur keselamatan DEC-B bertujuan untuk memitigasi dampak pelelehan teras dengan cara mempertahankan fungsi penungkup (*containment*) agar mampu mengungkung zat radioaktif.

Fitur keselamatan DEC-A harus mampu membawa reaktor kembali pada kondisi selamat (*safe state*). Adapun fitur keselamatan DEC-B harus dapat membawa reaktor kembali pada kondisi yang terkendali (*controlled state*), yaitu kondisi dimana:

- Pembuangan panas sisa berjalan dengan baik
- Stabilisasi bahan bakar yang rusak dapat dicapai sehingga kerusakan teras yang terjadi cukup terbatas
- Integritas dan fungsi penungkup dapat dipertahankan sehingga dampak radiologi dapat dibatasi dan kemungkinan terjadinya *early radioactive release* maupun *large radioactive release* dapat dihindari (*practically eliminated*).

Fitur keselamatan untuk DEC harus memiliki tiga kriteria sebagai berikut:

- independen terhadap fitur keselamatan untuk DBA
- dapat beroperasi pada kondisi lingkungan ketika DEC terjadi
- memiliki tingkat kehandalan yang sesuai dengan fungsi yang diembannya.

Contoh fitur keselamatan tambahan untuk DEC adalah *core catcher* dan *passive autocatalytic recombiner* (PAR). Jika dalam suatu tapak terdapat beberapa unit reaktor daya, fitur keselamatan untuk DEC harus dimiliki oleh setiap unit reaktor.

Adapun kriteria penerimaan untuk setiap kategori DEC, IAEA memberikan panduan yang bersifat umum dengan menggolongkan kriteria penerimaan berdasarkan dampak radiologi dan integritas penghalang fisik (*physical barriers*) sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria penerimaan DEC berdasarkan dampak radiologi dan integritas penghalang fisik

	DEC-A	DEC-B
Dampak Radiologi	Tidak ada dampak radiologi di sekitar instalasi atau minor. Nilai dosis efektif yang dapat diterima biasanya sama atau sedikit lebih tinggi dari nilai batas dosis untuk DBA. Nilai batas dosis tersebut ditentukan oleh badan pengawas.	Tindakan penanggulangan kedaruratan yang terbatas dalam skala ruang dan waktu
Integritas penghalang fisik	Tidak terjadi kerusakan pada sistem pendingin reaktor	Terjaganya integritas penyungkup
	Terjaganya integritas penyungkup	
	Kerusakan yang terbatas pada bahan bakar	

### Penerapan DEC di Finlandia

Di Finlandia, kondisi instalasi yang didesain dengan menggunakan metode konservatif dan mengacu pada kriteria desain yang telah ditetapkan diistilahkan sebagai *Design Basis Condition* (DBC). DBC meliputi kondisi operasi dan kondisi kecelakaan. Klasifikasi kondisi instalasi menurut Guide YVL B.1 [4] yang dikaitkan dengan tingkat pertahanan berlapis (*Defense in Depth/DiD*) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi kondisi instalasi pada reaktor daya di Finlandia [4]

Kategori		Frekuensi Kejadian	Level DiD
DBC 1	<i>Normal Operation</i>	-	Level 1
DBC 2	AOO	$> 10^{-2}$ kejadian/tahun	Level 2
DBC 3	<i>Postulated Accidents Class 1</i>	$10^{-2} - 10^{-3}$ kejadian/tahun	Level 3a
DBC 4	<i>Postulated Accidents Class 2</i>	$< 10^{-3}$ kejadian/tahun	
DEC 1	<i>Design Extension Conditions</i>	Gabungan <i>Common Cause Failure</i> (CCF) dan DBC 2 atau DBC 3	Level 3b
DEC 2		Kombinasi kegagalan yang kompleks	
DEC 3		Akibat <i>rare external events</i>	
SA	<i>Severe Accidents</i>	CDF $< 10^{-2}$ kejadian/tahun LRF $< 5 \times 10^{-7}$ kejadian/tahun	Level 4

Kriteria penerimaan untuk setiap kondisi instalasi ditentukan berdasarkan pada beberapa parameter, antara lain batasan dosis radiasi maksimum yang dapat diterima oleh masyarakat [5] dan kriteria kegagalan bahan bakar [6] sebagaimana disajikan pada Tabel 5. Untuk kriteria penerimaan yang terkait dengan fungsi dan integritas penyungkup, STUK memberikan ketentuan yang lebih spesifik sebagai berikut [7]:

- Penyungkup harus didesain sedemikian rupa sehingga tidak mengalami kebocoran pada kondisi kecelakaan parah, bahkan jika 100% material teras reaktor yang mudah teroksidasi bereaksi dengan air.

- Ketidakbocoran penyungkup pada kondisi kecelakaan parah harus diuji dengan meningkatkan tekanan maksimum penyungkup dan margin keselamatan 50% serta dengan meningkatkan tekanan akibat pembakaran gas hidrogen.
- Skenario kecelakaan yang menyebabkan hilangnya fungsi *pressure suppression* pada penyungkup diklasifikasikan sebagai DEC-B.
- Pada kondisi kecelakaan parah, pemindahan panas pada penyungkup harus dapat berlangsung selama 72 jam tanpa menggunakan air atau material apapun yang dipasok secara eksternal ke dalam instalasi.

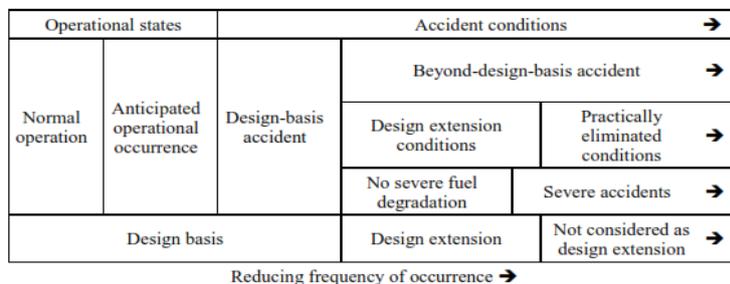
Tabel 5. Kriteria penerimaan pada setiap kondisi instalasi reaktor daya di Finlandia [5,6]

Kategori	Batasan Dosis Maksimum	Kegagalan Bahan Bakar
DBC 1	0,1 mSv/tahun	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tidak terjadi pelelehan pelet bahan bakar</li> <li>- temperatur kelongsong tidak melebihi temperatur pendingin</li> <li>- probabilitas <i>pellet-cladding interaction</i> (PCI) sangat rendah</li> </ul>
DBC 2	0,1 mSv/tahun	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tidak terjadi pelelehan pelet bahan bakar</li> <li>- jumlah bahan bakar yang menerima <i>critical heat flux</i> tidak melebihi 0,1% jumlah bahan bakar di teras</li> <li>- probabilitas PCI sangat rendah</li> </ul>
DBC 3	1 mSv/tahun	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jumlah bahan bakar yang menerima <i>critical heat flux</i> (CHF) tidak melebihi 1% jumlah bahan bakar di teras</li> <li>- temperatur kelongsong &lt; 650°C</li> <li>- jumlah bahan bakar yang mengalami kerusakan mekanik akibat PCI &lt; 0,1% jumlah bahan bakar di teras</li> </ul>
DBC 4	5 mSv/tahun	<ul style="list-style-type: none"> <li>- jumlah bahan bakar yang mengalami kegagalan tidak melebihi 10% jumlah bahan bakar di teras</li> <li>- kriteria kegagalan: deformasi mekanik (pengembangan, kebocoran), entalpi radial merata di setiap posisi aksial &gt; 586 J/g UO<sub>2</sub></li> </ul>
DEC 1	20 mSv/tahun	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pendinginan bahan bakar tidak boleh terganggu oleh deformasi mekanik</li> <li>- proses <i>embrittlement</i> yang berlebihan harus dicegah</li> <li>- jumlah gas hidrogen yang dihasilkan &lt; 1% dari jumlah gas hidrogen yang dihasilkan dari interaksi seluruh kelongsong dengan pendingin</li> <li>- temperatur kelongsong &lt; 1200°C</li> <li>- entalpi radial merata di setiap posisi aksial &gt; 963 J/g UO<sub>2</sub></li> <li>- Fragmentasi dan pelelehan bahan bakar harus dicegah</li> <li>- Tidak terjadi pelepasan batang kendali. Deformasi mekanik pada bahan bakar, batang kendali dan komponen lainnya tidak boleh menghalangi pergerakan batang kendali.</li> </ul>
DEC 2		
DEC 3		
SA	<ul style="list-style-type: none"> <li>- tidak memerlukan upaya proteksi skala besar bagi masyarakat</li> <li>- tidak memerlukan pembatasan jangka panjang untuk penggunaan wilayah (tanah dan air)</li> <li>- batas lepasan Cs-137 ke udara = 100 TBq</li> </ul>	-

#### Penerapan DEC di Kanada

Secara umum, regulasi keselamatan reaktor daya di Kanada tidak mengalami perubahan dari segi istilah pasca kecelakaan PLTN di Fukushima. Istilah BDBA tetap

digunakan dalam peraturan maupun pedoman yang terkait dengan PLTN. CNSC sebagai badan pengawas ketenaganukliran di Kanada mengadopsi konsep DEC melalui dokumen REGDOC-2.5.2 tentang *Design of Reactor Facilities: Nuclear Power Plants* [8] dengan menyatakan bahwa DEC merupakan bagian dari BDBA. DEC juga dinyatakan sebagai bagian dari *Plant Design Envelope* (PDE) sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Klasifikasi kondisi instalasi reaktor daya di Kanada [8]

Jadi, BDBA mencakup dua kondisi, yaitu:

- BDBA yang diperhitungkan dalam desain instalasi, yaitu DEC.
- BDBA yang tidak diperhitungkan dalam desain instalasi, yaitu *practically eliminated conditions*.

Gambar 1 juga menunjukkan DEC terdiri dari dua kategori, yaitu:

- DEC yang tidak menyebabkan kerusakan bahan bakar secara signifikan
- DEC yang menyebabkan kerusakan bahan bakar secara signifikan (*severe accident*).

Adapun frekuensi kejadian untuk setiap kondisi instalasi adalah sebagai berikut [8]:

- AOO :  $f > 10^{-2}$  /tahun
- DBA :  $10^{-5} \leq f < 10^{-2}$  /tahun
- BDBA :  $f < 10^{-5}$  kejadian/tahun

Definisi DEC menurut REGDOC-2.5.2 adalah bagian dari BDBA yang diperhitungkan dalam proses desain fasilitas berdasarkan metodologi *best estimate* yang bertujuan untuk menjaga agar lepasan zat radioaktif masih dalam batasan yang dapat diterima. Filosofi mendasar yang membedakan DBA dan DEC adalah tingkat kepercayaan probabilitas kejadian. DBA memiliki tingkat kebolehjadian yang tinggi (*high confidence*), sedangkan DEC memiliki tingkat kebolehjadian yang *reasonable* (*reasonable confidence*). Filosofi tersebut menyiratkan bahwa DEC ditentukan berdasarkan metode probabilistik atau pendekatan *best estimate* karena memiliki tingkat kebolehjadian yang lebih rendah dan tingkat ketidakpastian yang lebih besar jika dibandingkan dengan DBA.

Belum semua peraturan atau pedoman yang terkait dengan PLTN menyatakan secara eksplisit mengenai DEC. Dokumen regulasi yang terkait dengan analisis keselamatan, yaitu REGDOC-2.4.1 tentang Analisis Keselamatan Deterministik [9] juga belum menyatakan secara eksplisit analisis keselamatan untuk DEC. REGDOC tersebut membahas tentang analisis keselamatan deterministik untuk AOO, DBA, dan BDBA. Namun, dengan dinyatakannya DEC sebagai bagian dari BDBA pada REGDOC-2.5.2, analisis keselamatan untuk BDBA harus diinterpretasikan juga mencakup analisis keselamatan untuk DEC.

Kriteria penerimaan untuk kondisi operasi normal dan AOO menggunakan kriteria batasan dosis maksimum yang boleh diterima oleh anggota masyarakat pada atau di luar batas tapak setelah 30 hari terjadinya kecelakaan, yaitu 0,5 mSv (untuk AOO) dan 20 mSv (untuk DBA). Untuk BDBA, CNSC tidak menetapkan suatu kriteria keselamatan, namun menetapkan target-target keselamatan (*safety goals*) berikut ini:

- $CDF < 10^{-5}$ /tahun
- *small release frequency* (lepasnya lebih dari  $10^{15}$  Bq I-131 ke lingkungan)  $< 10^{-5}$ /tahun
- *large release frequency* (lepasnya lebih dari  $10^{14}$  Bq Cs-137 ke lingkungan)  $< 10^{-6}$ /tahun.

Ketentuan DEC di Kanada hanya berlaku bagi reaktor daya baru yang permohonan izinnya dilakukan setelah dokumen REGDOC-2.5.2 dikeluarkan, yaitu pada tahun 2014.

### Penerapan DEC di Amerika Serikat

US NRC hingga saat ini belum mengadopsi konsep DEC dalam peraturan ketenaganukliran untuk reaktor daya. Kondisi instalasi yang diperhitungkan dalam desain meliputi operasi normal, AOO dan DBA. Kondisi kecelakaan yang dampaknya melebihi DBA, yaitu *severe accident*, harus diperhitungkan dengan tujuan untuk memitigasi dampak dari kecelakaan parah tersebut.

Pada tahun 2012, US NRC mengusulkan penggunaan *risk management regulatory framework* sebagaimana dituangkan dalam dokumen NUREG-2150 [10]. Dalam rangka pembelajaran kecelakaan PLTN di Fukushima, RMTF memberikan rekomendasi kepada NRC untuk mengembangkan *design enhancement-category* pada kelompok kecelakaan tipe BDBA. RMTF (*Risk Management Task Force*) adalah tim yang dibentuk oleh NRC di awal tahun 2011 yang bertugas untuk mengembangkan visi strategis dan sistem pengawasan yang berbasis risiko dan kinerja secara komprehensif dan holistik. *Design enhancement-category* tersebut harus ditentukan berdasarkan parameter resiko dan *performance based* dengan melibatkan pertimbangan biaya serta harus diimplementasikan sesuai dengan karakteristik tapak. Kategori kejadian (*event*) menurut rekomendasi RMTF adalah sebagai berikut [10]:

- *Design Basis Events*, meliputi: operasi normal, AOO, DBA, dan *design basis external hazards*
- *Beyond Design Basis Events*, meliputi: *design enhancement event (internal events dan external hazards)* dan *residual risk scenario (internal events dan external hazards)*

Rekomendasi RMTF lainnya adalah upaya karakterisasi pertahanan berlapis (DiD) yang dilakukan secara lebih kuantitatif berbasis pada resiko [11]. Kriteria penerimaan batasan dosis untuk kondisi DEC sebaiknya konsisten dengan 10 CFR 50.34 [11].

Pasca kecelakaan nuklir di Fukushima, US NRC juga melakukan beberapa upaya untuk merevisi peraturan, khususnya untuk meningkatkan upaya mitigasi kecelakaan parah dalam rangka meningkatkan keselamatan instalasi. Misalnya, menambah durasi waktu dimana instalasi harus dapat bertahan ketika terjadi kejadian SBO.

Dari kajian di atas dapat dilihat bahwa ketentuan DEC dalam regulasi ketenaganukliran di Finlandia bersifat lebih preskriptif jika dibandingkan dengan regulasi di Kanada. Adapun belum diimplementasikannya ketentuan DEC di Amerika Serikat merupakan hal yang menarik untuk dikaji lebih lanjut. Kajian lebih lanjut tersebut terutama dimaksudkan untuk menganalisis apakah *risk management regulatory framework* yang diterapkan di Amerika Serikat sudah dapat mengakomodir tujuan DEC dalam aspek keselamatan desain reaktor daya.

Secara garis besar, DEC dikategorisasikan dalam dua kelompok, yaitu DEC tanpa pelelehan bahan bakar dan DEC dengan pelelehan bahan bakar (*core melting*). Kriteria penerimaan untuk DEC secara umum ditentukan berdasarkan dua aspek, yaitu konsekuensi radiologis dan integritas *physical barriers* (misalnya bahan bakar dan penungkup).

Ketentuan DEC perlu diterapkan dalam regulasi keselamatan reaktor daya di Indonesia karena kecelakaan nuklir Fukushima telah menunjukkan bahwa ketentuan DBA belum dapat mencegah terjadinya kecelakaan yang menyebabkan pelepasan zat radioaktif dalam jumlah besar ke lingkungan. Ketentuan DEC yang dituangkan dalam peraturan pemerintah maupun peraturan BAPETEN sebaiknya bersifat umum dan tidak terlalu preskriptif, yaitu dengan mengacu pada standar IAEA. Ketentuan DEC yang lebih preskriptif, misalnya kriteria penerimaan DEC yang bersifat kuantitatif, dapat dituangkan di bagian pedoman atau instruksi kerja evaluasi perizinan. Implementasi DEC beserta penelitian dan kajian yang terkait masih terbatas jumlahnya sehingga jika ketentuan DEC dalam peraturan dirumuskan secara preskriptif, akan terjadi revisi yang berulang kali seiring dengan perkembangan pengalaman dan penelitian tentang DEC. Ketentuan DEC dalam regulasi dapat dirumuskan secara preskriptif jika telah tersedia data teknis yang memadai.

Dari sudut pandang penulis, regulasi sebaiknya menyatakan secara eksplisit bahwa DEC mencakup kondisi dimana tidak terjadi pelelehan bahan bakar dan kondisi dimana telah terjadi pelelehan bahan bakar. Hal ini sejalan dengan tujuan IAEA mengklasifikasikan DEC dalam dua kategori, yaitu agar instalasi dapat mengatasi kondisi dimana teras telah mengalami pelelehan namun lepasan zat radioaktif ke lingkungan dapat dikontrol dalam jumlah di bawah kriteria penerimaan yang ditentukan. Sebagai implikasi dari kategorisasi

DEC, badan pengawas perlu menentukan kriteria penerimaan untuk setiap kategori DEC, terutama yang berkaitan dengan konsekuensi radiologis, yaitu batasan maksimum dosis radiasi yang diterima oleh anggota masyarakat pada kondisi DEC. Regulasi di Finlandia dan Kanada telah mencontohkan bahwa untuk setiap kondisi instalasi perlu ditentukan batasan dosis radiasi yang boleh diterima anggota masyarakat akibat pengoperasian reaktor nuklir. Selanjutnya, berdasarkan kriteria penerimaan dosis radiasi yang telah ditentukan, dapat diturunkan pula kriteria-kriteria penerimaan lainnya, antara lain kriteria penerimaan untuk bahan bakar dan kriteria penerimaan untuk penyungkup. Namun, kriteria penerimaan selain yang terkait dengan konsekuensi radiologi dapat berupa pedoman saja karena dalam penetapannya membutuhkan data teknis yang memadai.

Dengan pemberlakuan ketentuan DEC dalam regulasi keselamatan reaktor daya di Indonesia, secara tidak langsung dapat pula meningkatkan aspek kepercayaan publik terhadap pengawasan keselamatan pembangunan dan pengoperasian PLTN di Indonesia.

## KESIMPULAN

Secara prinsip, DEC merupakan upaya untuk meningkatkan aspek keselamatan reaktor daya (PLTN) dengan cara meningkatkan kapabilitas instalasi untuk dapat mengatasi kondisi kecelakaan yang lebih parah dari kecelakaan dasar desain. Kategorisasi DEC dimaksudkan untuk mempermudah dalam menentukan kriteria penerimaan pada setiap tingkatan kondisi DEC yang kemudian akan memudahkan dalam merancang fitur keselamatan tambahan pada kondisi DEC. Kriteria penerimaan yang utama pada kondisi DEC adalah konsekuensi radiologis yang diterima oleh masyarakat masih dalam batas yang dapat diterima dan tidak memerlukan tindakan kedaruratan dalam skala besar. Secara garis besar terdapat dua kategori DEC, yaitu DEC tanpa adanya pelelehan teras dan DEC dengan adanya pelelehan teras (*severe accident*). Kriteria penerimaan untuk DEC secara umum ditentukan berdasarkan dua aspek, yaitu konsekuensi radiologis dan integritas *physical barriers*.

Implementasi ketentuan DEC dalam regulasi keselamatan reaktor daya di setiap negara bervariasi dari yang bersifat preskriptif hingga yang bersifat lebih umum. Bahkan, belum semua negara mengadopsi ketentuan DEC, termasuk Indonesia. BAPETEN perlu menerapkan ketentuan DEC dan menentukan kriteria penerimaannya melalui penyusunan atau revisi peraturan dan pedoman dalam rangka meningkatkan aspek keselamatan reaktor daya di Indonesia.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA SAFETY STANDARDS SERIES NO. SSR-2/1 (REV.1), "Safety of Nuclear Power Plants: Design", IAEA, Februari, Vienna (2016).
- [2] IAEA-TECDOC-1791, "Considerations on the Application of the IAEA Safety Requirements for the Design of Nuclear Power Plants", IAEA, Mei, Vienna (2016).
- [3] Peraturan BAPETEN No. 3 Tahun 2011, "Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya, BAPETEN, Januari, Jakarta (2011).
- [4] Guide YVL B.1, "Safety Design of a Nuclear Power Plant", STUK, June, Helsinki (2019).
- [5] Guide YVL C.3, "Limitation and Monitoring of Radioactive Releases from a Nuclear Facility", STUK, March, Helsinki (2019).
- [6] Guide YVL B.4, "Nuclear Fuel and Reactor", STUK, March, Helsinki (2019).
- [7] Guide YVL B.6, "Containment of a Nuclear Power Plant", STUK, June, Helsinki (2019).
- [8] REGDOC 2.5.2, "Design of Reactor Facilities: Nuclear Power Plants", CNSC, May, Ontario (2014).
- [9] REGDOC 2.4.1, "Deterministic Safety Analysis", CNSC, May, Ontario (2014).
- [10] NUREG-2150, "A Proposed Risk Management Regulatory Framework", U.S.NRC, April, Washington DC (2012).
- [11] NOURBAKSH H.P., "Dealing with Beyond-Design-Basis Accidents in Nuclear Safety Decisions", Presented at 12<sup>th</sup> International Probabilistic Safety Assessment & Management (PSAM 12) Conference, June 22-27, Hawaii (2014).

**DISKUSI/TANYA JAWAB:**

**1. PERTANYAAN (Sriyana-PKSEN BATAN):**

Untuk menyusun URD apakah prasyarat DEC-CDF  $10^{-5}$ /year menjadi prasyarat, sementara prasyarat yang ada  $10^{-6}$ /year, apakah untuk kondisi pasar?

**JAWABAN:**

Bapeten belum mengatur ketentuan DEC. Nilai CDF yg diajukan oleh pemohon izin akan dikaji dan direviu oleh BAPETEN dalam proses evaluasi izin (persetujuan desain)

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## PENTINGNYA PEMBENTUKAN PERATURAN TERKAIT KLASIFIKASI STRUKTUR, SISTEM DAN KOMPONEN INSTALASI NUKLIR

Catur Febriyanto S.

*Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Jl. Gajah Mada no. 8, Jakarta Pusat 10120  
email: c.febriyanto@bapeten.go.id*

### ABSTRAK

**PENTINGNYA PEMBENTUKAN PERATURAN TERKAIT KLASIFIKASI STRUKTUR, SISTEM DAN KOMPONEN INSTALASI NUKLIR.** Hingga saat ini belum tersedianya peraturan berupa pedoman mengenai metodologi untuk identifikasi dan klasifikasi struktur, sistem dan komponen (SSK) yang penting untuk keselamatan serta persyaratannya. Peraturan tersebut merupakan pendelegasian dari Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012. Selain itu, pemegang izin saat ini dalam menetapkan klasifikasi SSK menggunakan metodologi dan persyaratan yang berbeda sesuai yang ditetapkan oleh *vendor*. Metode yang digunakan dalam studi ini melalui komparasi dengan standar-standar yang diterbitkan oleh IAEA. Rekomendasi dari studi ini berupa metodologi untuk kelas keselamatan yang diterapkan pada reaktor daya (RD) dapat berlaku untuk semua instalasi nuklir (IN). Sedangkan persyaratan yang digunakan adalah batas dosis yang digunakan untuk mengkarakterisasi keparahan konsekuensi untuk semua kondisi instalasi berdasarkan batas dosis yang telah ditetapkan di peraturan badan lainnya. Untuk kelas seismik dapat mengikuti metodologi yang sudah umum dilakukan. Namun dengan persyaratan yang jauh lebih ketat dibanding dengan persyaratan konvensional. Sedangkan kelas mutu merupakan konsekuensi logis dari hasil penetapan SSK ke kelas keselamatan dan kelas seismik tertentu. Penetapan dari ketiga kelas tersebut dilakukan dengan pendekatan bertingkat berdasarkan potensi bahaya radiologinya.

Kata kunci: instalasi nuklir, kelas keselamatan, kelas seismik, kelas mutu, pendekatan bertingkat.

### ABSTRACT

**ESTABLISHMENT OF REGULATION ON STRUCTURES, SYSTEMS, AND COMPONENTS CLASSIFICATION FOR NUCLEAR INSTALLATIONS.** Currently, there is no regulation regarding a methodology to identify and classify of structures, systems and components (SSCs) important to safety and its requirements. The regulation is a delegation from Government Regulation Number 54 of 2012. In addition, in determining the classification of SCCs, a licensee uses different methodologies and requirements according to vendor. The method used in this study is by comparing with standards published by IAEA. The writer recommends that methodology for safety class applied to power reactors can be applied to all nuclear installations. While, the dose limits used as requirements to characterize the severity of consequences for all installation conditions is based on the dose limits established in other regulations. The methodology for seismic class in general can be applied. But, the requirements for nuclear installations are more stringent than conventional requirements. Therefore, the quality class is a consequence of the establishment of the SCCs in certain safety class and seismic class. The establishment of the three classes is carried out using a graded approach based on potential radiological hazards.

Keywords: nuclear installation, safety class, seismic class, quality class, graded approach

### PENDAHULUAN

Hingga saat ini, Indonesia telah memiliki IN yang terdiri dari tiga reaktor penelitian dan beberapa instalasi nuklir non-reaktor (INNR). Untuk ketiga reaktor tersebut memiliki daya masing-masing 30 MWt di Serpong, 2 MWt di Bandung, dan 250 kWt di Yogyakarta. Ketiga reaktor tersebut merupakan reaktor tipe kolam. Sedangkan untuk INNR, banyak fasilitas yang dicakupnya, seperti fasilitas fabrikasi bahan bakar nuklir (IEBE dan PT. INUKI), fasilitas pengujian bahan bakar nuklir pasca iradiasi (IRM), dan fasilitas penyimpanan sementara bahan bakar nuklir bekas (KHIPSB3). Tentunya dalam melakukan penilaian keselamatan

untuk semua IN tersebut harus konsisten dengan besarnya risiko radiasi yang mungkin timbul dari fasilitas atau kegiatan. [1]

Di samping IN yang sudah ada, Indonesia melalui Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) memiliki rencana untuk membangun dan mengoperasikan reaktor daya eksperimental (RDE). Reaktor ini berpendingin gas bersuhu tinggi dengan bahan bakar *pebble* dan berdaya 10 MWt. Tujuan dibangunnya RDE ini adalah untuk menunjukkan kepada masyarakat umum penggunaan energi nuklir untuk tujuan damai, yaitu sebagai pembangkit tenaga listrik, dan beroperasi secara non-komersial. [2] Alasan dipilihnya tipe ini berdasarkan beberapa aspek yaitu fitur-fitur keselamatan yang melekat, seperti koefisien umpan balik reaktivitas negatif, kapasitas panas yang tinggi, dan penggunaan gas helium yang *inert* sebagai pendingin. Fitur-fitur keselamatan tersebut menjamin margin keselamatan yang mencukupi, tanpa bergantung pada sistem keselamatan aktif. [3] Adapun studi klasifikasi SSK untuk RDE yang telah dilakukan oleh Endiah Puji H., dkk. berdasar pada *life cycle management*, yaitu efek penuaan dengan fokus pada kemudahan dalam *refurbishment*. Dari hasil studi disimpulkan bahwa terdapat delapan SSK kritis di RDE, dengan komponen paling kritis terhadap efek penuaan adalah teras reaktor dan komponen di dalamnya. [4]

Dengan pengalaman kejadian kecelakaan *Fukushima Daiichi*, pengalaman tersebut menunjukkan seberapa besar dan penting konsekuensi apabila keselamatan terhadap IN terhadap dampak kejadian eksternal alam tidak mencukupi. Untuk menjamin IN dioperasikan dengan selamat dan untuk mencapai standar keselamatan yang tinggi, tindakan-tindakan perlu dilakukan untuk mencapai tujuan-tujuan berikut: (i) pengendalian paparan radiasi masyarakat umum dan lepasan zat radioaktif ke lingkungan saat operasi, (ii) pencegahan kejadian yang menimbulkan kehilangan kendali, dan (iii) mitigasi konsekuensi, apabila terjadi kecelakaan. [5] Untuk mencapai tujuan-tujuan tersebut diperlukan pengklasifikasian SSK yang penting untuk keselamatan untuk menjamin keselamatan IN terhadap kejadian eksternal alam dan untuk mencapai keandalan yang tinggi. [5] Penetapan klasifikasi SSK yang penting untuk keselamatan IN yang direkomendasikan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA), sejalan dengan persyaratan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 13 Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 54 Tahun 2012. Dimana untuk memenuhi persyaratan umum dan persyaratan khusus desain, pemegang izin wajib menetapkan klasifikasi SSK IN. Sedangkan Pasal 16 memberikan amanah untuk pembentukan peraturan teknis mengenai persyaratan dan penilaian desain.

Sedangkan, pedoman klasifikasi SSK untuk Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) telah ditetapkan dan diterapkan dengan baik. [7] Di sisi lain, pedoman klasifikasi SSK untuk reaktor non-daya (RND) yang diterbitkan oleh Departemen Energi Amerika (US-DOE) telah dikembangkan beberapa dekade yang lalu, namun hanya terbatas untuk RND tipe kolam, dimana reaktor tipe kolam ini termasuk Kategori III dari enam kategori yang telah ditetapkan oleh US-DOE [8]. Hingga saat ini pula, US-DOE belum pernah merevisi dokumen tersebut. Hal ini dapat dipahami kemungkinan karena sulitnya menetapkan pedoman umum yang mencakup beberapa fitur desain dan tingkat daya RND. Di samping itu pula, utilisasi RND mencakup kegiatan yang luas, seperti: eksperimen fisika reaktor, pelatihan, iradiasi material target, studi transmudasi, produksi radioisotop, analisis aktivasi neutron, eksperimen yang melibatkan *loop* temperatur dan tekanan tinggi untuk pengujian bahan bakar dan material, riset hamburan neutron, dan radiografi neutron dan gamma. Oleh karena itu, persyaratan keselamatan yang sama untuk RND tidak mungkin diimplementasikan untuk setiap RND. [9] Karena hal tersebut, IAEA telah menerbitkan dokumen SSR-3 yang berisi mengenai persyaratan-persyaratan keselamatan yang harus dipenuhi di dalam fasilitas RND, dimana salah satu babnya membahas terkait dengan desain fasilitas RND.

Di sisi lain, pedoman terkait metodologi klasifikasi SSK yang penting untuk keselamatan yang diterbitkan oleh beberapa negara untuk INNR sangatlah minim [10, 11]. Minimnya pedoman klasifikasi SSK untuk INNR dapat dipahami karena adanya perbedaan jenis dan ukuran, dan program utilisasi terkait [12]. Hal ini berdampak pada sulitnya menetapkan pedoman secara umum yang mencakup berbagai jenis INNR. Karena hal tersebut, IAEA telah menerbitkan dokumen SSR-4 yang berisi mengenai persyaratan-persyaratan keselamatan yang harus dipenuhi di dalam fasilitas siklus bahan bakar nuklir, dimana salah satu babnya membahas terkait dengan desain fasilitas siklus bahan bakar nuklir.

Namun dokumen baik SSR-3 maupun SSR-4 tidak memiliki dokumen turunannya yang berupa pedoman keselamatan yang membahas lebih rinci persyaratan-persyaratan

yang ada di dokumen SSR-3 dan SSR-4, terutama terkait dengan pengklasifikasian SSK yang penting untuk keselamatan, seperti dokumen SSR-2/1 (Rev. 1). Dimana dokumen SSR-2/1 (Rev. 1) telah memiliki dokumen turunan yang membahas secara lebih rinci terkait klasifikasi keselamatan SSK PLTN (SSG-30). Di samping itu, dapat dipahami karena dalam penentuan klasifikasi SSK diperlukan pemahaman yang komprehensif dan dilibatkan berbagai multi-disiplin ilmu pengetahuan [13].

Berdasarkan uraian di atas, diperlukan suatu peraturan yang berupa pedoman yang berisi persyaratan maupun metodologi untuk menetapkan klasifikasi SSK yang penting untuk keselamatan pada IN. Sehubungan dengan uraian di atas pada tahun 2019, BAPETEN selaku badan pengawas sedang menyusun peraturan badan terkait dengan klasifikasi SSK IN, yang nantinya berlaku secara umum untuk semua jenis IN yang mencakup PLTN, RND dan INNR. Hal ini tentunya menjadikan tantangan tersendiri karena keterbatasan acuan, terutama untuk RND dan INNR. Sedangkan, tujuan dari penulisan ini adalah memberikan beberapa rekomendasi terkait metodologi untuk identifikasi dan klasifikasi SSK yang penting untuk keselamatan serta persyaratannya melalui ini adalah studi komparasi dengan membandingkan standar-standar yang diterbitkan oleh IAEA.

### **POKOK BAHASAN**

Sebagaimana telah disinggung di dalam pendahuluan bahwa tujuan dari klasifikasi SSK adalah untuk menjamin bahwa IN memiliki risiko yang kecil ke pekerja, masyarakat dan lingkungan hidup. Klasifikasi SSK merupakan salah satu konsep keselamatan dasar yang digunakan untuk mencapai tujuan tersebut. Apabila digunakan beberapa metode yang berbeda dalam implementasi klasifikasi keselamatan SSK, maka akan dihasilkan perbedaan kriteria yang diaplikasikan dalam desain SSK [14].

Masih disinggung di pendahuluan, untuk memenuhi persyaratan umum dan persyaratan khusus desain, pemegang izin wajib menetapkan klasifikasi SSK IN. Klasifikasi dilakukan berdasarkan kelas keselamatan, kelas mutu dan/atau kelas seismik, sebagaimana dimaksud pada Pasal 13 ayat (2) PP Nomor 54 Tahun 2012. Adapun definisi dari ketiga kelas tersebut adalah sebagai berikut:

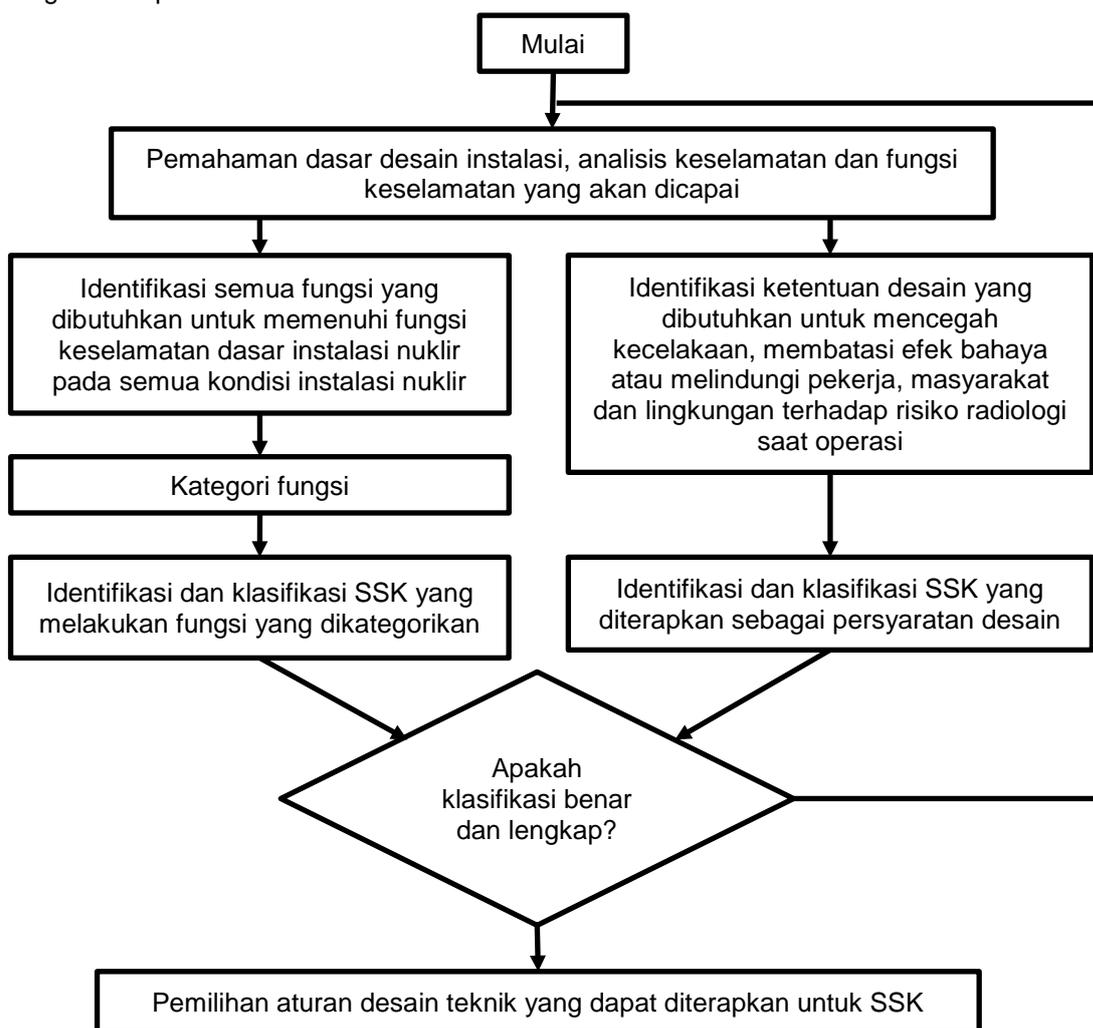
- a. kelas keselamatan adalah klasifikasi SSK berdasarkan fungsi keselamatan dan pentingnya terhadap keselamatan;
- b. kelas seismik adalah klasifikasi SSK berdasarkan kebutuhan tetap berfungsinya SSK tersebut selama gempa dengan skala keparahan tertentu, serta mempertimbangkan kondisi pasca-gempa dan kemungkinan perambatan kerusakan; dan
- c. kelas mutu adalah klasifikasi SSK berdasarkan kendali pemenuhan persyaratan desain dan aspek jaminan mutu pada tahap desain, konstruksi termasuk manufaktur dan pemasangan peralatan, komisioning, dan operasi.

Sedangkan di dalam Pasal 16 disebutkan lebih lanjut bahwa persyaratan dan penilaian desain diatur dengan Peraturan Kepala (PerKa) BAPETEN, sebagaimana telah disinggung di pendahuluan. Apabila ditelusuri lebih jauh, di dalam PerKa BAPETEN Nomor 1 Tahun 2011 dan PerKa BAPETEN Nomor 3 Tahun 2011 terdapat klausul pemegang izin harus menetapkan klasifikasi SSK yang penting untuk keselamatan berdasarkan kelas keselamatan, kelas seismik dan kelas mutu untuk reaktor non-daya dan reaktor daya, berturut-turut. Penetapan klasifikasi SSK tersebut juga dipersyaratkan di dalam PerKa Nomor 8 Tahun 2012, dimana uraian klasifikasi SSK tersebut ada di dalam Huruf D BAB II Tujuan Keselamatan dan Persyaratan Desain. Namun, klausul tersebut tidak ada di dalam PerKa BAPETEN Nomor 11 Tahun 2007. Hal ini bertolak belakang dengan uraian yang ada di PerKa BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006, dimana uraian di dalam Huruf C BAB II Tujuan Keselamatan Nuklir dan Persyaratan Desain Teknis harus diuraikan mengenai klasifikasi struktur, sistem, dan komponen yang berdasarkan keselamatan nuklir dan mutu (kualitas) untuk tujuan analisis dan desain.

Hingga sejak diundangkannya PP Nomor 54 Tahun 2012, hingga saat ini belum tersedia peraturan teknis yang mengatur terkait klasifikasi SSK IN, terutama mengenai metodologi untuk identifikasi dan klasifikasi SSK yang penting untuk keselamatan serta persyaratannya. Karena belum tersedianya pedoman terkait dengan penentuan klasifikasi SSK yang penting untuk keselamatan pada IN, pemohon izin dapat menetapkan klasifikasi SSK menurut metodologi yang digunakan oleh *vendor*. Hal ini tentunya akan menjadi tantangan tersendiri baik bagi pemohon izin maupun evaluator perizinan dalam hal penentuan klasifikasi keselamatan SSK. Tantangan tersebut dari sisi pemegang izin adalah perlunya kepastian hukum terkait metodologi maupun persyaratan yang harus dipenuhi

dalam penetapan klasifikasi SSK. Sedangkan dari sisi evaluator akan mengalami kendala karena belum ada metodologi yang standar, sehingga pada saat proses evaluasi perizinan evaluator harus memahami metodologi yang digunakan oleh *vendor*.

IAEA telah menerbitkan dokumen SSR-2/1 (Rev. 1), SSR-3, dan SSR-4, dimana dokumen ini berisi mengenai persyaratan-persyaratan keselamatan yang harus dipenuhi dalam desain RD, RND dan INNR, berturut-turut. Di dalam dokumen tersebut, dipersyaratkan bahwa semua SSK yang penting untuk keselamatan harus diidentifikasi dan diklasifikasikan berdasarkan fungsinya dan pentingnya terhadap keselamatan. Di samping menerbitkan dokumen-dokumen persyaratan, IAEA juga menerbitkan dokumen-dokumen yang berupa pedoman khusus. Adapun dokumen khusus turunan dari dokumen SSR-2/1 (Rev. 1) adalah SSG-30, yang memberikan metodologi untuk mengidentifikasi dan mengklasifikasikan SSK yang penting untuk keselamatan berdasarkan metode deterministik dilengkapi dengan metode probabilitistik, bila diperlukan. Adapun Gambar 1 menunjukkan diagram alir proses klasifikasi.



Gambar 1. Diagram alir yang menunjukkan proses klasifikasi. [7]

Di dalam SSG-30 diuraikan tiga kategori fungsi keselamatan dan tiga kelas keselamatan untuk SSK yang penting untuk keselamatan. Untuk tiga kategori keselamatan ditunjukkan di dalam Tabel 1. Setelah tiga kategori fungsi keselamatan ditetapkan, SSK tersebut yang melakukan fungsi keselamatan tersebut diklasifikasikan ke kelas keselamatan yang secara langsung berdasarkan keparahan konsekuensi kegagalannya, sebagai berikut:

- kelas keselamatan 1: SSK yang apabila gagal menyebabkan konsekuensi keparahan “tinggi”;
- kelas keselamatan 2: SSK yang apabila gagal menyebabkan konsekuensi keparahan “sedang”; dan

- kelas keselamatan 3: SSK yang apabila gagal menyebabkan konsekuensi keparahan “rendah”.

Meskipun SSG-30 berlaku untuk RD, IAEA merekomendasikan pula metodologi untuk menetapkan kelas keselamatan dapat diterapkan untuk RND dan INNR. [19, 20] Tentunya, penerapan terhadap kelas keselamatan untuk RND dan INNR dilakukan melalui pendekatan bertingkat berdasarkan potensi bahaya radiologinya. Korea, hingga saat ini, telah memiliki aturan dan standar untuk RD, dimana aturan dan standar tersebut secara umum dapat diterapkan untuk RND dengan modifikasi yang sesuai. [15] Tae-Ryong Kim juga mengusulkan konsep pentingnya terhadap keselamatan yang digunakan IAEA dapat diterapkan ke klasifikasi SSK RND. Gambar 1 dan Tabel 1 dapat digunakan sebagai klasifikasi keselamatan SSK secara umum untuk RND. Tentunya konsekuensi dikonfirmasi melalui analisis keselamatan.

Tabel 1. Hubungan antara fungsi yang diberikan dalam analisis kejadian awal terpostulasi dan kategori keselamatan. [7]

Fungsi yang diberikan dalam kajian analisis	Keparahan konsekuensi bila fungsi tidak dijalankan		
	Tinggi	Sedang	Rendah
Fungsi untuk mencapai kondisi terkendali setelah kejadian operasi terantisipasi	Kategori keselamatan 1	Kategori keselamatan 2	Kategori keselamatan 3
Fungsi untuk mencapai kondisi terkendali setelah kecelakaan dasar desain	Kategori keselamatan 1	Kategori keselamatan 2	Kategori keselamatan 3
Fungsi untuk mencapai dan menjaga kondisi aman	Kategori keselamatan 2	Kategori keselamatan 3	Kategori keselamatan 3
Kondisi untuk mitigasi konsekuensi kondisi ekstensi desain	Kategori keselamatan 2 atau 3	Tidak dikategorikan	Tidak dikategorikan

Tabel 2. Perbandingan Batas Dosis untuk Semua Kondisi Instalasi.

KONDISI INSTALASI	BATAS DOSIS	
	TECDOC-1787	PERATURAN BADAN
Operasi normal	Batas dosis pekerja: - dosis efektif 20 mSv/tahun - 1 mSv per paparan tunggal	Batas dosis: - pekerja: dosis efektif 20 mSv/tahun. [24] - masyarakat: dosis efektif < pembatas dosis anggota masyarakat. [25]
Kejadian operasi terantisipasi	Batas dosis di luar tapak untuk masyarakat: dosis efektif 1 mSv/tahun	Batas dosis anggota masyarakat: dosis efektif 1 mSv/tahun. [24]
Kecelakaan dasar desain	Batas dosis kecelakaan dasar desain sebagaimana diterima oleh badan pengawas	Belum diatur

Untuk mengkarakterisasi konsekuensi keparahan, IAEA merekomendasikan pula penggunaan batas dosis atau kriteria desain. [6] Namun, karena peraturan ini akan diberlakukan untuk semua jenis IN, maka perlu digunakan persyaratan secara umum, yaitu dengan menggunakan batas dosis. Apabila digunakan kriteria desain, tentunya tiap IN akan berbeda. Tidak hanya antar IN, namun juga di dalam satu IN. Sebagai contoh reaktor

penelitian US-DOE, dimana reaktor tipe kolam masuk ke dalam kategori III. Di dalam kategori ini dibagi menjadi 2 sub-grup, yaitu reaktor yang berdaya  $P \leq 1$  MW, dan reaktor yang berdaya  $1 \text{ MW} < P \leq 10 \text{ MW}$ . Adapun Tabel 2 memberikan perbandingan dosis efektif, baik pekerja maupun masyarakat, terhadap Tecdoc-1787 dengan peraturan badan.

Di samping kelas keselamatan yang telah diuraikan di atas, PP Nomor 54 Tahun 2012 juga mempersyaratkan bahwa SSK IN harus didesain memenuhi kelas seismik. Prinsip dasar kelas seismik di PP tersebut memiliki kesamaan di Tecdoc-1787, yaitu SSK harus menjamin kemampuan untuk pemadaman, pengambilan panas peluruhan dan pengungkungan lepasan zat radioaktif tetap berfungsi, baik selama ataupun sesudah kejadian gempa. IAEA pada tahun 1985 telah menerbitkan dokumen Tecdoc-348 yang fokus pada desain seismik fasilitas nuklir dengan inventori bahan bakar yang terbatas, termasuk juga RND hingga daya tertentu. Namun seiring dengan banyaknya data operasi dari berbagai fasilitas, bagian dari dokumen ini dilakukan modifikasi. [16] Di samping itu pula, NS-G-1.6 sedang dilakukan revisi agar metodologi yang direkomendasikan untuk RD dapat pula diterapkan untuk IN lainnya melalui pendekatan bertingkat. Rekomendasi ini dapat disesuaikan untuk memenuhi persyaratan IN lainnya sesuai dengan konsekuensi potensi radiologi apabila gagal saat mengalami beban seismik. [17] Hingga saat ini, belum tersedianya pedoman yang lebih spesifik menguraikan metode yang digunakan untuk menentukan kelas seismik seperti metode untuk menentukan kelas keselamatan.

Di dalam Peraturan Kepala Nomor 8 Tahun 2013, dipersyaratkan bahwa evaluasi bahaya gerakan tanah dilakukan untuk periode ulang lima ratus tahun dan sepuluh ribu tahun. Hal ini sejalan dengan definisi SL-1 dan SL-2 di DS 490, dimana untuk SL-1 bersesuaian dengan lima ratus tahun, dan SL-2 bersesuaian dengan sepuluh ribu tahun. Sesuai dengan perkembangan ilmu dan pengetahuan teknologi, IAEA merekomendasikan bahwa kelas seismik dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

- kelas seismik 1, SSK yang dipersyaratkan untuk tetap berfungsi selama dan/atau sesudah kejadian gempa dasar desain dengan sepuluh ribu tahun. SSK yang masuk dalam kelas seismik 1 harus mampu menjaga fungsi keselamatan dan/atau integritas struktur;
- kelas seismik 2, SSK yang apabila gagal melakukan fungsi keselamatan akan mengganggu atau mempengaruhi fungsi keselamatan SSK kelas seismik 1;
- kelas seismik 3, SSK yang bukan merupakan SSK kelas seismik 1 dan 2.

SSK yang masuk kelas seismik 3 didesain sesuai dengan praktik nasional untuk desain seismik aplikasi non-nuklir dan untuk fasilitas konvensional. Apabila, SSK Kelas Seismik 3 penting untuk pengoperasian instalasi, dapat dipertimbangkan memiliki persyaratan yang lebih ketat dibanding dengan fasilitas konvensional hanya berdasar pada kebutuhan pengoperasian. Tabel 3 memberikan contoh kesesuaian antara kelas seismik dengan kelas keselamatan yang telah didefinisikan di uraian sebelumnya.

Tabel 3. Kesesuaian Kelas Seismik dengan Kelas Keselamatan. [17]

Kelas Keselamatan	Kelas Seismik	Keterangan
1	1	Kelas Seismik 1 dan 2 berlaku untuk integritas struktur, atau kebocoran, atau kombinasinya, sebagaimana berlaku.
2	1 atau 2	
3	1 atau 2	Baik SL-1 dan/atau SL-2 harus digunakan sebagaimana ditentukan oleh peraturan dan kode nuklir yang berlaku.
Tidak diklasifikasikan	3	SSK yang bukan kelas keselamatan, dan kegagalan karena gempa tidak diperbolehkan berinteraksi dengan SSK kelas keselamatan.  Praktik nasional desain seismik untuk instalasi non-nuklir dapat diterapkan.

Kualifikasi seismik merupakan proses verifikasi SSK untuk melakukan fungsi keselamatan selama dan/atau sesudah gempa bumi melalui pendekatan pengujian, analisis, kombinasi analisis dan pengujian, serta metode tak langsung. [17] Dengan kata lain, bahwa kualitas dan informasi rinci yang digunakan untuk mengualifikasi kelas seismik SSK IN telah

ditetapkan secara langsung berdasar pada pengalaman gempa. Kualifikasi yang ditetapkan dengan pengalaman gempa tersebut tidak boleh kurang dari kualifikasi dengan analisis maupun pengujian. [21]

Adapun uraian dari pendekatan tersebut adalah sebagai berikut, kualifikasi dengan analisis mengikuti cara yang digunakan untuk desain seismik gedung utama, dimana masukan seismik diberikan dengan pembebanan seismik pada lokasi SSK yang diekspresikan sebagai spektra respons struktur atau sejarah waktu struktur. Apabila integritas dan kemampuan fungsi keselamatan SSK tidak dapat ditunjukkan dengan analisis, maka kualifikasi dengan pengujian dapat dilakukan untuk membuktikan kemampuan seismiknya atau untuk membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam pengkualifikasian SSK. Jenis pengujian mencakup uji keberterimaan (*proof test*) dan uji impedansi rendah (*dynamic characterization test*). Sedangkan kualifikasi dengan kombinasi dilakukan apabila melibatkan SSK yang besar dan kompleks. Metode yang terakhir adalah kualifikasi dengan metode tak langsung yang berdasarkan penetapan kesamaan (*similarity*) SSK terhadap SSK acuan yang telah dikualifikasi melalui analisis dan pengujian.

IAEA juga menekankan bahwa ruang lingkup dokumen Tecdoc-348 hanya digunakan untuk IN baru. Pada saat dilakukannya *retrofitting* IN yang ada dan didesain dengan menggunakan kriteria lainnya tidak dipertimbangkan di dalam ruang lingkup dokumen tersebut.

Klasifikasi SSK yang berdasarkan kendali pemenuhan persyaratan desain aspek jaminan mutu di PP 54 Tahun 2012 sejalan dengan persyaratan di dalam dokumen IAEA, yaitu SSK yang penting untuk keselamatan pada IN harus didesain sesuai dengan kode dan standar nasional dan internasional yang relevan. [18, 19, 20] Dengan kata lain bahwa harus disediakan dan dijustifikasi hubungan antara kelas keselamatan dengan aturan fabrikasi dan desain teknis terkait, termasuk kode dan/atau standar yang diterapkan ke tiap SSK. [7] Tabel 4 memberikan contoh hubungan antara kelas keselamatan dan persyaratan kode/standar untuk SSK penahan tekanan.

Tabel 4. Hubungan Antara Kelas Keselamatan dan Persyaratan Kode/Standar untuk SSK Penahan Tekanan. [6]

Kelas Keselamatan	Persyaratan Kode/Standar
1	ASME Code, Section III, Division 1, Subsection NB RCC-M1
	ASME Code, Section III, Division 1, Subsection NC atau ND RCC-M2 atau RCCM3 (bergantung pada kelas penahan keselamatannya)
	ASME Code, Section III, Division 1, Subsection NC RCC-M2
2	ASME Code, Section III, Division 1, Subsection ND RCC-M3
	ASME Code, Section III, Division 1, Subsection ND RCC-M3
	ASME Code, Section III, Division 1, Subsection ND RCC-M3
3	ASME Code, Section III, Division 1, Subsection ND RCC-M3
	Kode konvensional, seperti: - European Pressure Directive 97/23/EC - ASME Code, Section VIII, Division 1 untuk bejana tekan - ANSI B31.1 untuk pemipaan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Uraian di atas jelas bahwa diperlukan peraturan yang berupa pedoman terkait dengan klasifikasi SSK IN dan berlaku secara umum. Peraturan tersebut berisi mengenai metodologi untuk identifikasi dan klasifikasi SSK yang penting untuk keselamatan serta persyaratannya. Hal ini tentunya menjadikan kekosongan hukum, dimana peraturan-peraturan yang telah terbit mempersyaratkan pemegang izin untuk melakukan klasifikasi SSK IN. Di samping itu

pula, dengan tidak adanya peraturan tersebut, pemegang izin saat ini dengan leluasa menentukan metode dan persyaratan kelas keselamatan sendiri. Tentunya dengan konsekuensi tersebut dihasilkan perbedaan kriteria. Dengan kata lain, untuk IN yang memiliki konsekuensi radiologi rendah dapat memiliki kategori lebih (*over categorization*). Tentunya dengan telah ditetapkannya SSK di dalam kelas tertentu, konsekuensi lainnya adalah pemegang izin juga harus menerapkan kode dan standar sesuai dengan kelas keselamatan tersebut. Untuk menghindari hal tersebut, maka dirasa perlu untuk membentuk suatu peraturan terkait metodologi untuk identifikasi dan klasifikasi SSK yang penting untuk keselamatan serta persyaratannya, dan pembentukan peraturan tersebut merupakan delegasi dari PP Nomor 54 Tahun 2012.

Dari rekomendasi IAEA dinyatakan bahwa metodologi yang ada di SSG-30 yang diterapkan untuk RD, dapat diterapkan pula untuk RND dan INNR. Penerapan tersebut tentunya dilakukan melalui pendekatan bertingkat berdasarkan potensi bahaya radiologi. Dengan berlakunya secara umum, hal yang dapat direkomendasikan dari penulis berupa persyaratan yang lebih umum untuk mengkarakterisasi keparahan konsekuensi sebagaimana disebutkan di Tabel 2, dengan batas dosis disesuaikan dengan peraturan badan yang berlaku. Tentunya keparahan konsekuensi tersebut harus dipastikan dengan analisis keselamatan.

Pembagian kelas keselamatan dan kelas seismik dapat mengikuti sebagaimana yang telah direkomendasikan oleh IAEA, yaitu tiga kelas keselamatan dan tiga kelas seismik. Metodologi untuk identifikasi dan klasifikasi SSK dapat mengikuti diagram alir di Gambar 1. Sedangkan metodologi untuk kelas seismik mengikuti metodologi yang secara umum telah dilakukan pada gedung dan non-gedung konvensional, hal ini juga telah tertuang di dalam NS-G-1.6, serta draft revisinya (DS-490). Namun dengan persyaratan yang lebih ketat dibanding dengan persyaratan untuk gedung dan non-gedung konvensional. Sebagai contoh, dalam mendesain struktur IN telah ditetapkan bahwa untuk nilai percepatan tanah puncak (*peak ground acceleration*) sebesar sepuluh ribu tahun dibanding dengan peta zonasi gempa Indonesia dengan menggunakan nilai percepatan tanah puncak sebesar 2.500 tahun. Untuk penetapan kelas mutu merupakan konsekuensi logis dari hasil penetapan SSK ke kelas keselamatan dan kelas seismik tertentu. Dengan kata lain, semakin tinggi kelas keselamatan/kelas seismik SSK IN yang ditetapkan, semakin tinggi pula kelas mutu yang diterapkan. Kelas mutu ini berkaitan dengan penerapan kode dan standar untuk desain teknik SSK. Karena peraturan yang akan dibentuk ini berlaku untuk semua IN, maka penerapan kode dan standar dilakukan berdasarkan pendekatan bertingkat pula. Kriteria keberterimaan SSK umumnya telah diberikan di dalam kode dan standar tersebut.

## KESIMPULAN

Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa pentingnya dibentuk peraturan terkait klasifikasi SSK IN dan berlaku secara umum, yang berisi mengenai metodologi untuk identifikasi dan klasifikasi SSK yang penting untuk keselamatan serta persyaratannya. Hal ini dilakukan agar dalam penetapan kelas keselamatan, kelas seismik dan kelas mutu lebih seragam. Adapun rekomendasi yang dapat diberikan adalah metodologi untuk kelas keselamatan yang diterapkan pada RD dapat berlaku untuk semua IN. Sedangkan persyaratan yang digunakan adalah batas dosis yang digunakan untuk mengkarakterisasi keparahan konsekuensi untuk semua kondisi instalasi berdasarkan batas dosis yang telah ditetapkan di peraturan badan lainnya. Untuk kelas seismik dapat mengikuti metodologi yang sudah umum dilakukan. Namun dengan persyaratan yang jauh lebih ketat dibanding dengan persyaratan konvensional. Sedangkan kelas mutu merupakan konsekuensi logis dari hasil penetapan SSK ke kelas keselamatan dan kelas seismik tertentu. Penetapan dari ketiga kelas tersebut dilakukan dengan pendekatan bertingkat berdasarkan potensi bahaya radiologinya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dra. Dahlia C. Sinaga, M.T., selaku direktur pengaturan pengawasan instalasi dan bahan nuklir, yang telah memberikan arahan dan masukan terkait isi dari makalah guna menyempurnakan draft rancangan peraturan badan terkait dengan klasifikasi struktur, sistem dan komponen instalasi nuklir.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] GSR Part 4 (Rev. 1), "Safety Assessment for Facilities and Activities", IAEA, Februari, Vienna (2016)
- [2] Taryo T., Rokhmadi, Bakhri S., dan Sunaryo G. R., "The On-going Progress of Indonesia's Experimental Power Reactor 10 MW and Its National Research Activities", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir (2017)
- [3] Xing L. Yan, dkk., "Design of HTTR-GT/H2 Test Plant", Nuclear Engineering Design (2018)
- [4] Endiah Puji H., dkk., "Study of Structures, Systems and Components Classification of Reaktor Daya Eksperimental – RDE Based on Life Cycle Management", SENTEN 2018 – Symposium of Emerging Nuclear Technology and Engineering Novelty (2019)
- [5] Safety Standards Series No. SF-1, "Fundamental Safety Principles", IAEA, November, Vienna (2006)
- [6] IAEA-TECDOC-1787, "Application of the Safety Classification of Structures, Systems and Components in Nuclear Power Plants", IAEA, April, Vienna (2016)
- [7] SSG-30, "Safety Classification of Structures, Systems and Components in Nuclear Power Plants", IAEA, Mei, Vienna (2014)
- [8] W.J. Brynda, dkk., "BNL 50831-III: Design Guide for Category-III Reactors Pool Type Reactor", Brookhaven National Laboratory Associated Universities Inc., November, New York (1978)
- [9] SSG-22, "Use of a Graded Approach in the Application of the Safety Requirements for Research Reactors", IAEA, November, Vienna (2012)
- [10] Regulatory Guide 3.14, "Seismic Design Classification for Plutonium Processing and Fuel Fabrication Plants", US-NRC, Oktober, Washington D.C. (1973)
- [11] NP-016-05, "General Safety Provisions for Nuclear Fuel Cycle Facilities (GSP NFCF)", Federal Nuclear Regulatory Authority of Russia, Mei, Moscow (2006)
- [12] SRS No. 90, "Safety Reassessment for Nuclear Fuel Cycle Facilities in Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant", IAEA, Juli, Vienna (2016)
- [13] Arifin M. Susanto, dkk., "Kajian Teknis Klasifikasi Sistem, Struktur dan Komponen (SSK) Reaktor Nuklir", Prosiding Seminar Nasional Infrastruktur Energi Nuklir 2018, Oktober, Yogyakarta (2018)
- [14] CORDEL Digital Instrumentation & Control Task Force, "Safety Classification for I&C Systems in Nuclear Power Plants – Current Status & Difficulties", World Nuclear Association, September, England and Wales (2015)
- [15] Tae-Ryong Kim, "Safety Classification of Systems, Structures, and Components for Pool-Type Research Reactors", Nuclear Engineering and Technology - Elsevier, Maret, Korea (2016)
- [16] IAEA-TECDOC-1347, "Consideration of External Events in the Design of Nuclear Facilities Other Than Nuclear Power Plants, With Emphasis on Earthquakes", IAEA, Maret, Vienna (2003)
- [17] Draft Safety Guide No. DS 490, "Seismic Design of Nuclear Installations", IAEA
- [18] SSR-2/1 (Rev. 1), "Safety of Nuclear Power Plants: Design", IAEA, Februari, Vienna (2016)
- [19] SSR-3, "Safety of Research Reactors", IAEA, September, Vienna (2016)
- [20] SSR-4, "Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities", IAEA, Oktober, Vienna (2017)
- [21] NS-G-1.6, "Seismic Design and Qualification for Nuclear Power Plants", IAEA, November, Vienna (2003)
- [22] IAEA-TECDOC-348, "Earthquake Resistant Design of Nuclear Facilities With Limited Radioactive Inventory", IAEA, Oktober, Vienna (1985)
- [23] Peraturan Pemerintah, "Keselamatan dan Keamanan Instalasi Nuklir", Peraturan Pemerintah Nomor 54 Tahun 2012, April, Jakarta (2012)
- [24] Peraturan Kepala BAPETEN, "Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir", Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013, Maret, Jakarta (2013)
- [25] Peraturan Kepala BAPETEN, "Ketentuan Keselamatan Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir", Peraturan BAPETEN Nomor 4 Tahun 2018, Juli, Jakarta (2018)
- [26] Peraturan Kepala BAPETEN, "Ketentuan Keselamatan Instalasi Nuklir Non-Reaktor", Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 11 Tahun 2007, September, Jakarta (2007)

- 
- [27] Peraturan Kepala BAPETEN, "Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Non-Daya", Peraturan Kepala BAPETEN 1 Tahun 2011, Januari, Jakarta (2011)
  - [28] Peraturan Kepala BAPETEN, "Ketentuan Keselamatan Desain Reaktor Daya", Peraturan Kepala BAPETEN 3 Tahun 2011, Januari, Jakarta (2011)
  - [29] Peraturan Kepala BAPETEN, "Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Non-Daya", Peraturan Kepala BAPETEN 8 Tahun 2012, Juli, Jakarta (2012)
  - [30] Peraturan Kepala BAPETEN, "Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Non-Reaktor", PerKa BAPETEN Nomor 10 Tahun 2006, November, Jakarta (2006)
  - [31] Peraturan Kepala BAPETEN, "Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir untuk Aspek Kegempaan", PerKa BAPETEN Nomor 8 Tahun 2013, Juni, Jakarta (2013)

**DISKUSI/TANYA JAWAB:**

**1. PERTANYAAN (A. Bayu Purnomo-PSMN BATAN):**

Bagaimana interaksi BAPETEN dengan BSN terkait pemberlakuan standar atau ketentuan yang terlalu rinci.

**JAWABAN:**

Di dalam peraturan badan terkait dengan penerapan standar-standar terdapat klausul yg menyebutkan bahwa penerapan standar-standar tersebut harus mengutamakan standar-standar yg berlaku secara nasional. Namun, apabila tidak terdapat standar nasional yang berlaku, permohonan izin dapat menggunakan standar dari negara asal vendor.

## **REGULASI PENGELOLAAN RANTAI PASOK BARANG DAN LAYANAN YANG PENTING UNTUK KESELAMATAN NUKLIR DI INDONESIA**

**Reno Alamsyah**

*Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), Jl. Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120  
email: r.alamsyah@bapeten.go.id*

### **ABSTRAK**

**REGULASI PENGELOLAAN RANTAI PASOK BARANG DAN LAYANAN YANG PENTING UNTUK KESELAMATAN NUKLIR DI INDONESIA.** Pengelolaan rantai pasok barang dan layanan yang penting untuk keselamatan nuklir adalah penting bagi Indonesia, sebagai pengoperasi tiga reaktor riset yang sudah menua maupun sebagai negara yang dianggap akan membangun PLTN. Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2010 yang mengatur Sistem Manajemen dinilai belum memadai dalam mengendalikan hal tersebut. Dengan berbagai pertimbangan, Peraturan ini dalam proses untuk direvisi dengan mengadopsi standar terbaru IAEA, yaitu GSR Part 2, yang antara lain memberi persyaratan mengenai pengelolaan rantai pasok. Standar lain yang diterbitkan IAEA menguraikan panduan dalam menangani barang-barang tiruan, palsu atau mencurigakan (CFSI) dalam proses pengadaan barang-barang yang penting untuk keselamatan. Sebab, hal tersebut telah terjadi di beberapa negara pengoperasi PLTN. Dengan demikian, tujuan dari penulisan paper ini adalah untuk mengidentifikasi tantangan regulasi mengenai pengelolaan rantai pasok itu. Metode yang digunakan bersifat deskriptif, analitik dan kualitatif, serta dilengkapi dengan studi literatur dan memanfaatkan pengalaman dalam pengawasan. Kajian ini menyimpulkan bahwa tantangan untuk mengembangkan regulasi tersebut adalah dalam memahami atau menginterpretasikan berbagai standar internasional yang terkait; Fakta bahwa rantai pasok adalah praktik yang cukup rumit, termasuk dalam menghadapi kemungkinan masuknya CFSI; Pengelolaan SDM untuk pelaksanaan dan pengawasan rantai pasok; serta dalam menyusun Panduan yang dapat digunakan oleh pemohon atau pemegang izin dan pihak badan pengawas. Kajian ini diharapkan bermanfaat dalam penyusunan pengganti Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2010 dan Panduan pelaksanaannya.

Kata kunci: rantai pasok, regulasi, sistem manajemen, keselamatan nuklir, CFSI.

### **ABSTRACT**

**THE REGULATION ON SUPPLY CHAIN MANAGEMENT OF ITEMS AND SERVICES IMPORTANT TO NUCLEAR SAFETY IN INDONESIA.** Supply chain management of items and services important to nuclear safety is an important issue for Indonesia, as the operator of three ageing research reactors and as an embarking country. BAPETEN Chairman Regulation (BCR) No. 4 Year 2010 concerning Management System is deemed inadequate in controlling such matters. With some considerations, this regulation is in the process of being revised by adopting the latest IAEA standard, namely GSR Part 2, which among others provides requirements regarding supply chain management. Other related standards issued by the IAEA outline guidelines for dealing with counterfeit, fraudulent and suspected items (CFSI) in the process of procuring items important to safety. Because, they had happened in some NPP operating countries. Thus, the purpose of this study is to identify regulatory challenges regarding the management of the supply chain. The method used is descriptive, analytic and qualitative in nature, and is complemented by literature studies and utilizes regulatory practice experiences. The study concluded that the challenges to develop this regulation are in understanding or interpreting various relevant international standards; The fact that the supply chain is a fairly complicated practice, including in dealing with the possibility of entry of CFSI; HR management for supply chain implementation and regulation; as well as in preparing the Guidelines that can be used by the applicant or licensee and the regulator. This study is expected to be useful in the preparation of the amendment of the BCR and its implementing guidelines.

Keywords: supply chain, regulation, management system, nuclear safety, CFSI.

## PENDAHULUAN

Standar IAEA GSR Part 2 (2016) [1] telah menguraikan persyaratan dasar mengenai pengelolaan rantai pasok. Hal ini sangat penting untuk disyaratkan mengingat bahwa keandalan dan mutu struktur, sistem dan komponen (SSK) yang penting untuk keselamatan dari suatu instalasi nuklir haruslah terjamin. SSK seperti itu tentu saja harus dicegah agar bukan merupakan barang-barang yang tiruan, palsu dan mencurigakan (*counterfeit, fraudulent and suspected items* atau CFSI). Kejadian-kejadian seperti itu sudah ada, sedemikian sehingga pada tahun 2019 IAEA telah mempublikasikan standar NP-T-3.26 'Managing Counterfeit and Fraudulent Items in Nuclear Industry' [2]. Sebelumnya, pada tahun 2015 USNRC, sebagai badan pengawas industri nuklir terbesar dunia, telah menerbitkan pedoman pengawasan guna meningkatkan kesadaran akan aturan-aturan yang menyangkut masalah CFSI dan mencegahnya masuk ke dalam rantai pasok atau digunakan oleh industri nuklir di Amerika Serikat [3].

Program untuk mencegah dan mengatasi masalah CFSI adalah bagian dari pengelolaan rantai pasok. Dokumen pendahulu GSR Part 2, yaitu standar GS-R-3 (2006) mengenai sistem manajemen terintegrasi [4] belum memberikan persyaratan mengenai manajemen rantai pasok, namun terbatas mengenai kendali pembelian. Demikian pula dengan Peraturan Kepala BAPETEN No. 4 Tahun 2010 tentang Sistem Manajemen Fasilitas dan Kegiatan Pemanfaatan Ketenaganukliran (Perka 4/2010) [5], yang memang merujuk pada GS-R-3. Kajian untuk mengubah Perka 4/2010 berdasarkan GSR Part 2 telah dilakukan [6] dan pada tahun 2019 ini perubahan Perka tersebut sedang diproses.

Masalah regulasi nasional mengenai pengelolaan rantai pasok ini sangat penting untuk dibahas. Selain dipertimbangkan sebagai negara yang akan membangun PLTN, Indonesia memiliki tiga reaktor riset yang dapat dikatakan sudah tua. Reaktor riset pertama Indonesia yang berada di Bandung telah berusia 54 tahun [7], dan reaktor riset termuda, yaitu PRSG Serpong, telah berusia 32 tahun [8]. Keusangan SSK pada instalasi yang setua ini berpotensi menjadi masalah besar karena ketersediaannya tidak lagi terjamin. Kemudian, jika Indonesia benar-benar akan membangun PLTN, maka pemegang izin (PI) PLTN harus sangat berhati-hati dalam mengendalikan vendor atau pemasoknya. Pembelian SSK yang penting untuk keselamatan oleh PI PLTN maupun oleh PI fasilitas yang ada sekarang tentu berpotensi menghadapi masalah CFSI. Penyediaan layanan kepada instalasi nuklir yang ada juga tidak bebas dari masalah keselamatan. Contohnya, keselamatan staf penyedia jasa saat melakukan perbaikan fasilitas atau ketika telah tiba mengantarkan barang-barang yang dipesan bagaimanapun juga adalah menjadi tanggung jawab fasilitas.

Dengan demikian, tujuan dari penulisan makalah ini adalah untuk mengidentifikasi tantangan dalam regulasi yang ada guna memastikan bahwa pengelolaan rantai pasok barang dan layanan yang penting untuk keselamatan dilakukan dengan Sistem Manajemen yang mangkus dan sangkil. Dengan begitu, persoalan CFSI juga dapat dicegah, atau jika tetap ada akan teridentifikasi dan ditindaklanjuti dengan tepat. Hasil kajian ini juga diharapkan dapat digunakan untuk mengembangkan panduan yang dapat digunakan oleh pemohon dan PI; atau oleh evaluator dan inspektur badan pengawas.

## POKOK BAHASAN

Kajian ini dipusatkan pada pemahaman dan interpretasi atas GSR Part 2, khususnya Persyaratan-11 mengenai pengelolaan rantai pasok. Untuk itu, terlebih dahulu dibahas persoalan dan standar mengenai CFSI, serta standar yang secara khusus menjelaskan pengelolaan rantai pasok, sistem manajemen dan QA/QC.

### Masalah CFSI

CFSI menjadi topik bahasan yang luas dibicarakan secara internasional, terutama sejak diketahui terjadi di Korea Selatan pada tahun 2012 [9,10]. Pada bagian ini akan dikaji hal-hal yang perlu diperhatikan dalam mencegah dan mengidentifikasi masalah CFSI. Standar internasional dan praktik-praktik di negara-negara maju pengoperasi PLTN juga disajikan sebagai bahan perbandingan.

### Sistem Manajemen

Pada bagian ini disajikan kajian mengenai keterkaitan antara pengelolaan rantai pasok, termasuk masalah CFSI, dengan sistem manajemen terintegrasi. Entitas-entitas yang terkait dan cara kerja pengelolaan dan sistem manajemen tersebut juga didiskusikan.

Dengan memahamai hal tersebut, maka pengawasan oleh majamen fasilitas maupun oleh badan pengawas menjadi lebih mudah untuk dirumuskan.

### Regulasi dan Panduan

Sejak Perka 4/2010 [5] dicanangkan untuk diganti dengan acuan utama GSR Part 2 [1], maka rumusan aturan tentang pengelolaan rantai pasok menjadi salah satu bahan yang penting untuk dibicarakan secara rinci guna memahami hal-hal yang masuk ke dalam lingkup regulasi. Lebih jauh, suatu panduan regulasi untuk pelaksanaan majemen rantai pasok juga perlu dirumuskan, sedemikian sehingga calon PI PLTN (dan para vendor dan pemasoknya) serta PI intalasi nuklir yang ada, dan bahkan staf badan pengawas, memiliki kesadaran dan pemahaman yang sama dan memadai mengenai postensi masalah keselamatan yang terlibat. Dalam hal ini, Persyaratan-11 dari GSR Part 2 akan dianalisis secara rinci metode pelaksanaannya.

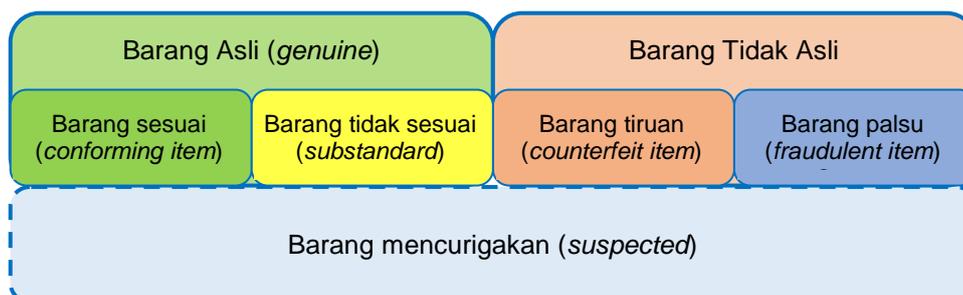
### METODOLOGI

Kajian ini dilakukan dengan metode yang bersifat deskriptif, analitik dan kualitatif, serta dilengkapi dengan studi literatur. Untuk itu, peraturan perundang-undangan (PUU) nasional, standar internasional dan karya-karya tulis ilmiah digunakan sebagai acuan. Pengalaman intensif penulis dalam melakukan pengawasan jaminan mutu dan sistem manajemen juga digunakan untuk menginterpretasikan PUU nasional dan standar internasional, serta untuk menganalisis penyebab masalah yang ada.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Masalah CFSI

Dokumen IAEA NP-T-3.26 [2] adalah perluasan dari IAEA-TECDOC-1169 mengenai pengelolaan barang-barang mencurigakan dan palsu dalam industri nuklir [11]. Terbitan ini juga merupakan panduan teknis dalam melaksanakan GSR Part 2 yang memayunginya, dan juga sejalan dengan pedoman IAEA yang diterbitkan sebelumnya, yaitu NP-T-3.21 [12] mengenai pengadaan rekayasa dan rantai pasok. NP-T-3.26 sendiri menjelaskan berbagai pengalaman internasional yang terkait CFSI; garis besar program, proses dan perkakas yang dapat digunakan; berbagai metode pencegahan; teknik-teknik melakukan investigasi jika hal tersebut terdeteksi dan tindak lanjutnya; cara-cara pengelolaan, pemantauan dan pengendaliannya; masalah pelaporan dan berbagi informasi; serta menjelaskan ciri-ciri barang tiruan, palsu atau yang mencurigakan (*suspected items*). Untuk memahami persoalan yang ada, dokumen ini memberikan penjelasan sebagaimana digambarkan pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Hubungan antara barang-barang asli dan CFSI [2]

Dokumen NP-T-3.26 mendefinisikan barang 'asli' sebagai barang yang diproduksi dan disertifikasi tanpa maksud untuk menipu (*deceive*); barang 'tidak sesuai' sebagai produk yang tidak memenuhi persyaratan atau fungsi yang dimaksudkan; barang 'tiruan' (*counterfeit*) sebagai produk yang sengaja dibuat, diperbaharui (*refurbished*) atau ditukar (*altered*) untuk meniru produk asli tanpa otorisasi, agar barang tersebut dapat dimasukkan sebagai barang asli; barang 'palsu' (*fraudulent*) sebagai produk yang sengaja disalah-artikan (*misrepresented*) dengan maksud untuk menipu, termasuk: barang-barang yang dilengkapi dengan identifikasi yang tidak tepat atau dengan sertifikat yang palsu atau tidak tepat, dan barang-barang yang dijual oleh pihak yang telah memiliki hak untuk memproduksinya dengan jumlah tertentu tetapi kemudian memproduksinya lebih banyak dari hak yang diberikan serta menjual produksi lebihnya sebagai persediaan yang legal; dan barang

mencurigakan sebagai produk yang mengandung indikasi tidak asli atau mencurigakan keasliannya. Pada bagian lain, dijelaskan juga istilah *commercial grade dedication* (CGD), yaitu suatu proses yang bertujuan untuk menggantikan barang-barang tingkat nuklir atau yang penting untuk keselamatan dengan tingkat industri melalui suatu proses pengujian kualifikasi agar memenuhi persyaratan dan fungsi yang diinginkan.

Untuk memahami pentingnya persoalan ini, kasus di Korea Selatan dapat dijadikan contoh. Kim dari badan pengawas Korea KINS [13] melaporkan bahwa KINS hingga 1 Agustus 2017 telah memeriksa sekitar 290.000 *Quality Verification Documents* (QVD) dari 23 PLTN yang beroperasi dan 5 PLTN yang sedang dibangun. Didapatkan bahwa 2.234 di antaranya (0,7%) adalah palsu, dan sebanyak 1.583 (0,5%) tidak dapat diverifikasi karena pemasoknya sudah tidak ada atau tidak mau bekerjasama. Kemudian, 62 dari 2.699 laporan *Equipment Qualification* (EQ) yang dimiliki semua PLTN tersebut terbukti palsu. Sementara itu, Lee dari organisasi pengoperasi KHNP [14] juga melaporkan hasil investigasi yang serupa yang dilakukan oleh KHNP. Penyelidikan KHNP lebih lanjut mengenai kasus pemalsuan dokumen mutu adalah sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kasus-kasus pemalsuan dokumen mutu [14]

Cakupan	Kandungan pemalsuan	Barang-barang
CDG	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sertifikat mutu palsu yang dikeluarkan oleh agen.</li> </ul>	<i>buzzer, diode, transformer, power supply, switch, fuse, relay, rectifier, magnetic contactor, pressure gauge, blower.</i>
QVD	<ul style="list-style-type: none"> <li>Penggunaan kembali sertifikat terdahulu.</li> <li>Penerbitan sertifikat palsu.</li> <li>Menukar hasil pengujian.</li> </ul>	<i>pulley, fan, motor, pump, bushing, nut, bolt, heater, tool set, ring, sleeve, actuator, filter, valve disk, angle, shaft.</i>
EQ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menukar hasil pengujian.</li> <li>Mengganti kondisi pengujian: Larutan boron dengan air.</li> <li>Pemasok mengganti laporan hasil pengujian laboratorium.</li> </ul>	<i>PAR, control switch module, control rod position transmitter, radiation monitoring sensor, AHU, 600V control cable, fuel tank.</i>

Pada Tabel 1 di atas, harus dicatat bahwa *passive autocatalytic recombiner* (PAR) adalah alat yang digunakan untuk menghilangkan hidrogen, dan perannya menjadi sangat penting sebagai pembelajaran dari kecelakaan nuklir di PLTN Fukushima tahun 2011. Hal ini menjadi salah satu indikasi pentingnya masalah CFSI dan pengelolaan rantai pasok secara umum. Kim [13] selanjutnya menjelaskan jenis-jenis tindakan pengawasan yang diambil, termasuk perintah penghentian proses tertentu dan pemberian denda maupun kriminalisasi lewat pengadilan. Sementara itu, Lee [14] menguraikan berbagai tindakan penanggulangan yang dapat dilakukan di tingkat kementerian maupun pada level operator.

Pencegahan masalah CFSI, menurut NP-T-3.26 [2], dapat dilakukan dengan berbagai cara. Langkah awalnya adalah melalui pelatihan penyadaran umum, teknis, administratif pengadaan, etika, QA/QC, dan pelatihan bagi staf perawatan maupun bagi pemasok. Kemudian, dilakukan penetapan berbagai prosedur penting seperti: pelibatan bagian keteknikan pada proses pengadaan dan penerimaan barang, pemilihan dan pengawasan pemasok, serta pengelolaan pengadaan untuk barang-barang sesuai dengan tingkat risikonya. Berbagai beleid juga diperlukan, yaitu: kebijakan tanpa toleransi bagi vendor yang menipu, perlindungan hak cipta, serta pembuangan dan pemusnahan. Dikembangkan juga perkakas yang dapat digunakan dalam mengidentifikasi CFSI, termasuk yang mengandalkan kinerja manusia. NP-T-3.26 juga memaparkan praktik dan aturan desain yang menekankan keragaman pasokan sebagai bagian dari pencegahan.

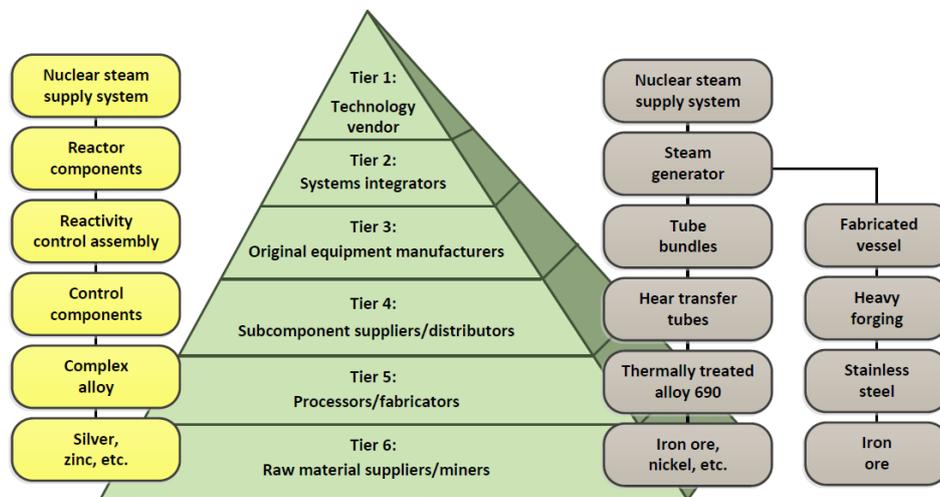
### Sistem Manajemen

Sistem Manajemen adalah salah satu dokumen persyaratan izin sebagaimana diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 [15]. Aturan pelaksanaannya, yaitu Perka 4/2010 [5] yang merujuk pada standar IAEA GS-R-3 [4] telah memberikan persyaratan mengenai kendali pembelian yang harus dilakukan oleh PI. Pedoman penerapan sistem manajemen secara umum GS-G-3.1 (2006) [16] menjelaskan secara rinci tugas-tugas yang harus dilaksanakan pejabat pengadaan, proses pengadaan serta peran manajemen senior dalam membangun hubungan dengan pemasok dengan memfasilitasi komunikasi dalam

upaya meningkatkan kemangkusan dan kesangkilan proses pengadaan. Kemudian, pedoman penerapan sistem manajemen instalasi nuklir GS-G-3.5 (2009) [17] lebih jauh menjelaskan tata cara jika produk kelas industri (*commercial grade*) hendak digunakan untuk SSK dengan fungsi keselamatan.

Dokumen lainnya, yaitu IAEA NG-T-1.3 [18] yang menguraikan pembentukan dan pelaksanaan sistem manajemen berbasis proses juga mengidentifikasi pembelian sebagai proses yang harus dikendalikan. Kemudian, NG-T-3.4 [19] memberikan arahan bagi kalangan industri dalam mendukung proyek pembangunan PLTN nasional. Adalah sangat penting untuk melibatkan industri domestik dalam proyek PLTN nasional. Dengan demikian, pihak industri, domestik maupun global, harus memahami dokumen-dokumen sebelumnya mengenai Sistem Manajemen, kendali rantai pasok maupun CFSI.

Publikasi NP-T-3.21 [12], sebagai salah satu pedoman pelaksanaan GSR Part 2 [1], memberikan uraian yang menyeluruh mengenai pengelolaan rantai pasok. Dokumen ini menjelaskan kerumitan tingkatan dalam rantai pasok sebagaimana dilukiskan pada Gambar 2. Di sini digambarkan bahwa rantai pasok dapat terdiri atas enam lapisan, mulai dari vendor, pengintegrasikan berbagai sistem, pabrik peralatan sebenarnya, pemasok atau distributor subkomponen, pabrikator atau prosesor, hingga pemasok bahan dasar. Dalam hal ini, GSR Part 2 mensyaratkan agar Sistem Manajemen yang dibuat oleh PI, sebagai *intelligent customer* atau *informed customer*, harus memberikan jaminan kepada badan pengawas dan publik bahwa pihak mereka mampu mengendalikan mutu produk yang dibelinya. Sebaliknya, staf badan pengawas juga dapat memahami tingkat kecukupan atau kriteria keberterimaan pengendalian yang dilakukan PI. Panduan yang diberikan oleh NP-T-3.21 adalah mengenai pengelolaan pengadaan; rincian prosesnya, termasuk penyusunan kriteria keberterimaan dan audit mutu terhadap pemasok; pengadaan layanan; berbagai hal yang harus dipertimbangkan seperti manajemen konfigurasi, persoalan keusangan dan modernisasi, dan sumber daya manusia; pengadaan piranti lunak atau peralatan yang mengandung piranti lunak; barang-barang tiruan dan palsu; serta berbagai metoda yang bersifat proaktif dari fasilitas baru guna mencegah timbulnya persoalan pengadaan selama masa operasi dan perawatan.



Gambar 2. Tingkatan-tingkatan tipikal rantai pasok industri nuklir [12]

Stuart Allen [20] mengidentifikasi adanya risiko yang tak terhindarkan dari rantai pasok yang berjenjang. Dikatakan bahwa risiko ini disebabkan oleh keragaman kapabilitas, kapasitas, budaya, undakan berbagai persyaratan (*cascade of requirements*), pengawasan dan jaminan, kepentingan lokalisasi, globalisasi, dan hadirnya berbagai teknologi baru. Sementara itu, Giorgio Locatelli [21] menjelaskan berbagai kerumitan dalam memasuki rantai pasok industri nuklir dengan mengambil studi kasus di Jepang. Seluruh kerumitan dan risiko ini seharusnya menjadi bagian dari penerapan Budaya Keselamatan di tingkat PI dan rantai pasoknya sebagaimana diidentifikasi oleh Teemu Reiman dan Kaupo Viitanen [22].

### Regulasi dan Panduan

Perka 4/2010 [5] akan segera direvisi dengan mengadopsi GSR Part 2 [1], yang di dalamnya memuat Persyaratan-11 tentang pengelolaan rantai pasok. Perka ini juga belum

memiliki panduan pelaksanaan yang dapat digunakan baik oleh pemegang izin maupun evaluator dan inspektur. Dengan demikian, interpretasi atas Persyaratan tersebut adalah sangat penting dalam penyusunan Perka pengganti maupun panduan yang nantinya akan dibuat. Dalam hal ini, harus dicatat bahwa: Pertama, hingga saat ini IAEA belum menerbitkan pedoman pelaksanaan GSR Part 2; Kedua, sejauh sesuai maka GS-G-3.1 dan GS-G-3.5 dapat digunakan untuk menginterpretasi GSR Part 2; Ketiga, ulasan-ulasan di atas juga menjadi penting dalam memahami Persyaratan-11, yang terdiri atas empat paragraf ini.

Persyaratan-11 dimulai dengan pernyataan bahwa “organisasi harus membuat pengaturan dengan vendor, kontraktor dan pemasok untuk menentukan, memantau dan mengelola pasokan barang, produk dan layanan yang dapat mempengaruhi keselamatan” [1]. Pada kalimat ini, kata menentukan harus diterjemahkan sebagai: Pertama, menyusun spesifikasi barang dan/atau jasa yang akan dibeli sesuai dengan standar mutu barang yang akan dibeli; Kedua, menyusun pra-kualifikasi kepada calon vendor dan/atau pemasok bahwa mereka harus memiliki sertifikat sistem manajemen yang menjamin mutu proses, seperti ISO 9001 [23] atau ISO 19443:2018 [24], yaitu ISO 9001 yang telah ditambahkan beberapa klausul tertentu dan diperuntukkan bagi organisasi pemasok barang-barang dan layanan yang penting untuk keselamatan nuklir. Klausul tertentu tersebut adalah mengenai: Budaya Keselamatan nuklir; Penentuan barang dan kegiatan yang penting untuk keselamatan; Pendekatan bertingkat dalam penerapan persyaratan mutu; Ketentuan untuk barang-barang CFSI; Desain dan pengembangan verifikasi dan pengujian validasi; Pengendalian peralatan produksi; dan, kegiatan pemantauan dan pengukuran.

Regulasi yang mewajibkan suatu standar tertentu adalah praktik yang umum. Di Finlandia, pada awal 2019 ini badan pengawas nuklir STUK telah mengadopsi GSR Part 2, ISO 9001 dan 19443:2018 ke dalam regulasi YVL A.3 *Leadership and management for safety* [25]. Dalam hal pengadaan, YVL A.3 menyatakan bahwa “pemasok barang yang penting untuk keselamatan dan layanan terkaitnya harus memiliki sistem manajemen (contohnya, ISO 9001 atau ISO 19443) yang telah disertifikasi secara layak atau telah dievaluasi secara mandiri oleh pakar dari pihak ketiga”.

Catatan ketiga untuk Persyaratan-11, untuk kontraktor yang akan bekerja di dalam kawasan PI mereka hendaknya diwajibkan untuk mendapatkan sertifikat sistem manajemen mutu dan keselamatan seperti ISO 9001 atau 19443:2018, dan ISO 45001 [26] sehubungan dengan pekerjaan K3. Keempat, mereka juga hendaknya dipersyaratkan untuk memenuhi standar lain, seperti: ISO 14001 [27]; ISO 17020 [28]; ISO 17025 [29]; ISO 21001 [30], ISO 27001 [31], ISO 2919 [32], ISO 31000 [33] dan/atau ISO 22000 [34] sesuai dengan lingkup kontrak dan/atau produk atau layanan yang disediakan.

Kemudian, kata memantau dalam Persyaratan-11 harus diartikan sebagai melakukan audit mutu dan/atau keselamatan terhadap vendor, pemasok dan/atau kontraktor selama proses produksi sebelum SSK dikirimkan ke fasilitas dan selama bekerja di fasilitas. Untuk SSK yang penting dari segi keselamatan, audit mutu ke pabrik di negara asalnya harus dilakukan oleh PI, dan juga dapat dilakukan oleh badan pengawas. Kompetensi PI untuk melakukan audit seperti itu harus dibangun atau dimiliki. Selanjutnya, kata mengelola seharusnya diinterpretasikan sebagai menerapkan Manajemen Proyek (MP) dengan jajaran pimpinan yang telah bersertifikat pelatihan MP dan menggunakan peralatan (piranti lunak) yang memadai untuk itu. Akhirnya, pernyataan mempengaruhi keselamatan berarti menerapkan pendekatan bertingkat [35,36].

Paragraf 4.33 di bawah Persyaratan-11 menyatakan bahwa “organisasi harus tetap bertanggung-jawab atas keselamatan saat mengkontrakkan proses dan saat menerima barang, produk atau layanan apa pun dalam rantai pasok” [1]. Paragraf ini harus diartikan bahwa: Pertama, keselamatan seluruh pekerja kontraktor, pemasok, atau vendor yang bekerja di fasilitas adalah menjadi tanggung jawab PI; Kedua, PI juga harus melakukan pengawasan keselamatan secara melekat dan audit atas kerja/proses yang dilakukan kontraktor, pemasok, atau vendor yang sedang bekerja di fasilitasnya; Ketiga, dalam pra-kualifikasi, PI harus mempersyaratkan kontraktor untuk memiliki sistem K3 [25] dan menempatkan teknisi dan/atau pengawas keselamatan yang bersertifikat K3 di lapangan. Perlu dicatat bahwa di Indonesia telah tersedia sertifikasi untuk teknisi dan Ahli K3 Umum, Listrik, Konstruksi, Kebakaran, Migas dan Kimia; Keempat, PI harus memberikan pelatihan mengenai proteksi dan keselamatan radiasi secara memadai kepada kontraktor/pemasok saat pertama datang ke fasilitas. Dalam hal ini, badan pengawas hendaknya mengevaluasi kecukupan silabus dan bahan pelatihan di atas, serta dapat menyaksikan (*witnessing*)

berjalannya pelatihan tersebut. Kelima, statistik kecelakaan (Jumlah kejadian seperti *near miss*, insiden, fatalitas, dsb.) yang terjadi pada staff kontraktor/vendor/pemasok yang sedang bekerja di fasilitas harus dimasukkan ke dalam statistik keselamatan PI sebagai bagian dari komitmen keselamatan mereka.

Berikunya, paragraf 4.34 dari Peryaratan-11 mensyaratkan bahwa “organisasi harus memiliki pemahaman dan pengetahuan yang jelas tentang produk atau layanan yang dipasok. Organisasi harus mempertahankan kompetensi untuk menentukan ruang lingkup dan standar produk atau layanan yang disyaratkan, dan kemudian menilai pemenuhan persyaratan keselamatan yang berlaku atas produk atau layanan yang diberikan” [1]. Ini berarti: Pertama, PI harus memiliki staf yang bersertifikat pelatihan mengenai mutu barang yang akan dibeli. Contohnya, sertifikat atau *stamp* dari kode dan standar ASME, IEEE, ASTM, ACI, IEC, dsb. Perlu dicatat juga bahwa independensi badan pengawas seharusnya memberi kebebasan kepadanya untuk menerima ataupun menolak sebagian atau seluruh kode dan standar tersebut; Kedua, PI harus memiliki kompetensi teknis yang dibutuhkan dalam melakukan pemeriksaan mutu dan keselamatan terhadap barang/jasa yang diterima.

Paragraf 4.35 berbunyi “sistem manajemen harus mencakup pengaturan untuk kualifikasi, seleksi, evaluasi, pengadaan, dan pengawasan rantai pasok” [1]. Isi paragraf ini sudah dijelaskan sebelumnya. Akhirnya, Paragraf 4.36 menyatakan bahwa “organisasi harus membuat pengaturan untuk memastikan bahwa pemasok barang, produk dan layanan penting untuk keselamatan mematuhi persyaratan keselamatan dan memenuhi harapan organisasi tentang tindakan keselamatan dalam pengirimannya” [1]. Artinya, pengangkutan bahan-bahan berbahaya dan beracun, bahan nuklir dan zat radioaktif, atau barang-barang dengan ukuran sangat besar harus sesuai dengan PUU yang berlaku di bidang transportasi dan/atau ketenaganukliran.

## KESIMPULAN

Kajian ini telah memaparkan dinamika dalam pengelolaan rantai pasok barang dan layanan yang penting untuk keselamatan dan regulasinya di Indonesia. Dari kajian ini dapat disimpulkan bahwa tantangan untuk mengembangkan regulasi tersebut adalah dalam memahami atau menginterpretasikan berbagai standar internasional yang terkait. Selain fakta bahwa rantai pasok adalah praktik yang rumit, persoalan CFSI sebagai bagian dari pengelolaan rantai pasok juga merupakan tantangan tersendiri. Demikian juga dengan pengembangan SDM untuk pelaksanaan dan pengawasan rantai pasok, serta dalam menyusun Panduan yang dapat digunakan oleh pemohon atau PI dan pihak badan pengawas. Kajian ini diharapkan bermanfaat dalam penyusunan pengganti Perka 4/2010 dan Panduan pelaksanaannya. Regulasi yang baru hendaknya mewajibkan pemasok barang dan layanan yang penting untuk keselamatan agar menerapkan standar manajemen mutu, yaitu ISO 19443:2018 dan standar lain yang sesuai lingkup pekerjaan dan produk mereka.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada seluruh jajaran manajemen P2STPIBN dan BAPETEN yang telah mendukung, memfasilitasi dan memberikan kesempatan seluas-luasnya kepada penulis untuk melakukan kajian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA GSR Part 2, “Leadership and Management for Safety”, IAEA, Juni, Wina (2016).
- [2] IAEA NP-T-3.26, “Managing Counterfeit and Fraudulent Items in Nuclear Industry”, IAEA, Maret, Wina (2019).
- [3] USNRC RIS 2015-08, “Oversight of Counterfeit, Fraudulent, and Suspect Items in The Nuclear Industry”, USNRC, Agustus, Washington DC (2015).
- [4] IAEA GS-R-3, “The Management System for Facilities and Activities”, IAEA, Juli, Wina (2006).
- [5] PERKA BAPETEN, “Sistem Manajemen Fasilitas dan Kegiatan Pemanfaatan Ketenaganukliran”, Perka BAPETEN No. 4 Tahun 2010, BAPETEN (2010).
- [6] Reno Alamsyah, *et al.*, “Kajian Aspek Kepemimpinan dan Manajemen Keselamatan untuk Usulan Perubahan Perka BAPETEN No. 4 Tahun 2010”, Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2018, pp.375-382, Jakarta (2018).
- [7] <http://www.batan.go.id/index.php/id/psnt-id/profil-psnt>. Diakses tanggal 1 Juli 2019.

- [8] <http://www.batan.go.id/index.php/id/profil-prsg/4200-sejarah-singkat-prsg>. Diakses tanggal 1 Juli 2019.
- [9] <http://www.kins.re.kr/en/ourwork/cfsi.jsp>. Diakses tanggal 1 Juli 2019.
- [10] Republic of Korea, "Seventh National Report for the Convention on Nuclear Safety", KINS, Agustus, Seoul (2016).
- [11] IAEA-TECDOC-1169, "Managing suspect and counterfeit items in the nuclear industry", IAEA, Agustus, Wina (2000).
- [12] IAEA NP-T-3.21, "Procurement Engineering and Supply Chain Guidelines in Support of Operation and Maintenance of Nuclear Facilities", IAEA, September, Wina (2016).
- [13] Walter Kim, "Regulatory Actions and Follow-suit Measures against the Korean NPPs' CFSI Issues", <https://www.oecd-nea.org/nsd/workshops/nscm2018/presentations/>. Diakses tanggal 1 Juli 2019.
- [14] Sang-Jong Lee, "Korean Industry Perspective on CFSI", <https://www.nrc.gov/docs/ML1415/ML14153A200.pdf>. Diakses tanggal 1 Juli 2019.
- [15] PERATURAN PEMERINTAH RI, "Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir", Peraturan Pemerintah No. 2 tahun 2014, Sekretariat Negara RI (2014).
- [16] IAEA GS-G-3.1, "Application of the Management System for Facilities and Activities", IAEA, Juli, Wina (2006).
- [17] IAEA GS-G-3.5, "The Management System for Nuclear Installation", IAEA, September, Wina (2009).
- [18] IAEA NG-T-1.3, "Development and Implementation of a Process Based Management System", IAEA, Desember, Wina (2015).
- [19] IAEA NG-T-3.4, "Industrial Involvement to Support a National Nuclear Power Programme", IAEA, Desember, Wina (2016).
- [20] Stuart Allen, "Regulation of the Civil Nuclear Industry Supply Chain & International Cooperation through the MDEP VICWG". <https://www.oecd-nea.org/nsd/workshops/nscm2018/presentations/>. Diakses tanggal 1 Juli 2019.
- [21] Giorgio Locatelli, *et al.*, "Entering the Nuclear Power Plant Supply Chain: The Japanese Case Study", 26th IPMA World Congress, Procedia - Social and Behavioral Sciences 00 (2012).
- [22] Teemu Reiman dan Kaupo Viitanen, "Safety Culture Assurance in the Supply Chain of a NPP Construction Project", PSAM 14, (2018).
- [23] ISO 9001:2015, "Quality Management System – Requirements", ISO, September, Jenewa (2015).
- [24] ISO 19443:2018, "Specific requirements for the application of ISO 9001:2015 by the organization in the supply chain of the nuclear energy sector supplying products and services important to nuclear safety (ITNS)", Mei, Jenewa (2018).
- [25] YVL A.3, "Leadership and management for safety", STUK, Maret, Helsinki (2019).
- [26] ISO 45001:2018, "Occupational health and safety management systems—Requirements with guidance for use", ISO, Maret, Jenewa (2018).
- [27] ISO/FDIS 14001:2015, "Environmental Management Systems – Requirements", ISO, Desember, Jenewa (2015).
- [28] ISO/IEC 17020:2012, "Conformity assessment - Requirements for the operation of various types of bodies performing inspection", ISO, Maret, Jenewa (2012).
- [29] ISO/IEC 17025:2017, "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories", ISO, November, Jenewa (2017).
- [30] ISO 21001:2018, "Educational organizations — Management systems for educational organizations — Requirements with guidance for use", ISO, Mei, Jenewa (2018).
- [31] ISO/IEC 27001:2013, "Information technology - Security techniques - Information security management systems – Requirements", ISO, November, Jenewa (2013).
- [32] ISO 2919:2012, "Radiological protection — Sealed radioactive sources — General requirements and classification", ISO, Februari, Jenewa (2012).
- [33] ISO 31000:2018, "Risk management — Guidelines", Februari, Jenewa (2018).
- [34] ISO 2200, "Food safety management systems— Requirements for any organization in the food chain", ISO, Juni, Jenewa (2018).
- [35] IAEA SSG-22, "Use of a Graded Approach in the Application of the Safety Requirements for Research Reactors", November, Wina (2012).
- [36] IAEA-TECDOC-1740, "Use of a Graded Approach in the Application of the Management System Requirements for Facilities and Activities", IAEA, Juni, Wina (2014).

**DISKUSI/TANYA JAWAB :**

**1. PERTANYAAN (Sriyana-BATAN)**

Apakah ISO 19443 terdapat pedoman?

**JAWABAN**

ISO 19443:2018 adalah dokumen yang relatif baru. Pedoman khusus untuk itu tentunya belum ada. Namun, standar ini adalah ISO 9001:2015 yang telah ditambahkan dengan 5 klausul baru, yaitu:

Budaya Keselamatan nuklir;

- a. Penentuan barang dan kegiatan yang penting untuk keselamatan;
- b. Pendekatan bertingkat dalam penerapan persyaratan mutu;
- c. Ketentuan untuk barang-barang CFSI;
- d. Desain dan pengembangan verifikasi dan pengujian validasi;
- e. Pengendalian peralatan produksi; dan,
- f. kegiatan pemantauan dan pengukuran.

Untuk bagian yang sama dengan ISO 9001, ISO telah menerbitkan panduannya. Untuk kelima klausul di atas, IAEA telah menerbitkan berbagai pedoman dan dokumen teknis yang dapat digunakan sebagai acuan.

**2. PERTANYAAN (A. Bayu Purnomo-BATAN)**

Bagaimana interaksi BAPETEN dengan BSN terkait pemberlakuan standar atau ketentuan yang terlalu rinci.

**JAWABAN**

Paper ini menyarankan agar "regulasi yang baru hendaknya mewajibkan pemasok barang dan layanan yang penting untuk keselamatan agar menerapkan standar manajemen mutu, yaitu ISO 19443:2018 dan standar lain yang sesuai lingkup pekerjaan dan produk mereka". Jika hal itu dilakukan, maka standar tersebut menjadi bersifat wajib (*mandatory*).

Dalam hal interaksi antar lembaga, BAPETEN sebagai regulator dapat mereviu standar2 tertentu untuk dipertimbangkan diwajibkan atau tidak diwajibkan dalam peraturan perundang-undangan nasional di bidang ketenaganukliran, yang diterbitkan atau diajukan oleh BAPETEN. Kepada BSN, BATAN dan juga BAPETEN dapat mengkaji dan mempromosikan standar-standar tertentu di bidang atau terkait ketenaganukliran untuk diadopsi oleh BSN menjadi standar nasional. Pada dasarnya, baik BATAN maupun BAPETEN, atau keduanya bekerja-sama, dapat menjadi panitia teknis dalam perumusan standar nasional atau adopsi standar internasional yang nantinya diterbitkan oleh BSN.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## TINJAUAN REGULASI PEMBANGUNAN PLTN DAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK DI KALIMANTAN BARAT

Yanuar Z. Arief, Makbul Anwari, Tri Wicaksono, Adi Fitra Djaja

Komunitas Pegiat Energi Baru & Terbarukan Pontianak, Jalan Meranti, Gang Meranti 6, No. 6,  
Pontianak 78117, Kalimantan Barat  
yarief707@gmail.com

### ABSTRAK

**TINJAUAN REGULASI PEMBANGUNAN PLTN DAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK DI KALIMANTAN BARAT.** Wacana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Provinsi Kalimantan Barat (Kalbar) sudah semakin gencar diberitakan, baik di tingkat lokal maupun nasional. Pro dan kontra mengenai wacana ini disampaikan berbagai pihak dengan argumen dan justifikasi masing-masing. Penulis terpanggil untuk berkontribusi dalam memaparkan secara ilmiah tinjauan regulasi pembangunan PLTN di Indonesia dan juga memaparkan kondisi nyata kelistrikan di Provinsi Kalimantan Barat termasuk kebutuhan listrik di masa depan dikaitkan dengan urgensi rencana pembangunan PLTN di provinsi ini. Tulisan ini terdiri dari 2 (dua) bagian utama, pertama menelaah secara kritis dasar hukum dan peraturan-peraturan yang berkaitan dengan kebijakan energi listrik nasional, khususnya pemanfaatan energi nuklir dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia. Bagian kedua memaparkan kebutuhan listrik di Kalimantan Barat yang dikaitkan dengan urgensi pembangunan PLTN di provinsi ini. Diharapkan dari hasil kajian yang dilakukan ini dapat memberikan masukan yang bermanfaat kepada para pemangku kepentingan dalam memutuskan wacana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat.

Kata kunci: regulasi, PLTN, Kalimantan Barat, kebutuhan listrik, energi terbarukan.

### ABSTRACT

**REVIEW OF REGULATION OF NUCLEAR POWER PLANT DEVELOPMENT AND ELECTRICAL ENERGY DEMAND IN WEST KALIMANTAN PROVINCE.** The discourse of Nuclear Power Plant (NPP) establishment in the Province of West Kalimantan (Kalbar) has been increasingly intensively reported, locally and nationally. The pros and cons of this discourse are conveyed by various parties with their respective arguments and justifications. The authors are called to contribute in describing scientifically the regulatory review of the construction of nuclear power plants in Indonesia and as well as describes the real condition of electricity in West Kalimantan Province including its electricity future demand related to the urgency of the plan to build a nuclear power plant in this province. This paper consists of 2 (two) main sections, firstly is to critically examine the legal basis and regulations relating to national electricity energy policies, specifically the use of nuclear energy in meeting electricity needs in Indonesia. The second part describes the electricity needs in West Kalimantan which are related to the urgency of the construction of nuclear power plants in this province. It is expected that the results of this study can provide beneficial input to stakeholders in deciding the discourse of the construction of a nuclear power plant in West Kalimantan.

Keyword: regulation, nuclear power plant, Kalimantan Barat, electricity demand, renewable energy.

### PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan ekonomi dan meningkatnya jumlah penduduk. Menurut *Indonesia Energy Outlook 2018* yang diterbitkan oleh Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), kebutuhan listrik diproyeksikan meningkat lebih dari 7 kali lipat menjadi 1.611 TWh pada tahun 2050. Adapun produksi listrik tumbuh rata-rata sebesar 6% per tahun, dari 250 TWh menjadi 1.767 TWh. Peningkatan kebutuhan listrik menjadikan kebutuhan listrik per kapita mencapai 4.902 kWh pada tahun 2050, naik hampir 6 kali lipat dibanding 2016 (846 kWh/kapita)<sup>[1]</sup>. Oleh karena itu, pemerintah melakukan berbagai upaya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik ini dan mengantisipasi kebutuhan energi pada masa akan datang. Upaya ini meliputi menambah

jumlah pembangkit listrik yang ada, baik berupa energi konvensional seperti PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap), PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air), maupun dari sumber-sumber energi baru dan terbarukan (EBT).

Tulisan ini memberikan tinjauan mengenai regulasi pembangunan PLTN di Indonesia yang dikaitkan dengan rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat (Kalbar) serta memaparkan kebutuhan energi listrik di provinsi ini termasuk upaya dalam memenuhi kebutuhan listrik tersebut. Metodologi penulisan ini berdasarkan studi literatur (review paper) yang berkaitan dengan tujuan dari makalah ini.

## REGULASI PEMANFAATAN ENERGI NUKLIR

Regulasi atau landasan hukum pemanfaatan energi nuklir untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia meliputi undang-undang dan peraturan-peraturan pelaksanaan di bawahnya dirangkum dalam paparan di bawah ini. Uraian di bawah ini memaparkan produk undang-undang/peraturan berkaitan dengan pemanfaatan energi nuklir di Indonesia.

- **Undang-Undang No. 10, tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, 10 April 1997**

Undang-undang ini terdiri dari 10 Bab dan 48 pasal berkaitan dengan ketenaganukliran di Indonesia. Undang-undang ini menyatakan bahwa ketenaganukliran menyangkut kehidupan dan keselamatan orang banyak, oleh karena itu harus dikuasai oleh negara; perkembangan dan pemanfaatan tenaga nuklir dalam berbagai bidang kehidupan manusia di dunia sudah demikian maju sehingga pemanfaatan dan pengembangannya perlu ditingkatkan dan diperluas; oleh karena itu, demi keselamatan, keamanan, ketenteraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, dan perlindungan terhadap lingkungan hidup, pemanfaatan tenaga nuklir dilakukan secara **tepat dan hati-hati** serta ditujukan untuk maksud damai dan kesejahteraan rakyat<sup>[2]</sup>.

Mengingat ketenaganukliran menyangkut kehidupan dan keselamatan orang banyak, peran masyarakat ditingkatkan dalam bentuk suatu **majelis pertimbangan**, suatu lembaga nonstruktural dan independen yang beranggotakan para ahli dan tokoh masyarakat, yang bertugas memberikan saran dan pertimbangan mengenai pemanfaatan tenaga nuklir (Pasal 5). Untuk memperhatikan aspirasi yang berkembang di masyarakat dalam pemanfaatan tenaga nuklir, khususnya apabila membangun pembangkit listrik tenaga nuklir dan menyediakan tempat limbah lestari, pemerintah sebelum mengambil keputusan perlu membicarakannya terlebih dahulu dengan Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia<sup>[3]</sup>.

Pemanfaatan tenaga nuklir harus memperhatikan Asas Pembangunan Nasional, keselamatan, keamanan, ketenteraman, kesehatan pekerja dan anggota masyarakat, perlindungan terhadap lingkungan hidup, serta pemanfaatan bagi sebesar-besarnya kemakmuran rakyat. Hal itu berarti bahwa pemanfaatan tenaga nuklir bagi kesejahteraan hidup rakyat banyak harus dilakukan dengan upaya-upaya untuk **mencegah timbulnya bahaya radiasi terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan hidup**.

Pembinaan dan pengembangan kemampuan sumber daya manusia adalah syarat mutlak dalam rangka mendukung upaya pemanfaatan tenaga nuklir dan pengawasannya sehingga pemanfaatan tenaga nuklir benar-benar meningkatkan kesejahteraan rakyat dengan tingkat keselamatan yang tinggi. Pembinaan dan pengembangan ini dilakukan juga untuk meningkatkan disiplin dalam mengoperasikan instalasi nuklir dan menumbuhkembangkan **budaya keselamatan**.

Dari UU ini dapat disimpulkan bahwa berdasarkan politik hukum, Indonesia berketetapan memilih memanfaatkan tenaga nuklir di berbagai bidang kehidupan masyarakat, seperti penelitian, pertanian, kesehatan, industri, dan energi dengan syarat dilakukan secara tepat dan hati-hati, untuk maksud damai, dan untuk kesejahteraan rakyat. Jadi, pembangunan PLTN **bukan satu-satunya pemanfaatan teknologi nuklir yang diterapkan di Indonesia**.

- **Undang-Undang No. 30 tahun 2007 tentang Energi, 10 Agustus 2007**

Undang-undang ini terdiri dari 10 Bab dan 34 Pasal berkaitan dengan energi di Indonesia. Pasal 1 butir ke-25 (duapuluh lima) menyebutkan bahwa “Kebijakan Energi Nasional (KEN) adalah kebijakan pengelolaan energi yang berdasarkan prinsip **berkeadilan, berkelanjutan, dan berwawasan lingkungan** guna terciptanya kemandirian dan ketahanan energi nasional”. Dari ketiga prinsip ini, Pasal 1 butir ke-6 dari UU no 30 tahun 2007 menyebutkan bahwa “Sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang dihasilkan dari sumber daya energi berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut”<sup>[4]</sup>.

Dari pengertian tersebut maka nuklir tidaklah termasuk ke dalam sumber energi yang terbarukan. Nuklir dikategorikan hanya sebagai sumber energi baru. Dengan kata lain, jika prinsip yang ingin ditegakkan dalam KEN adalah **keberlanjutan** (sustainability) maka Nuklir tidaklah sesuai dengan prinsip tersebut<sup>[5]</sup>.

Sesuai dengan butir tersebut maka tujuan dari KEN adalah terciptanya kemandirian dan ketahanan energi nasional. Oleh karena itu, pilihan energi yang diutamakan tentunya adalah sumber energi yang tersedia dan mampu diolah oleh bangsa Indonesia secara mandiri baik dari segi perencanaan, pengoperasian ataupun segi pengolahan limbahnya. Sumber energi yang bahan bakarnya tergantung bangsa asing, teknologinya dikuasai bangsa asing dan bahkan pengolahan limbahnya membutuhkan kepakaran bangsa asing menjadi pilihan terakhir atau bahkan tidak usah dipilih untuk disertakan di dalam kebijakan energi nasional.

- **Undang-Undang No. 17, tahun 2007: Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2005-2025**<sup>[6]</sup>

Undang-undang ini terdiri dari 5 Bab dan 9 Pasal, ditandatangani oleh Presiden Susilo Bambang Yudhoyono pada tanggal 5 Februari 2007. Dalam lampiran undang-undang tersebut dijelaskan berkaitan dengan pemanfaatan energi nuklir sebagai berikut.

**Arah Pembangunan 2005-2025 (Bab IV.1.2. D.32.(3)):**

Pengembangan diversifikasi energi untuk pembangkit listrik yang baru terutama pada pembangkit listrik yang berbasis batubara dan gas secara terbatas dan bersifat jangka menengah agar dapat menggantikan penggunaan bahan bakar minyak dan dalam jangka panjang akan mengedepankan energi terbarukan, khususnya bioenergi, geothermal, tenaga air, tenaga angin, tenaga surya, bahkan tenaga nuklir dengan mempertimbangkan **faktor keselamatan secara ketat**.

**Arah Pembangunan 2005-2025 (Bab IV.1.6.2):**

Hasil atau pendapatan yang diperoleh dari kelompok sumber daya alam tersebut diarahkan untuk percepatan pertumbuhan ekonomi dengan diinvestasikan pada sektor-sektor lain yang produktif, juga untuk upaya reklamasi, konservasi, dan memperkuat pendanaan dalam pencarian sumber-sumber energi alternatif yang menjadi jembatan dari energi fosil ke energi yang terbarukan, seperti energi yang memanfaatkan nuklir dan panas bumi dan atau bahan substitusi yang terbarukan seperti biomassa, biogas, mikrohidro, energi matahari, arus laut, panas bumi (geothermal) dan tenaga angin yang ramah lingkungan. Pengembangan sumber-sumber energi alternatif itu disesuaikan dengan kondisi masyarakat dengan tetap mempertimbangkan **kelestarian lingkungan**.

**Tahapan dan Skala Prioritas Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) Ke-3 Bab IV.2.3:**

Ketersediaan infrastruktur yang sesuai dengan rencana tata ruang ditandai oleh berkembangnya jaringan infrastruktur transportasi; terpenuhinya pasokan tenaga listrik yang handal dan efisien sesuai kebutuhan sehingga elektrifikasi rumah tangga dan elektrifikasi perdesaan dapat tercapai, serta mulai dimanfaatkannya tenaga nuklir untuk pembangkit listrik dengan mempertimbangkan **faktor keselamatan secara ketat**.

- ***Peraturan Pemerintah No. 79, tahun 2014: Kebijakan Energi Nasional***<sup>[7]</sup>

Peraturan pemerintah ini terdiri dari 6 Bab dan 33 pasal, ditandatangani oleh Presiden Susilo Bambang Yudhoyono pada tanggal 17 Oktober 2014.

#### **Pasal 11 ayat (3):**

Ketentuan sebagaimana dimaksud pada ayat (2) dikecualikan bagi Energi nuklir yang dimanfaatkan dengan mempertimbangkan keamanan pasokan energi nasional dalam skala besar, mengurangi emisi karbon dan tetap mendahulukan potensi **energi baru dan energi terbarukan** sesuai nilai keekonomiannya, serta **mempertimbangkannya sebagai pilihan terakhir dengan memperhatikan faktor keselamatan secara ketat**.

Dalam penjelasan mengenai pasal ini disebutkan:

Ketentuan ini mengandung maksud bahwa mengingat pemanfaatan **energi nuklir** memerlukan standar keselamatan kerja dan keamanan yang tinggi serta mempertimbangkan dampak bahaya radiasi nuklir terhadap lingkungan hidup maka penggunaannya dipertimbangkan sebagai **pilihan terakhir**. Namun demikian, dalam hal telah dilakukan kajian yang mendalam mengenai adanya teknologi pengembangan energi nuklir untuk tujuan damai, pemenuhan kebutuhan energi yang semakin meningkat, penyediaan energi nasional dalam skala besar, mengurangi emisi karbon, serta adanya kepentingan nasional yang mendesak maka pada dasarnya **energi nuklir dapat dimanfaatkan**.

#### **Pasal 19 ayat (4):**

Setiap pengusahaan instalasi nuklir wajib memperhatikan keselamatan dan risiko kecelakaan serta menanggung seluruh ganti rugi kepada pihak ketiga yang mengalami kerugian akibat kecelakaan nuklir.

- ***Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 43 Tahun 2006 Tentang Perizinan Reaktor Nuklir, 15 Desember 2006***

Peraturan pemerintah ini terdiri dari 8 Bab dan 37 pasal berkaitan tentang perizinan reaktor nuklir di Indonesia. Pada pasal 5 ayat (3) disebutkan: "Pembangunan, pengoperasian, dan dekomisioning reaktor daya komersial atau nondaya komersial dilaksanakan oleh Badan Usaha Milik Negara, koperasi, dan/atau badan swasta". Pada aya (4) disebutkan bahwa: "Pembangunan reaktor daya komersial sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang berupa pembangkit listrik tenaga nuklir, **ditetapkan oleh menteri yang bertanggung jawab di bidang tenaga listrik** setelah berkonsultasi dengan Dewan Perwakilan Rakyat Republik Indonesia.

- ***Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional***<sup>[8]</sup>

Peraturan presiden ini terdiri dari 7 Pasal, ditandatangani oleh Presiden Joko Widodo pada tanggal. 2 Maret 2017.

Dalam Lampiran 1, Bab IV: Kebijakan dan Strategi Pengelolaan Energi Nasional, dijelaskan untuk mencapai kemandirian dan ketahanan energi nasional, prioritas pengembangan energi didasarkan pada prinsip sebagai berikut:

**Pertama**, "Memaksimalkan penggunaan energi terbarukan dengan memperhatikan tingkat keekonomian". Tingkat keekonomian bukan saja dilihat dari harga, tetapi juga harus dilihat dampaknya pada hal-hal lain, diantaranya: lingkungan, peningkatan aktivitas ekonomi, dan penyerapan tenaga kerja. **Dengan demikian maka pengembangan energi terbarukan ke depan harus tetap menjadi prioritas utama dengan tidak hanya mempertimbangkan aspek keekonomian semata.**

Penjabaran lebih lanjut energi nuklir sebagai pilihan terakhir akan disusun dalam *roadmap* implementasi PLTN dengan mempersiapkan aspek teknologi, jenis bahan bakar, lokasi, keselamatan, pendanaan, dan kesiapan sumber daya manusia, disertai analisis multi kriteria.

**Keempat**, "Menggunakan batubara sebagai andalan pasokan energi nasional". Setelah memaksimalkan penggunaan energi terbarukan, meminimalkan penggunaan minyak bumi, dan mengoptimalkan pemanfaatan gas bumi dan energi baru, kekurangan kebutuhan dalam negeri dipenuhi dengan batubara khususnya dengan menggunakan teknologi bersih. Indonesia memiliki potensi sumber daya batubara yang cukup besar.

- **Peraturan Presiden No. 2, tahun 2015: Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2015-2019<sup>9]</sup>**

Peraturan presiden ini terdiri dari 7 Pasal, ditandatangani oleh Presiden Joko Widodo pada tanggal 8 Januari 2015.

Dalam peraturan presiden ini, dapat dirangkumkan berkaitan dengan rencana pembangunan PLTN di Indonesia sebagai berikut:

- Penyiapan pembangunan PLTN termasuk meningkatkan penerimaan publik
  - Kajian pengembangan PLTN dan fasilitasi BU yang akan mengembangkannya
  - Menyusun *roadmap* dan Pengembangan Kelembagaan PLTN *pilot project* PLTN (10 MW)
- **Keputusan Menteri ESDM No. 1567K/21/MEM/2018 tentang Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero) 2018-2027<sup>10]</sup>**

Keputusan Menteri ESDM ini terdiri dari 7 poin dan telah ditetapkan pada tanggal 13 Maret 2018. Dalam Lampiran keputusan ini, pada Bab III, halaman III-2 disebutkan "*Memperhatikan potensi energi terbarukan yang cukup besar, maka pemanfaatan energi nuklir merupakan pilihan terakhir*".

Kesulitan terbesar dalam merencanakan PLTN adalah tidak jelasnya biaya kapital, biaya *radioactive waste management* dan *decommissioning* serta biaya terkait *nuclear liability*. Disadari bahwa pengambilan keputusan untuk membangun PLTN tidak semata-mata didasarkan pada pertimbangan keekonomian dan *profitability*, namun juga pertimbangan lain seperti aspek politik, Kebijakan Energi Nasional (KEN) target penggunaan EBT paling sedikit 23% pada tahun 2025, penerimaan sosial, budaya, perubahan iklim dan perlindungan lingkungan. Dengan adanya berbagai aspek yang multi-dimensi tersebut, program pembangunan PLTN **hanya dapat diputuskan oleh Pemerintah.**

Dari paparan berkaitan regulasi diatas, rencana pemanfaatan energi nuklir untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia dapat dilaksanakan namun harus memenuhi persyaratan sebagaimana dimaksud di dalam UU 17/2007 maupun dalam peraturan pelaksanaan di bawahnya. Selama persyaratan tersebut belum dapat dipenuhi atau diyakini belum dapat terpenuhi, maka nuklir hanya sebatas pada pengembangan, penelitian, dan *pilot project*.

#### **KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK DI KALIMANTAN BARAT**

Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT PLN 2018-2027 yang menjadi pedoman (*roadmap*) penyediaan listrik di Indonesia, telah ditetapkan pada tanggal 13 Maret 2018 oleh Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia. RUPTL

yang telah disahkan ini ditembuskan ke berbagai pihak terkait seperti Menteri Keuangan, Menteri Dalam Negeri dan seluruh gubernur di Indonesia.

Berdasarkan RUPTL PLN tersebut, pertumbuhan penjualan energi listrik di Kalbar selama lima tahun (2012-2016) rata-rata sebesar 8,55% per tahun. Rasio pelanggan rumah tangga berlistrik PLN di Kalbar sampai dengan tahun 2016 adalah sebesar 78,20%<sup>[10]</sup>. Tabel 1 memperlihatkan daya listrik dan jenis pembangkit listrik yang ada di Kalbar untuk kondisi sampai tahun 2018. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa total daya terpasang di Kalbar sebesar 742 MW, total daya mampu sebesar 622 MW, serta total beban puncak sebesar 465 MW. Jadi, untuk kondisi saat ini terdapat kelebihan daya mampu sekitar 160 MW. Kelebihan daya listrik ini ditegaskan juga oleh Manager Niaga dan Pelayanan Pelanggan PLN Wilayah Kalimantan Barat, bahwa Kalbar mengalami surplus daya listrik sebesar 169 MW dan membuka peluang bagi investor melakukan investasi di provinsi ini [11].

**Tabel 1.** Daya Listrik dan Jenis Pembangkit Listrik yang Ada di Kalimantan Barat

No.	Sistem	Jenis	Pemilik	Daya Terpasang (MW)	Daya Mampu (MW)	Beban Puncak (MW)
1.	Interkoneksi	PLTD/G/A	PLN/Sewa/ Beli	530,3	454,1	327,7
2.	Sanggau	PLTD/U	PLN/Sewa	34,0	24,5	24,2
3.	Sekadau	PLTD	PLN/Sewa	8,5	7,4	7,3
4.	Sintang	PLTD	PLN/Sewa	26,4	24,0	26,0
5.	Putussibau	PLTD	PLN/Sewa	7,5	7,1	7,0
6.	Nangapinoh	PLTD	PLN/Sewa	8,1	7,5	7,4
7.	Ketapang	PLTD/U	PLN/Sewa	52,5	47,8	34,2
8.	Isolated	PLTD	PLN/Sewa	75,0	50,0	31,0
<b>Jumlah</b>				<b>742</b>	<b>622</b>	<b>465</b>

Sumber: RUPTL PLN 2018-2027 (Diolah)

Penambahan daya listrik diperlukan untuk mengantisipasi pertumbuhan penggunaan daya listrik di provinsi ini. Dari proyeksi pertumbuhan daya listrik di Kalbar dalam RUPTL PLN 2018 sebesar rata-rata 8% per tahun, dan diperkirakan beban puncak di Kalbar pada tahun 2027 adalah sebesar 1.082 MW, lebih dua kali lipat dari beban puncak saat ini. Untuk mengantisipasi keperluan daya listrik ini, PLN mengantisipasi dengan pembangunan beberapa pembangkit baru seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 2. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa total daya pembangkit adalah sebesar 1.290 MW melebihi beban puncak pada tahun 2027 sebesar 1.082 MW. Dari tabel tersebut juga dapat dilihat selain jenis pembangkit listrik konvensional seperti PLTU dan PLTG, akan dibangun juga jenis pembangkit dari energi terbarukan (renewable energy) seperti Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm), Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM), dan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg), yang umumnya memanfaatkan bahan bakar dari limbah organik seperti perkebunan kelapa sawit yang cukup banyak terdapat di Kalbar. Upaya meningkatkan pembangunan energi terbarukan ini tentunya tidak terlepas dari target pemerintah untuk memenuhi bauran pembangkit energi listrik dari energi baru dan terbarukan (EBT) pada tahun 2025 sebesar 23%, sedangkan pembangkit listrik menggunakan batu bara sebesar 54,4%, gas sebesar 22,2% dan BBM sebesar 0,4%. Dari Tabel 2 tersebut dapat juga dilihat bahwa **PLTN tidak dimasukkan dalam skenario pengembangan pembangkit listrik di Kalbar sehingga tahun 2027.**

Kelebihan pasokan energi listrik di Kalbar saat ini mengandung keunikan. Dari segi jumlah daya listrik, Kalbar memang memiliki daya listrik yang berlebih. Namun dari segi sumber daya listrik tersebut, Kalbar mendapat pasokan atau membeli dari negara tetangga yang berbatasan darat langsung dengan provinsi ini, yaitu dari negeri Sarawak, Malaysia (Sarawak Energy Berhad/SEB, sebelumnya dikenal dengan nama SESCO)<sup>[12]</sup>.

Penulis sependapat bahwa kita harus mengurangi bahkan untuk tidak menggunakan sepenuhnya daya listrik dari negara lain dengan pertimbangan kemandirian dan aspek politik serta keamanan. Maka diharapkan dalam perencanaan pengembangan tenaga listrik yang telah direncanakan dalam RUPTL PLN 2018-2027 dapat tercapai atau pasokan listrik diperoleh dari provinsi lain di Kalimantan yang memiliki kelebihan daya listrik.

Kemandirian dalam sektor kelistrikan ini adalah penting sebab dalam Peraturan Menteri ESDM No. 4, Tahun 2017, disebutkan bahwa ketenagalistrikan adalah salah satu objek vital nasional (obvitas) dan strategis yang diatur oleh pemerintah baik dalam pengembangan maupun pengawasannya [13].

**Tabel 2.** Rencana Pengembangan Pembangkit Listrik di Kalimantan Barat

No.	Sistem	Jenis	Proyek	Kap (MW)	COD	Status	Pengembang
1.	Khatulistiwa	PLTU	Parit Baru (FTP1)	2 x 50	2018	Konstruksi	PLN
2.	Ketapang	PLTU	Ketapang	12	2018	Konstruksi	Swasta
3.	Sintang	PLTU	Sintang	21	2018	Konstruksi	PLN
4.	Khatulistiwa	PLTU	Parit Baru (FTP2)	2 x 50	2018	Konstruksi	PLN
5.	Khatulistiwa	PLTBm	Mempawah	10	2018	Konstruksi	Swasta
6.	Khatulistiwa	PLTU	Pantai Kura-kura (FTP1)	2 x 27,5	2018/19	Konstruksi	PLN
7.	Khatulistiwa	PLTM	Melanggar	2,5	2019	Rencana	PLN
8.	Sekadau	PLTM	Mahap	1,3	2019	Rencana	PLN
9.	Putussibau	PLTM	Jitan	3,4	2019	Rencana	PLN
10.	Putussibau	PLTM	Kalis	3	2019	Rencana	PLN
11.	Khatulistiwa	PLTG	Kalbar/Pontianak peaker	100	2019	Rencana	PLN
12.	Ketapang	PLTBm	PLTBm Ketapang	10	2019	Committed	Swasta
13.	Khatulistiwa	PLTBm	PLTBm Balai Karangan	6	2020	Committed	Swasta
14.	Khatulistiwa	PLTBg	PLTBg Meliau	2	2020	Committed	Swasta
15.	Khatulistiwa	PLTU	Kalbar 1	2 x 100	2020	Konstruksi	Swasta
16.	Khatulistiwa	PLTU	Kalbar 2	2 x 100	2021/22	Rencana	Swasta
17.	Khatulistiwa	PLTU	Ketapang (Ex Timika)	2 x 7	2023	Rencana	PLN
18.	Khatulistiwa	PLTU	Kalbar 3	2 x 100	2023/24	Rencana	Unallocated
19.	Khatulistiwa	PLTGU	Kalbar peaker	250	2026/27	Rencana	Unallocated
<b>Jumlah</b>				<b>1,290</b>			

Sumber: RUPTL PLN 2018-2027

### POTENSI ENERGI TERBARUKAN DI KALIMANTAN BARAT

Seperti disebutkan dalam RUPTL PLN 2018-2027, target bauran energi baru dan terbarukan (EBT) dalam pengembangan pembangkit energi listrik sebesar 23%, maka proyeksi pembangkit listrik di Kalbar juga sejalan dengan upaya tersebut. Seperti yang dirangkum dalam Tabel 2 (Rencana Pengembangan Pembangkit Listrik di Kalbar), terdapat pembangkit-pembangkit yang menggunakan EBT tersebut seperti Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm), Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM), dan Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg).

Kemudian, dalam RUPTL PLN tersebut juga dinyatakan, khusus untuk potensi bioenergi, yang terdiri dari biogas, biomassa, dan sampah di Kalbar, berdasarkan sebaran daerahnya dapat dilihat seperti tercantum dalam Tabel 3. Dalam tabel tersebut dapat dilihat bahwa potensi Pembangkit Listrik Tenaga Biogas (PLTBg) adalah sebesar 2 MW yang terdapat di Kabupaten Landak. Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBM) yang tersebar di wilayah Kalbar, memiliki potensi sebesar 87 MW. PLTBM ini memanfaatkan limbah pengolahan kelapa sawit yang banyak terdapat di Kalbar. Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa) yang terdapat di Siantan dan Pontianak, memiliki potensi sebesar 10 MW. Total potensi energi listrik dari bioenergi saja sebesar 99 MW. Dari RUPTL PLN yang sama, di wilayah Kalbar terdapat potensi energi nuklir sebesar 100 MW (Tabel 4). Dengan membandingkan Tabel 3 dan Tabel 4 tersebut, terlihat bahwa potensi energi nuklir memiliki daya listrik yang hampir sama dengan potensi energi listrik dari bioenergi, sehingga keperluan membangun PLTN dapat digantikan dengan memanfaatkan potensi energi terbarukan secara maksimal, dan tentunya jauh lebih aman, ekonomis, serta ramah lingkungan.

Di samping itu, PLN juga terus berkomitmen untuk mengembangkan EBT di wilayah Kalbar. Sampai saat ini PLN Kalbar telah mengoperasikan Pembangkit Listrik Mikrohidro

(PLTMh) dan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan total kapasitas sebesar 8,9 MW. PLN juga telah menandatangani kerjasama dengan pihak swasta untuk mengembangkan pembangkit EBT menggunakan limbah kelapa sawit dengan total kapasitas 38 MW yang rencananya akan dibangun di Tayan, Siantan, Sukadana, Meliau dan Balai Karang<sup>[14]</sup>.

**Tabel 3.** Potensi Bioenergi di Kalimantan Barat

No.	Nama Proyek	Lokasi	Jenis	Kapasitas (MW)	Status
1.	Landak	Kab. Landak	PLTBg	2	Potensi
2.	Tersebar	Kalbar	PLTBm	87	Potensi
3	Siantan/Pontianak	Siantan	PLTSa	10	Potensi
<b>Jumlah</b>				<b>99</b>	

Sumber: RUPTL PLN 2018-2027

**Tabel 4.** Potensi Energi Nuklir di Kalimantan Barat

No.	Nama Proyek	Lokasi	Jenis	Kapasitas (MW)	Status
1.	Kalbar	Kalbar	PLTN	100	Potensi
<b>Jumlah</b>				<b>100</b>	

Sumber: RUPTL PLN 2018-2027

## KESIMPULAN DAN SARAN

Rencana pemanfaatan energi nuklir untuk memenuhi kebutuhan listrik di Indonesia dapat dilaksanakan namun harus memenuhi persyaratan sebagaimana dimaksud di dalam UU 17/2007 maupun dalam peraturan pelaksanaan di bawahnya. Selama persyaratan tersebut belum dapat dipenuhi atau diyakini belum dapat terpenuhi, maka nuklir hanya sebatas pada pengembangan, penelitian, dan *pilot project*.

Dari paparan di atas dapat disimpulkan bahwa negara Indonesia khususnya Kalimantan Barat memiliki potensi energi terbarukan yang cukup besar dalam memenuhi kebutuhan energi listrik pada saat ini maupun untuk masa mendatang.

Dalam Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PLN 2018-2017 dan dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) ditegaskan bahwa pembangunan PLTN sebagai alternatif terakhir sumber energi listrik di Indonesia. Investasi yang besar untuk pengembangan PLTN dapat digunakan untuk pengembangan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan.

Diharapkan semua pihak terkait dalam menentukan kebijakan kelistrikan, baik dari pemerintah, PLN, tokoh masyarakat, LSM, dan para akademisi dapat duduk bersama dalam upaya mengambil keputusan terbaik, yang nantinya bukan hanya berdampak untuk saat ini saja tapi juga terhadap generasi-generasi yang akan datang.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] INDONESIA ENERGY OUTLOOK 2018, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, ISBN 978-602-1328-05-7, 2018.
- [2] Undang-Undang No. 10 tahun 1997 tentang Ketenaganukliran, 10 April 1997.
- [3] Sekretariat Kabinet Republik Indonesia, "Penggunaan Tenaga Nuklir di Indonesia: Aspek Hukum", 10 Agustus 2015.
- [4] Undang-Undang No. 30 tahun 2007 tentang Energi, 10 Agustus 2007.
- [5] Benny D. Setianto, Benturan UU dalam Pendirian PLTN
- [6] Undang-Undang No. 17, tahun 2007: Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 2005-2025.
- [7] Peraturan Pemerintah No. 79, tahun 2014: Kebijakan Energi Nasional.
- [8] Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2017 Tentang Rencana Umum Energi Nasional.
- [9] Peraturan Presiden No. 2, tahun 2015: Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional 2015-2019.
- [10] Keputusan Menteri ESDM No. 1567K/21/MEM/2018 tentang Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik PT PLN (Persero) 2018-2027, 13 Maret 2018.

- [11]N. Soraya, "Surplus Daya 169 MW, PLN Dukung Investasi Masuk Kalbar", Tribun News, 15 Mei 2018.
- [12]H. B. Pratomo, "80 Persen listrik Kalimantan Barat masih diimpor dari Malaysia", Merdeka.com, 4 Oktober 2018.
- [13]Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia nomor 4 Tahun 2017 tentang Objek Vital Nasional Bidang Energi dan Sumber Daya Mineral, 11 Januari 2017.
- [14]"2 Pembangkit di Kalbar Beroperasi", Bisnis.com, 8 Mei 2017.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## EVALUASI PERENCANAAN STRATEGIS TINGKAT KEDEPUTIAN BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL TAHUN 2015-2019

Dwi Irwanti, Sri Agustin, Hanifa

Biro Perencanaan BATAN, Jalan Kuningan Barat, Jakarta Selatan 12710

email: irwanti@batan.go.id

### ABSTRAK

**EVALUASI PERENCANAAN STRATEGIS TINGKAT KEDEPUTIAN BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL TAHUN 2015-2019.** Evaluasi perencanaan strategis merupakan suatu upaya yang membandingkan antara hasil implementasi kebijakan dengan kriteria dan standar yang telah ditetapkan untuk melihat keberhasilannya. Perencanaan strategis berkaitan dengan visi, misi, tujuan, sasaran dan pencapaian organisasi di masa depan serta berkaitan dengan bagaimana organisasi bisa menggerakkan sumber daya yang ada untuk mencapai tujuan tersebut. Pada tingkat kementerian/lembaga, dokumen Renstra K/L harus berpedoman pada dokumen Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN), rumusan masalah yang perlu dianalisis, yaitu Visi, Misi, dan keselarasan antara sasaran dan indikator kinerja Renstra BATAN Tahun 2015 – 2019. Tujuan penelitian ini adalah untuk memberikan gambaran penyelarasan (*cascading*) dimulai dari visi, misi, sasaran dan indikator antara dokumen Renstra BATAN dengan Renstra Deputy/Sestama menggunakan kriteria SMART-C. Hasil penelitian menunjukkan Persentase indikator Deputy SATN yang memenuhi kriteria SMART-C adalah sebesar 76,47% masih ada 4 indikator yang belum memenuhi seluruh kriteria SMART-C, Deputy TEN sebesar 66,67% masih ada 2 indikator yang belum memenuhi seluruh kriteria SMART-C, Deputy PTN sebesar 86,67% masih ada 2 indikator yang belum memenuhi seluruh kriteria SMART-C, dan Sestama sebesar 46,67% masih ada 8 indikator yang belum memenuhi seluruh kriteria SMART-C. Metodologi pengambilan data menggunakan data sekunder dan pengolahan data menggunakan metode deskriptif kualitatif. Hasil kajian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan masukan Pimpinan BATAN dalam merumuskan kebijakan penyusunan Renstra 2020-2024 agar dirancang memenuhi kriteria SMART-C.

Kata kunci: Evaluasi, perencanaan, strategis, kedeputian, sestama, sasaran, indikator

### ABSTRACT

**EVALUATION OF 2015-2019 DEPUTY OF NATIONAL NUCLEAR POWER STRATEGIC PLANNING.** Strategic planning evaluation is an effort that compares the results of policy implementation with established criteria and standards to see its success. Strategic planning is related to the vision, mission, goals, objectives and achievements of the organization in the future and is related to how the organization can mobilize existing resources to achieve these goals. At the ministry / agency level, the K / L Strategic Plan document must be guided by the National Medium-Term Development Plan (RPJMN) document, the formulation of problems that need to be analyzed, namely the Vision, Mission, and alignment between the targets and performance indicators of the 2015-2015 BATAN Strategic Plan. This research is to provide a picture of alignment (*cascading*) starting from the vision, mission, targets and indicators between the BATAN Strategic Plan and the Deputy / First Strategic Plan using the SMART-C criteria. The results showed the percentage of SATN Deputy indicators that met the SMART-C criteria was 76.47% there were still 4 indicators that did not meet all the SMART-C criteria, TEN Deputy was 66.67% there were still 2 indicators that did not meet all the SMART-C criteria C, Deputy PTN of 86.67% there are still 2 indicators that do not meet all the SMART-C criteria, and Sestama of 46.67% there are still 8 indicators that do not meet all the SMART-C criteria. Data collection methodology uses secondary data and data processing uses descriptive qualitative methods. The results of this study are expected to be used as input for BATAN's leadership in formulating policies for the preparation of the 2020-2024 Strategic Plan so that they are designed to SMART-C criteria.

Keywords: Evaluation, planning, strategic, deputy, targets, indicators

## PENDAHULUAN

Undang-Undang Nomor 25 Tahun 2004 tentang Sistem Perencanaan Pembangunan Nasional (SPPN) merupakan landasan hukum bagi penyusunan perencanaan pembangunan. Tujuan dari SPPN adalah untuk mendukung antar pelaku pembangunan, menjamin integrasi, sinkronisasi dan sinergi baik antar daerah, antar waktu dan menjamin keterkaitan dan konsistensi antara perencanaan, penganggaran, pelaksanaan dan pengawasan. Secara rinci Undang-Undang SPPN mengatur waktu/periode dokumen sumber perencanaan seperti Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional (RPJPN) 20 tahun, Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 5 tahun, Rencana Kinerja Pemerintah (RKP) 1 tahun, Rencana Strategis Kementerian/Lembaga (Renstra K/L) 5 tahun, Renja K/L 1 tahun. Pada tingkat kementerian/lembaga, dokumen Renstra K/L harus berpedoman pada dokumen RPJMN.

Perencanaan Strategis, menurut Bryson [1], menjelaskan bahwa *strategic planning* merupakan suatu upaya yang didisiplinkan untuk membuat keputusan dan tindakan penting yang membentuk dan memandu bagaimana menjadi organisasi, apa yang dikerjakan organisasi, dan mengapa organisasi mengerjakan hal tersebut. Adanya perencanaan strategis dapat membantu organisasi untuk berpikir dan bertindak secara strategis. Perencanaan strategis juga dapat membantu organisasi dalam mengantisipasi dan lebih responsive terhadap perubahan lingkungan di sekitarnya. Perencanaan strategis berkaitan dengan apa visi, misi, tujuan, sasaran dan pencapaian organisasi di masa depan serta berkaitan dengan bagaimana organisasi bisa menggerakkan sumber daya yang ada untuk mencapai tujuan tersebut.

Renstra merupakan penjabaran visi K/L dan dilengkapi dengan rencana sasaran nasional yang hendak dicapai dalam rangka mencapai sasaran program prioritas presiden. Dalam Undang-Undang Nomor 25 Tahun 2004 Pasal 6 disebutkan bahwa Renstra K/L memuat visi, misi, tujuan, strategi, kebijakan, program, dan kegiatan sesuai dengan tugas dan fungsi K/L. Tugas dan fungsi BATAN telah ditetapkan dalam Peraturan Presiden Nomor 46 Tahun 2013 tentang Badan Tenaga Nuklir Nasional (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2013 Nomor 113).

Dalam menjamin sinkronisasi dan konsistensi antara Renstra dengan tugas dan fungsi BATAN, Biro Perencanaan (BP) sebagai unit perencana berfungsi mengkoordinasikan dan mensinergikan pelaksanaan kebijakan perencanaan dan penganggaran dan penyiapan sarana dan prasarana penelitian dan pengembangan (litbang) iptek nuklir di BATAN. Hal ini sesuai dengan Peraturan Kepala BATAN Nomor 14 Tahun 2013 tentang Organisasi dan Tata Kerja BATAN.

Penyusunan Renstra BATAN adalah langkah awal bagi setiap organisasi di dalam pencapaian tujuannya. Tujuan dari Renstra itu sendiri antara lain agar organisasi siap dalam menghadapi hambatan atau tantangan dan kesempatan yang bisa terjadi setiap waktu. Renstra BATAN 2015-2019 merupakan dokumen acuan unit kerja dalam menyusun kegiatan yang lebih rinci dengan keluaran (output) yang jelas dan terukur serta dikendalikan oleh para Deputi/Sestama untuk pencapaian outcome.

Berdasarkan latar belakang di atas, ada beberapa rumusan masalah yang perlu dianalisis, yaitu visi, misi, dan keselarasan antara sasaran dan indikator kinerja. Kajian keselarasan antara sasaran dan indikator kinerja dibatasi pada analisis keselarasan antara sasaran strategis, sasaran program dan indikator, serta penilaian terhadap rumusan indikator.

Kajian ini bertujuan memberi gambaran penyelarasan (*cascading*) sasaran dan indikator antara dokumen Renstra BATAN dengan Renstra Deputi/Sestama. Hasil kajian ini diharapkan dapat digunakan sebagai bahan penyusunan Renstra 2020-2024 dan sebagai bahan masukan Pimpinan BATAN dalam merumuskan kebijakan.

## TEORI EVALUASI PERENCANAAN STRATEGIS

Evaluasi merupakan salah satu tingkatan di dalam proses kebijakan publik, evaluasi adalah suatu cara untuk menilai apakah suatu kebijakan atau program itu berjalan dengan baik atau tidak. Islamy (2000) dalam safi'i [2] mengatakan bahwa penelitian (evaluasi) kebijakan adalah merupakan langkah terakhir dari suatu proses kebijakan. Salah satu aktivitas fungsional, evaluasi kebijakan tidak hanya dilakukan dengan mengikuti aktivitas-aktivitas sebelumnya, yaitu pengesahan (formulasi) dan pelaksanaan (implementasi) kebijakan, tetapi dapat terjadi pada seluruh aktivitas-aktivitas fungsional yang lain dalam proses kebijakan.

Evaluasi kebijakan dapat mencakup tentang isi kebijakan, pelaksanaan kebijakan, dan dampak kebijakan. Jadi evaluasi kebijakan bisa dilakukan pada fase perumusan masalah,

formulasi usulan kebijakan, implementasi kebijakan, legitimasi kebijakan dan seterusnya. Evaluasi menurut Dunn yang dikutip oleh Riant Nugroho [3] dalam bukunya Kebijakan Publik (Formulasi, Implementasi, dan Evaluasi) mendefinisikan evaluasi sebagai :

“Evaluasi mempunyai arti yang berhubungan, masing-masing menunjuk pada aplikasi beberapa skala nilai terhadap hasil kebijakan dan program. Secara umum istilah evaluasi dapat disamakan dengan penafsiran (appraisal), pemberian angka (Rating) dan penilaian (Assesment), kata-kata yang menyatakan usaha untuk menganalisis hasil kebijakan dalam arti satuan lainnya. Dalam arti yang lebih spesifik, evaluasi berkenaan dengan produksi informasi mengenai nilai atau manfaat hasil kebijakan” (Nugroho, 2003:181).

### Perencanaan Strategis

Perencanaan [4] bukanlah sekedar menyusun apa yang akan kita kerjakan/lakukan besok, tetapi Perencanaan adalah proses menentukan apa yang akan kita capai besok, yang kemudian baru diikuti dengan apa yang akan kita kerjakan/lakukan untuk mencapainya. Perencanaan [5] adalah salah satu fungsi dari manajemen yang paling penting dimana di dalamnya terdapat aktivitas mendefinisikan tujuan organisasi, membuat strategi, serta mengembangkan rencana kerja organisasi. Manfaat Perencanaan adalah sebagai penuntun arah, meminimalisasi ketidakpastian, meminimalisasi inefisiensi sumberdaya, penetapan standar dan pengawasan kualitas



Gambar 1: Piramida Perencanaan

Rencana Strategis (*Strategis Planning*) adalah salah satu dari perencanaan berdasarkan ruang lingkup yaitu perencanaan yang di dalamnya terdapat uraian mengenai kebijakan jangka panjang dan waktu pelaksanaan yang lama. Umumnya jenis perencanaan seperti ini sangat sulit untuk diubah.

### Visi (*Vision*)

Visi adalah rumusan umum mengenai keadaan yang ingin dicapai oleh Kementerian/Lembaga pada akhir periode perencanaan. Visi memberikan gambaran konsistensi kinerja Kementerian/Lembaga selama 5 (lima) tahun mendatang serta gambaran menyeluruh mengenai peranan dan fungsi suatu organisasi. Adapun dalam penentuan Visi Kementerian/Lembaga, perlu untuk mempertimbangkan beberapa kriteria sebagai berikut: (1) Visi harus dapat memberikan arah pandangan kedepan terkait dengan kinerja dan peranan organisasi. (2) Visi harus dapat memberikan gambaran tentang kondisi masa depan yang ingin diwujudkan oleh organisasi. (3) Visi harus ditetapkan secara rasional, realistis dan mudah dipahami.

### Misi (*Mission*)

Menurut The Winning Formula dalam buku *Management Strategic Concept* oleh Fred R. David, (2009, p5). Misi merupakan pernyataan keyakinan (*creed statement*), maksud dan

tujuan suatu organisasi. Komponen misi adalah Pelanggan, Produk dan atau Jasa, Pasar. Teknologi, Perhatian terhadap kelangsungan hidup, Falsafah. Konsep diri, Perhatian terhadap kesan masyarakat (citra publik) dan Fokus pada karyawan.

Adapun dalam penentuan Misi Kementerian/Lembaga, perlu untuk mempertimbangkan beberapa kriteria sebagai berikut: (1) Misi merupakan **Pendukung Visi**. Misi boleh dituliskan hanya dengan satu kalimat jelas, sarat informasi, dan berfokus pada cara pencapaian tujuan. Misi boleh pula dituliskan dengan beberapa kalimat. (2) Misi berisi rangkaian aksi yang akan dilakukan oleh perusahaan, universitas, organisasi, maupun instansi dalam mencapai visi atau mimpi utamanya. an secara singkat, padat dan mudah diingat. (3) Visi harus dapat dilaksanakan secara konsisten dalam pencapaian. (4) Visi harus selalu berlaku pada semua kemungkinan perubahan yang mungkin terjadi sehingga suatu Visi hendaknya mempunyai sifat fleksibel.

### **Tata (Nilai (Value)**

Dalam Kamus Sosiologi yang disusun oleh Soerjono Soekanto disebutkan bahwa Nilai (*value*) adalah konsepsi abstrak di dalam diri manusia, mengenai apa yang dianggap baik dan apa yang dianggap buruk. Horton dan Hunt, 1987 menyatakan bahwa Nilai adalah gagasan mengenai apakah suatu pengalaman itu berarti apa tidak berarti. Nilai ada 3 tiga macam, yaitu: (1) Nilai material, yakni meliputi berbagai konsepsi mengenai segala sesuatu yang berguna bagi jasmani manusia. (2) Nilai vital, yakni meliputi berbagai konsepsi yang berkaitan dengan segala sesuatu yang berguna bagi manusia dalam melaksanakan berbagai aktivitas. (3) Nilai kerohanian, yakni meliputi berbagai konsepsi yang berkaitan dengan segala sesuatu yang berhubungan dengan kebutuhan rohani manusia: nilai kebenaran, yakni yang bersumber pada akal manusia (*cipta*), nilai keindahan, yakni yang bersumber pada unsur perasaan (*estetika*), nilai moral, yakni yang bersumber pada unsur kehendak (*karsa*), dan nilai keagamaan (*religiusitas*), yakni nilai yang bersumber pada revelasi (*wahyu*) dari Tuhan.

### **Tujuan (Goal)**

Menurut Stephen R. Covey Tujuan Organisasi merupakan penjabaran dari Visi dan Misi organisasi. Tujuan organisasi berisi sesuatu yang akan dicapai/dihasilkan oleh organisasi yang bersangkutan. Tujuan organisasi adalah target yang bersifat kuantitatif dan pencapaian target tersebut merupakan ukuran keberhasilan kinerja organisasi. Tujuan organisasi pada dasarnya berjangka panjang dengan tugas yang harus diselesaikan selama waktu itu dan akan mengarahkan kinerja organisasi.

Menurut Permen PPN/BAPPENAS Nomor 5 tahun 2014 Tujuan disusun berdasarkan hasil identifikasi potensi dan permasalahan yang akan dihadapi pada langkah sebelumnya dalam rangka mewujudkan visi dan melaksanakan misi. Pada tingkat organisasi, visi, misi, tujuan dan sasaran strategis berada pada tingkat kinerja dampak (*impact*). Pernyataan tujuan harus dilengkapi dengan sasaran strategis sebagai ukuran kinerjanya. Sasaran strategis dilengkapi dengan target kinerja sehingga menjadi ukuran keberhasilan dari pencapaian visi dan misi Kementerian/Lembaga. Kriteria penentuan Tujuan adalah sebagai berikut: (1) Tujuan harus sejalan dengan visi dan misi organisasi dan berlaku pada periode jangka menengah. (2) Tujuan harus dapat menunjukkan suatu kondisi yang ingin dicapai pada periode jangka menengah. (3) Tujuan harus dapat dicapai dengan kemampuan yang dimiliki oleh. (4) Tujuan harus dapat mengarahkan perumusan sasaran strategis, strategi dan kebijakan, serta program dan kegiatan dalam rangka merealisasikan misi.

### **Sasaran (Objective)**

Menurut Stephen R. Covey tujuan utama organisasi dirinci atau dipecahkan menjadi tujuan yang lebih kecil yang disebut sasaran. Sasaran organisasi adalah penjabaran dari tujuan organisasi, yaitu sesuatu yang akan dihasilkan organisasi dalam jangka waktu tertentu. Agar sasaran dapat dicapai dengan efektif dan efisien, maka sasaran organisasi harus dibuat secara spesifik, terukur, jelas kriterianya, dan disertai indikator yang lebih rinci. Untuk memudahkan dalam menentukan sasaran kegiatan, sebaiknya organisasi memiliki sumber daya manusia, sumber daya keuangan, kemampuan menghasilkan manfaat, kebutuhan masyarakat, sarana kerja, pengembangan unit layanan jasa, dan tanggung jawab.

### **Indikator (*Indicator*)**

Menurut **Wilson dan Sapanuchart** indikator adalah ukuran dari sebuah status atau kondisi secara tidak langsung yang telah terjadi. Menurut Buku "Panduan Praktis Menyusun Key Performance Indicator (KPI)" oleh Arini Soemohadiwidjojo, indikator harus: sederhana, mudah untuk dipahami, dimonitor, serta dikelola sehingga cocok untuk dijadikan KPI, indikator kinerja tersebut harus memenuhi kriteria SMART-C sebagai berikut: (1) *Specific* (spesifik): indikator kinerja harus dapat didefinisikan secara spesifik (tidak berdwimakna/multitafsir/ambigu). (2) *Measurable* (terukur): indikator kinerja harus dapat diukur secara obyektif, baik yang bersifat kuantitatif maupun kualitatif (dapat diukur, diidentifikasi satuan atau parameternya). (3) *Achievable* (realistis/dapat dicapai): sasaran/target yang ditetapkan untuk indikator kinerja harus masuk akal dan memungkinkan untuk dicapai (dapat dicapai, relevan dengan tuisi (domain) dan dalam kendalinya/controllable). (4) *Relevant* (relevan): indikator kinerja yang dipilih sesuai dengan lingkup bisnis dan aktivitas/proses bisnis organisasi/divisi terkait (terkait langsung dengan apa yang akan diukur atau merepresentasikan). (5) *Timely/Time-Bound* (batasan waktu): pencapaian sasaran/target indikator kinerja memiliki batasan waktu yang jelas (mengacu/menggambarkan kurun waktu tertentu/ada batas waktu). (6) *Continuous Improvement* (perbaikan berkelanjutan): sasaran target indikator kinerja yang ditetapkan merupakan peningkatan dari pencapaian periode sebelumnya dan menjadi tantangan manajemen untuk meningkatkan kinerja organisasi (dari segi jumlah, ukuran keberhasilan yang ada harus cukup mengindikasikan tercapainya tujuan, sasaran dan hasil program).

KPI atau Indikator Kinerja Utama (IKU) adalah kumpulan atau indikator kinerja suatu organisasi, utamanya dalam mencapai tujuan dan sasaran tertentu. Setiap organisasi pemerintah wajib merumuskan IKU, dan menjadikan hal itu sebagai prioritas utama. IKU dianggap telah memenuhi kriteria SMART-C berdasarkan kesepakatan antara pengelola kinerja organisasi, pemilik IKU dan atasan langsung pemilik IKU.

### **Strategi (*Strategy*)**

Konsep dasar strategi dalam Manajemen Strategis menurut Kuncoro (2005;12) adalah sejumlah keputusan dan aksi yang digunakan untuk mencapai tujuan dan menyesuaikan sumber daya yang dimiliki dengan peluang dan tantangan yang dihadapi dalam lingkungan strategisnya. Ciri-ciri/karakteristik strategi adalah sebagai berikut: (1) *Goal-directed actions*, yaitu aktivitas yang menunjukkan "apa" yang diinginkan organisasi dan "bagaimana" mengimplementasikannya. (2) Mempertimbangkan semua kekuatan internal (sumber daya dan kapabilitas) serta memperhatikan peluang dan tantangan.

Suatu strategi merupakan analisis yang tepat tentang kekuatan yang dimiliki oleh organisasi, kelemahan yang melekat pada organisasi, berbagai peluang yang mungkin timbul dan harus dimanfaatkan serta ancaman yang diperkirakan akan terjadi. Dengan analisis yang tepat alternatif yang dapat ditempuh akan terlihat dan lebih efektif.

### **Kebijakan (*Policy*)**

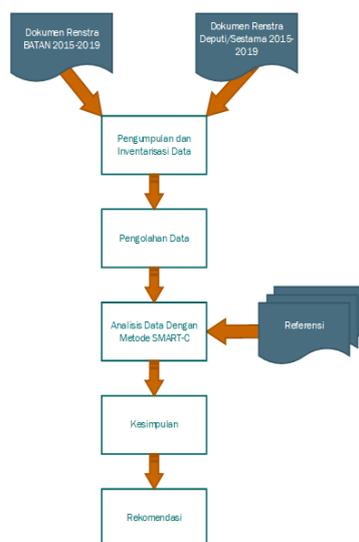
Menurut *The Winning Formula* Kebijakan adalah suatu ucapan atau tulisan yang memberikan petunjuk umum tentang penetapan ruang lingkup yang memberi batas dan arah umum kepada seseorang untuk bergerak. Secara etimologis, kebijakan adalah terjemahan dari kata policy. Kebijakan dapat berarti sebagai rangkaian konsep dan asas yang menjadi garis pelaksanaan suatu pekerjaan, kepemimpinan, dan cara bertindak. Kebijakan dapat berbentuk keputusan yang dipikirkan secara matang dan hati-hati oleh pengambil keputusan puncak dan bukan kegiatan-kegiatan berulang yang rutin dan terprogram atau terkait dengan aturan-aturan keputusan.

### **METODOLOGI**

Kajian ini menggunakan desain penelitian deskriptif kualitatif. Penelitian deskriptif bertujuan untuk menggambarkan secara tepat sifat-sifat suatu individu, kelompok tertentu, atau menentukan frekuensi penyebaran suatu gejala, atau frekuensi adanya pengaruh tertentu antara suatu gejala lain dalam masyarakat (Indriantoro, 1999). Analisis deskriptif yang dilakukan dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan deskriptif kuantitatif digunakan untuk mendiskripsikan atau menjelaskan peristiwa atau suatu kejadian yang terjadi pada saat sekarang dalam bentuk angka-angka yang bermakna (Sudjana, 2004). Sedangkan analisis data secara kualitatif ditujukan untuk memperkuat analisis deskriptif kuantitatif.

Kajian ini dilaksanakan di Biro Perencanaan Badan Tenaga Nuklir Nasional pada Bulan Januari-Agustus 2019. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder diperoleh dari literatur dan dokumen perencanaan BATAN seperti dokumen rencana strategis BATAN 2015-2019, dokumen rencana strategis Deputi/Sestama BATAN 2015-2019, serta dokumen terkait lainnya.

Kajian diawali dengan pengumpulan dan inventarisasi data. Pengolahan data dilakukan berdasarkan sasaran strategis, sasaran program, indikator kinerja strategis dan indikator kinerja program. Analisis data dilakukan untuk mengetahui keselarasan antara sasaran indikator menggunakan kriteria SMART-C. Hasil analisis selanjutnya dirumuskan berupa rekomendasi sebagai bahan masukan untuk perbaikan penyusunan Renstra BATAN 2020-2024. Untuk mendapatkan rekomendasi kebijakan penyusunan dokumen rencana strategis periode berikutnya, langkah yang dilakukan adalah sebagaimana kerangka alur pikir berikut ini.

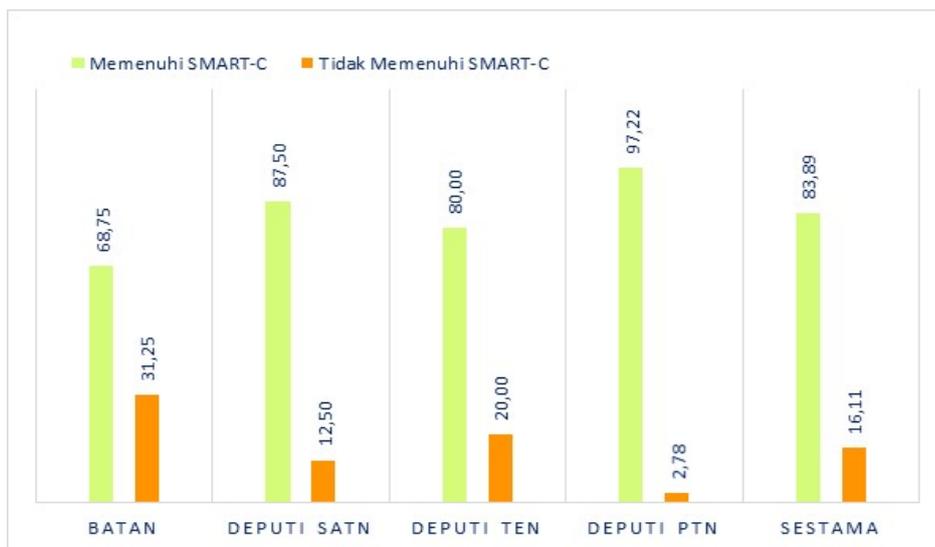


Gambar 2. Kerangka Pikir Dalam Kajian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Renstra BATAN 2015-2019 berisi visi, misi, tujuan, sasaran, arah kebijakan, program/kegiatan, dan indikator kinerja. Renstra BATAN disusun mengacu pada kerangka arah kebijakan dan strategi, terutama terhadap prioritas pembangunan dalam RPJMN 2015-2019 dan berbagai permasalahan di bidang penelitian, pengembangan, perekayasaan dan penerapan iptek nuklir, serta kondisi lingkungan strategis BATAN ke depan. Rumusan Kebijakan Renstra BATAN 2015-2019 dituangkan dalam 2 program yaitu: (1) Program Penelitian Pengembangan dan Penerapan Energi Nuklir, Isotop dan Radiasi. Kegiatan litbang di bidang ketenaganukliran meliputi fokus bidang Pangan/Pertanian, Kesehatan, Energi, SDAL dan Keselamatan Radiasi, Industri, Material Maju, dan (2) Program Dukungan Manajemen dan Pelaksanaan Tugas Teknis Lainnya BATAN. Keempatannya di bidang manajemen Kelembagaan. Program 1 dilaksanakan oleh Deputi teknis yaitu: Deputi SATN, Deputi TEN, dan Deputi PTN, sedangkan Program 2 dilaksanakan oleh Sekretaris Utama. Dalam melaksanakan Program masing-masing Deputi dan Sestama memiliki Sasaran Program dan indikator dalam mendukung Sasaran Strategis BATAN.

Analisis dilakukan terhadap sasaran dan indikator dalam Renstra BATAN, Renstra Deputi SATN, Renstra Deputi TEN, Renstra Deputi PTN dan Renstra Sestama tahun 2015-2019. Sasaran dan indikator dinilai berdasarkan kesesuaian/memenuhi kriteria SMART-C. Hasil penilaian atas seluruh sasaran dan indikator disajikan dalam bentuk persentase, sehingga dapat diketahui sasaran dan indikator yang telah memenuhi maupun belum memenuhi kriteria SMART-C. Hasil analisis tersebut akan menjadi bahan evaluasi dalam menyusun sasaran dan indikator Renstra periode berikutnya agar seluruh sasaran dan indikator yang disusun dapat memenuhi kriteria SMART-C.



Gambar 3. Persentase Hasil Penilaian Indikator BATAN dan Eselon I

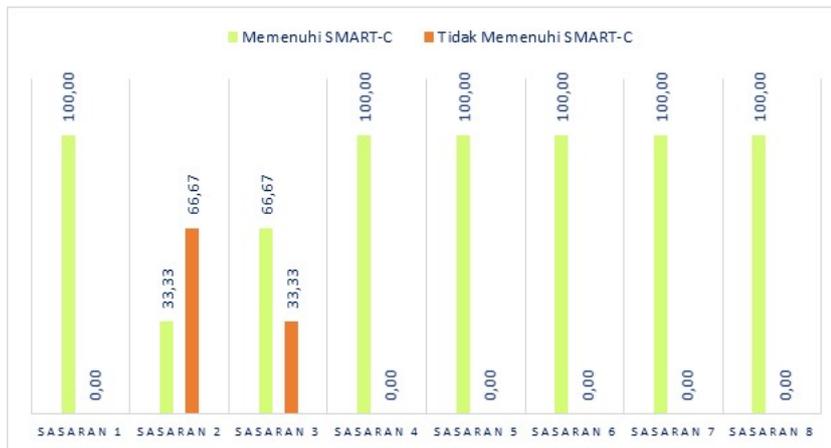
### Analisis Keselarasan Antara Indikator dan Sasaran Deputy SATN

Sasaran Renstra Deputy SATN 2015-2019 memiliki 8 Sasaran dan 17 Indikator, disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Indikator dan Sasaran Deputy SATN

	SASARAN		INDIKATOR
1	Meningkatnya kepakaran menuju keunggulan BATAN	1	Jumlah pusat unggulan iptek
		2	Jumlah Collaborating Center IAEA
		3	Jumlah publikasi ilmiah pada jurnal terakreditasi
2	Meningkatnya efektivitas diseminasi dan promosi iptek nuklir	4	Jumlah mitra pengguna yang memanfaatkan hasil litbangyasa iptek nuklir
3	Meningkatnya hasil litbangyasa iptek nuklir bidang pangan yang siap dimanfaatkan oleh masyarakat	5	
		6	Jumlah Agro Techno Park (ATP)
		7	Jumlah varietas unggul tanaman pangan
		8	Jumlah teknologi pengelolaan lahan sub-optimal yang siap dimanfaatkan
		9	Jumlah National Science Techno Park (N-STP)
4	Meningkatnya hasil litbangyasa iptek nuklir dalam peningkatan nilai tambah sumber daya alam lokal	10	Jumlah prototipe alat pemisahan logam tanah jarang bebas radioaktif dari monasit
		11	Jumlah prototipe bahan maju berbasis sumber daya alam lokal
5	Meningkatnya hasil litbangyasa iptek nuklir bidang kesehatan yang siap dimanfaatkan oleh masyarakat	12	Jumlah data riset kandungan mikronutrisi bahan pangan dan manusia pada daerah bermasalah malnutrisi yang siap dimanfaatkan
6	Meningkatnya hasil litbangyasa iptek nuklir bidang SDAL yang siap dimanfaatkan oleh masyarakat	13	Jumlah data riset (karakteristik dan jenis sumber) polutan udara Indonesia yang siap dimanfaatkan oleh pemangku kepentingan
		14	Jumlah data riset epidemiologi akibat paparan radiasi medik dan lingkungan
7	Meningkatnya hasil litbangyasa	15	Jumlah prototipe siklotron proton 13 MeV yang

SASARAN		INDIKATOR	
	iptek nuklir bidang industri yang siap dimanfaatkan oleh masyarakat		siap dimanfaatkan untuk produksi radioisotop
		16	Jumlah metode advanced NDI yang siap dimanfaatkan industri
		17	Jumlah Desain Reaktor Triga-Pelat yang siap untuk digunakan
8	Meningkatnya kualitas layanan BATAN	18	Indeks Kepuasan Masyarakat (IKM) layanan pemanfaatan iptek nuklir di bidang energi, isotop dan radiasi

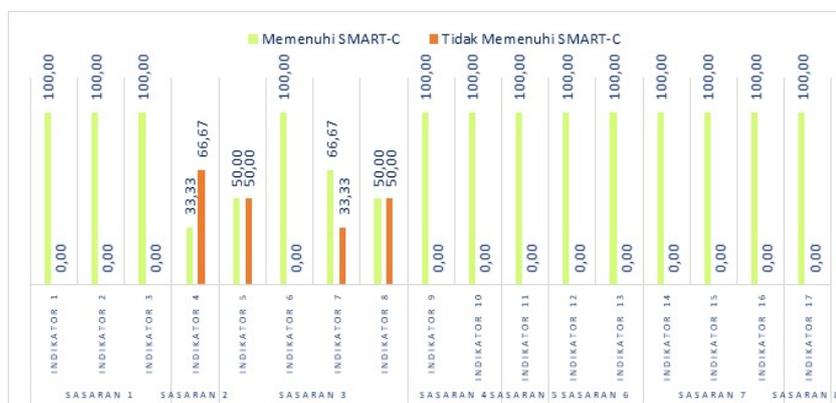


Gambar 4. Persentase Penilaian Sasaran Deputi SATN

Terdapat 6 sasaran dari 8 sasaran memiliki tingkat kesesuaian paling tinggi yaitu sasaran 1, 4, 5, 6, 7, dan 8 sebesar 100%, karena seluruh indikatornya telah memenuhi seluruh kriteria SMART-C. Sedangkan sasaran 2 memiliki tingkat kesesuaian paling kecil sebesar 33,33%. Tingkat kesesuaian sasaran 3 sebesar 66,67%.

Hasil analisis kesesuaian indikator terhadap kriteria SMART-C pada Renstra Deputi SATN menunjukkan 13 dari 17 (76,47%) indikator telah memenuhi seluruh kriteria SMART-C yaitu indikator 1, 2, 3 pada sasaran 1, indikator 6 pada sasaran 3, indikator 9 dan 10 pada sasaran 4, indikator 11 pada sasaran 5, indikator 12 dan 13 pada sasaran 6, indikator 14-16 pada sasaran 7, dan indikator 17 pada sasaran 8.

Indikator yang memiliki tingkat kesesuaian terendah terhadap sasaran kriteria SMART-C pada Renstra Deputi SATN menunjukkan bahwa indikator 4 sebesar 33,33%. Sedangkan kesesuaian rendah lainnya pada indikator 5 dan 8 sebesar 50%, dan indikator 7 sebesar 66,67%. Penilaian indikator Deputi SATN memiliki tingkat kesesuaian rendah antara 33,33% - 66,67%, secara rinci dijelaskan pada Gambar 5.



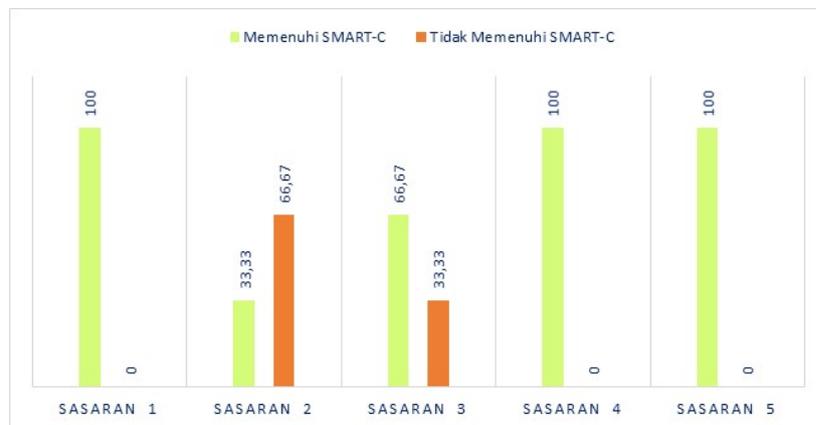
Gambar 5. Persentase Penilaian Indikator Deputi SATN

### Analisis Keselarasan Antara Indikator dan Sasaran Deputi TEN

Sasaran Renstra Deputi TEN 2015-2019 memiliki 5 Sasaran dan 6 Indikator, disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2. Indikator dan Sasaran Deputi TEN**

	SASARAN		INDIKATOR
1	Meningkatnya kepakaran menuju keunggulan BATAN	1	Jumlah publikasi ilmiah pada jurnal terakreditasi
2	Meningkatnya efektivitas diseminasi dan promosi iptek nuklir	2	Jumlah mitra pengguna yang memanfaatkan hasil litbangyasa iptek nuklir <i>Catatan: Indikator belum muncul dalam dokumen renstra Deputi TEN Rev.1 namun indikator ini sudah tercantum pada PK Deputi TEN sejak tahun 2018</i>
3	Meningkatnya hasil litbangyasa iptek nuklir bidang energi yang siap dimanfaatkan	3	Persentase pembangunan Reaktor Daya Eksperimental
		4	Jumlah dokumen teknis penyiapan infrastruktur pembangunan PLTN
4	Meningkatnya hasil litbangyasa iptek nuklir dalam peningkatan nilai tambah sumber daya alam lokal	5	Jumlah prototipe alat pemisahan logam tanah jarang bebas radioaktif dari monasit
5	Meningkatnya kualitas layanan BATAN	6	Indeks Kepuasan Masyarakat (IKM) layanan pemanfaatan iptek nuklir di bidang energi, isotop dan radiasi

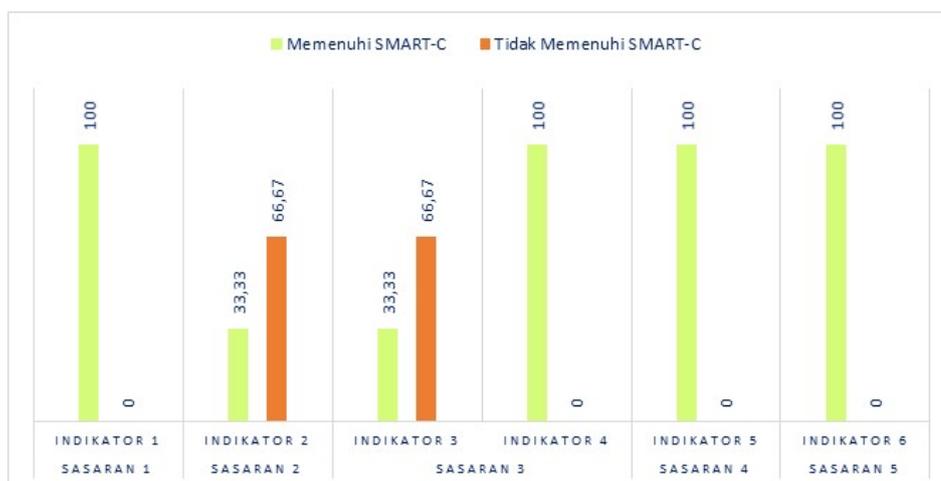


**Gambar 6. Persentase Penilaian Sasaran Deputi TEN**

Terdapat 3 sasaran dari 5 sasaran memiliki tingkat kesesuaian paling tinggi yaitu sasaran 1, 4, dan 5 sebesar 100%, karena seluruh indikatornya telah memenuhi seluruh kriteria SMART-C. Sedangkan sasaran 2 memiliki tingkat kesesuaian paling kecil sebesar 33,33%. Tingkat kesesuaian sasaran 3 sebesar 66,67%.

Hasil analisis kesesuaian indikator terhadap kriteria SMART-C pada Renstra Deputi TEN menunjukkan 4 dari 6 (66,67%) indikator telah memenuhi seluruh kriteria SMART-C yaitu indikator 1 pada sasaran 1, indikator 4 pada sasaran 3, indikator 5 pada sasaran 4, dan indikator 6 pada sasaran 5.

Indikator yang memiliki tingkat kesesuaian rendah terhadap sasaran kriteria SMART-C pada Renstra Deputi TEN menunjukkan bahwa indikator 2 dan 3 sebesar 33,33%. Penilaian indikator Deputi TEN secara rinci dijelaskan pada Gambar 4.7.



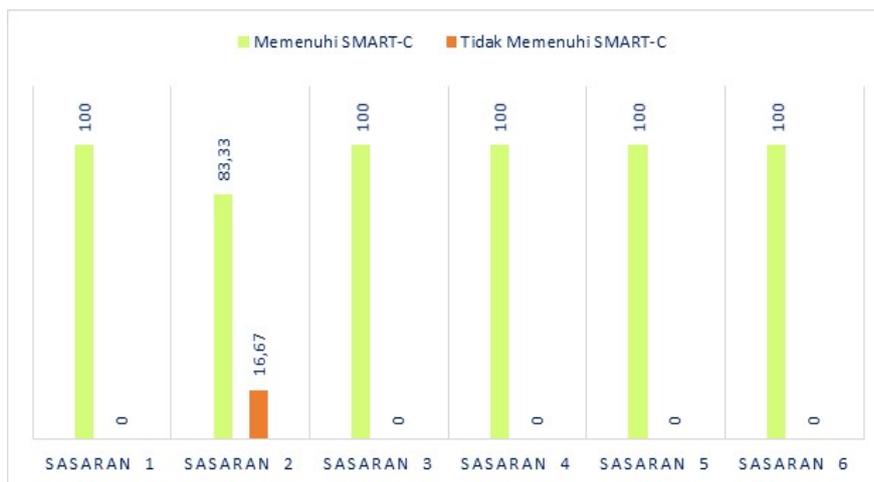
Gambar 7. Persentase Penilaian Indikator Deputi TEN

### Analisis Keselarasan Antara Indikator dan Sasaran Deputi PTN

Sasaran Renstra Deputi PTN 2015-2019 memiliki 6 Sasaran dan 15 Indikator, disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Indikator dan Sasaran Deputi PTN

SASARAN		INDIKATOR	
1	Meningkatnya kepakaran menuju keunggulan BATAN	1	Jumlah Pusat Unggulan Iptek (PUI)
		2	Jumlah publikasi ilmiah pada jurnal terakreditasi
2	Meningkatnya efektivitas diseminasi dan promosi iptek nuklir	3	Persentase penerimaan masyarakat terhadap iptek nuklir di Indonesia
		4	Jumlah hasil litbangyasa iptek nuklir yang dikomersialkan
		5	Jumlah mitra pengguna yang memanfaatkan hasil litbangyasa iptek nuklir
		6	Jumlah daerah yang memanfaatkan hasil litbang iptek nuklir
		7	Luas lahan pertanian yang menggunakan varietas unggul BATAN
3	Meningkatnya hasil litbangyasa iptek nuklir bidang pangan yang siap dimanfaatkan oleh masyarakat	8	Persentase pembangunan iradiator untuk pengawetan bahan pangan
4	Meningkatnya hasil litbangyasa iptek nuklir bidang kesehatan yang siap dimanfaatkan oleh masyarakat	9	Jumlah radioisotop yang siap dimanfaatkan oleh masyarakat
		10	Jumlah kit radiofarmaka yang siap dimanfaatkan oleh masyarakat
		11	Jumlah prototipe rekayasa perangkat nuklir di bidang kesehatan yang siap dimanfaatkan
5	Meningkatnya hasil litbangyasa iptek nuklir bidang industri yang siap dimanfaatkan oleh masyarakat	12	Jumlah prototipe rekayasa perangkat nuklir di bidang industri yang siap dimanfaatkan oleh masyarakat
		13	Jumlah <i>prototipe advanced</i> NDI yang siap dimanfaatkan industri
6	Meningkatnya kualitas layanan BATAN	14	Indeks Implementasi <i>e-government</i>
		15	Indeks Kepuasan Masyarakat (IKM) layanan pemanfaatan iptek nuklir di bidang energi, isotop dan radiasi

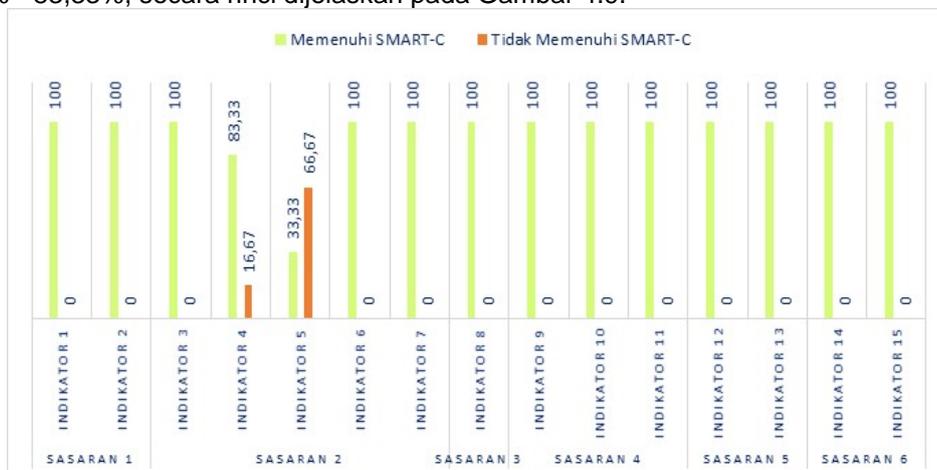


Gambar 8. Persentase Penilaian Sasaran Deputy PTN

Terdapat 5 sasaran dari 6 sasaran memiliki tingkat kesesuaian paling tinggi yaitu sasaran 1, 3, 4, 5 dan 6 sebesar 100%, karena seluruh indikatornya telah memenuhi seluruh kriteria SMART-C. Sedangkan sasaran 2 memiliki tingkat kesesuaian paling kecil sebesar 83,33%.

Hasil analisis kesesuaian indikator terhadap kriteria SMART-C pada Renstra Deputy PTN menunjukkan 13 dari 15 (86,67%) indikator telah memenuhi seluruh kriteria SMART-C yaitu indikator 1 dan 2 pada sasaran 1, indikator 3, 6, dan 7 pada sasaran 2, indikator 8 pada sasaran 3, indikator 9, 10, dan pada sasaran 4, indikator 12 dan 13 pada sasaran 5, indikator 14 dan 15 pada sasaran 6.

Indikator yang memiliki tingkat kesesuaian terendah terhadap sasaran kriteria SMART-C pada Renstra Deputy PTN menunjukkan bahwa indikator 5 sebesar 33,33% dan indikator 4 sebesar 83,33%. Penilaian indikator Deputy PTN memiliki tingkat kesesuaian rendah antara 33,33% - 83,33%, secara rinci dijelaskan pada Gambar 4.9.



Gambar 9. Persentase Penilaian Indikator Deputy PTN

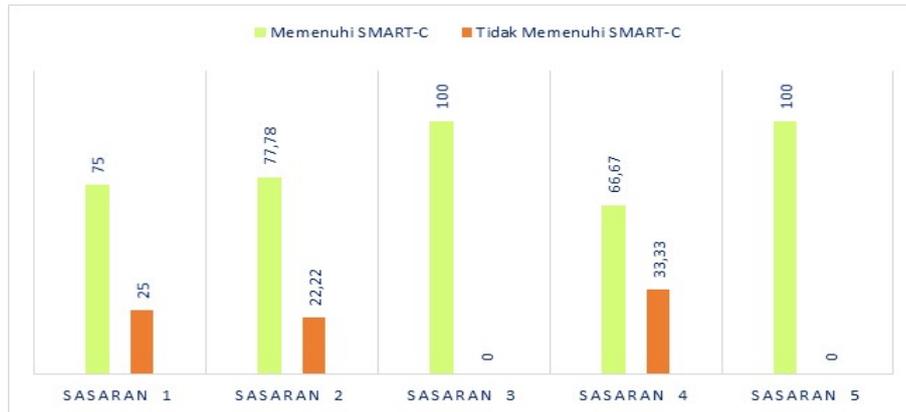
#### Analisis keselarasan antara Indikator dan Sasaran Sestama

Sasaran Renstra Sestama 2015-2019 memiliki 6 Sasaran dan 15 Indikator, disajikan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Indikator dan Sasaran Sestama

SASARAN		INDIKATOR	
1	Meningkatnya kinerja manajemen kelembagaan menuju keunggulan BATAN	1	Jumlah dokumen kerja sama pengguna pusat unggulan iptek BATAN
		2	Jumlah kerja sama yang mengacu pada dokumen Country Programme Framework (CPF) Indonesia - IAEA
		3	Hasil evaluasi akuntabilitas Kinerja BATAN

	SASARAN		INDIKATOR
			dengan predikat Sangat Baik. <i>Catatan:</i> - Hasil penilaian Laporan Kinerja BATAN dengan predikat Sangat Baik - Nilai Lakin oleh kemenpanRB pada tahun N-1
		4	Persentase berkurangnya jumlah temuan yang berindikasi kerugian negara
		5	Hasil penilaian kinerja keuangan dalam opini Wajar Tanpa Pengecualian (WTP)
		6	Jumlah Dokumen Pedoman Penerapan Iptek Nuklir
		7	Jumlah Rancangan Peraturan tentang Clearing House Iptek Nuklir
		8	Indeks Reformasi Birokrasi BATAN. <i>Catatan:</i> - Sestama tidak dimasukan - Penilaian indeks RB-BATAN tahun N-1
2	Meningkatnya kualitas SDM iptek nuklir	9	Akreditasi tiga program studi Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir oleh BAN PT
		10	Jumlah SDM nasional dan regional yang mengikuti pelatihan di bidang nuklir <i>Catatan:</i> Persentase Kelulusan SDM yang mengikuti diklat di bidang nuklir
		11	Jumlah SDM BATAN yang meningkat keahlian dan kompetensinya
3	Meningkatnya jumlah standar di bidang nuklir	12	Jumlah Standar Nasional Indonesia (SNI) bidang nuklir.
		13	Jumlah Standar BATAN (SB) <i>Catatan:</i> Persentase Unit Kerja yang Menerapkan SB
4	Meningkatnya jumlah paten hasil litbangyasa BATAN <i>Catatan:</i> Sasaran ini tidak masuk dalam sestama namun kedeputusan	14	Jumlah paten granted hasil litbangyasa BATAN <i>Catatan:</i> Indikator ini masuk ke indikator masing-masing deputi dengan tidak membatasi hanya paten namun bisa merk, rahasia dagang, hak cipta design industri, pvt dll
5	Meningkatnya kualitas layanan BATAN	15	Indeks Kepuasan Masyarakat (IKM) layanan pendidikan, pelatihan, dan standarisasi <i>Catatan:</i> Indeks Kepuasan Unit Kerja terhadap layanan Settama (Kerjasama, Paten, PVT, Perpu, Etical Clearence, layanan perencanaan, layanan kepegawaian dll)

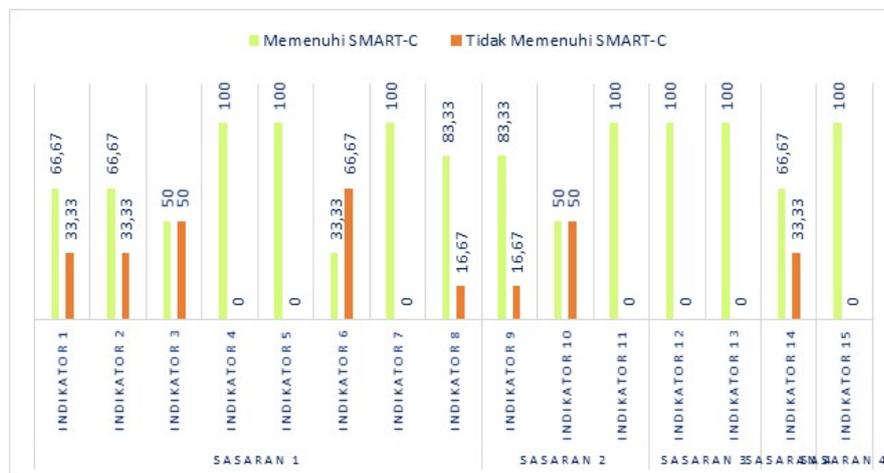


Gambar 4.10. Persentase Penilaian Sasaran Sestama

Terdapat 2 sasaran dari 5 sasaran memiliki tingkat kesesuaian paling tinggi yaitu sasaran 3 dan 5 sebesar 100%, karena indikatornya telah memenuhi seluruh kriteria SMART-C. Sedangkan sasaran 4 memiliki tingkat kesesuaian paling rendah sebesar 66,67%. Tingkat kesesuaian sasaran 1 sebesar 75%, dan sasaran 2 sebesar 77,78%.

Hasil analisis kesesuaian indikator terhadap kriteria SMART-C pada Renstra Sestama menunjukkan 7 dari 15 (46,67%) indikator telah memenuhi seluruh kriteria SMART-C yaitu indikator 4, 5, dan 7 pada sasaran 1, indikator 11 pada sasaran 2, indikator 12 dan 13 pada sasaran 3, indikator 15 pada sasaran 5 sebesar 100%.

Indikator yang memiliki tingkat kesesuaian terendah terhadap sasaran kriteria SMART-C pada Renstra Sestama menunjukkan bahwa indikator 6 sebesar 33,33%, sedangkan kesesuaian rendah lainnya pada indikator 3 dan 10 sebesar 50%, dan indikator 1, 2, dan 14 sebesar 66,67%, indikator 8 dan 9 sebesar 83,33%. Penilaian indikator Sestama memiliki tingkat kesesuaian rendah antara 33,33% - 83,33%, secara rinci dijelaskan pada Gambar 11.



Gambar 4.11. Persentase Penilaian Indikator Sestama

## KESIMPULAN

Persentase indikator Deputy SATN yang memenuhi seluruh kriteria SMART-C adalah sebesar 76,47%, masih ada 4 indikator yang belum memenuhi seluruh kriteria SMART-C, dengan rincian sebagai berikut: (1) Pada sasaran 1, 4, 5, dan 6 Deputy SATN, seluruh indikator memenuhi kriteria SMART-C. (2) Pada sasaran 2 Deputy SATN, indikator belum memenuhi kriteria SMART-C. (3) Pada sasaran 3 Deputy SATN, indikator 5, 7, dan 8 belum memenuhi kriteria SMART-C.

Persentase indikator Deputy TEN yang memenuhi seluruh kriteria SMART-C adalah sebesar 66,67%, masih ada 2 indikator yang belum memenuhi seluruh kriteria SMART-C, dengan rincian sebagai berikut: (1) Pada sasaran 1, 4 dan 5 Deputy TEN, seluruh indikator

memenuhi kriteria SMART-C. (2) Pada sasaran 2 Deputi TEN, indikator belum memenuhi kriteria SMART-C. (3) Pada sasaran 3 Deputi TEN, indikator 3 belum memenuhi kriteria SMART-C.

Persentase indikator Deputi PTN yang memenuhi seluruh kriteria SMART-C adalah sebesar 86,67%, masih ada 2 indikator yang belum memenuhi seluruh kriteria SMART-C, dengan rincian sebagai berikut: (1) Pada sasaran 1, 3, 4, 5, dan 6 Deputi PTN seluruh indikator memenuhi kriteria SMART-C. (2) Pada sasaran 2, indikator 4 dan 5 Deputi PTN belum memenuhi kriteria SMART-C.

Persentase indikator Sestama yang memenuhi seluruh kriteria SMART-C adalah sebesar 46,67%, masih ada 8 indikator yang belum memenuhi seluruh kriteria SMART-C, dengan rincian sebagai berikut: (1) Pada sasaran 3 dan 5 Sestama, seluruh indikator memenuhi kriteria SMART-C. (2) Pada sasaran 1 Sestama, indikator 1, 2, 3, 6 dan 8 belum memenuhi kriteria SMART-C. (3) Pada sasaran 2 Sestama, indikator 9 dan 10 belum memenuhi kriteria SMART-C. (4) Pada sasaran 4 Sestama, indikator 14 belum memenuhi kriteria SMART-C.

## REKOMENDASI

Pada penyusunan sasaran dan indikator Renstra Deputi SATN 2020-2024 periode berikutnya agar dirancang memenuhi kriteria SMART-C. Jika sasaran dan indikator pada periode Renstra 2015-2019 akan digunakan kembali, maka: (1) Pada sasaran 1, 4, 5, 6, 7 dan 8 Deputi SATN, seluruh indikatornya dapat ditinjau kembali. (2) Pada sasaran 2 Deputi SATN, indikator perlu diperbaiki. (3) Pada sasaran 3 Deputi SATN, indikator 5, 7, dan 8 perlu diperbaiki.

Pada penyusunan sasaran dan indikator Renstra Deputi TEN 2020-2024 periode berikutnya agar dirancang memenuhi kriteria SMART-C. Jika sasaran dan indikator pada periode Renstra 2015-2019 akan digunakan kembali, maka: (1) Pada sasaran 1, 4 dan 5 Deputi TEN, seluruh indikatornya dapat ditinjau kembali. (2) Pada sasaran 2 Deputi TEN, indikatornya perlu diperbaiki. (3) Pada sasaran 3 Deputi TEN, indikator 3 perlu diperbaiki.

Pada penyusunan sasaran dan indikator Renstra Deputi PTN 2020-2024 periode berikutnya agar dirancang memenuhi kriteria SMART-C. Jika sasaran dan indikator pada periode Renstra 2015-2019 akan digunakan kembali, maka: (1) Pada sasaran 1, 3, 4, 5, dan 6 Deputi PTN seluruh indikator dapat ditinjau kembali. (2) Pada sasaran 2, indikator 4 dan 5 Deputi PTN perlu diperbaiki.

Pada penyusunan sasaran dan indikator Renstra Sestama 2020-2024 periode berikutnya agar dirancang memenuhi kriteria SMART-C. Jika sasaran dan indikator pada periode Renstra 2015-2019 akan digunakan kembali, maka: (1) Pada sasaran 3 dan 5 Sestama, seluruh indikator dapat ditinjau kembali, (2) Pada sasaran 1 Sestama, indikator 1, 2, 3, 6 dan 8 perlu diperbaiki, (3) Pada sasaran 2 Sestama, indikator 9 dan 10 perlu diperbaiki, (4) Pada sasaran 4 Sestama, indikator 14 perlu diperbaiki.

## UCAPAN TERIMA KASIH, ARIAL 10 BOLD

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kepala Biro Perencanaan Bapak Ir. Ferly Hermana, MM dan Kepala Bagian Evaluasi dan Monitoring Program Bapak Imawan Alfin, SH yang telah mengizinkan untuk melakukan kajian ini. Selain itu penulis juga ingin mengucapkan terima kasih rekan-rekan di Bagian Perencanaan Program dan Evaluasi dan Monitoring Program atas segala bantuan, motivasi serta dukungan, hingga selesainya makalah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Susanto, Nurhadi, Materi pelatihan MAP UGM: Kerangka Regulasi dan Kelembagaan Dalam Renstra K/L. Magister Administrasi Publik UGM, Yogyakarta (2018).
- [2] Internet: <https://www.maxmanroe.com/vid/manajemen/pengertian-perencanaan.html>, pengertian perencanaan.M.Prawiro.
- [3] Wheelen, T.L. and Hunger, D.J., *Strategic management and business policy: Achieving sustainability*, 12th Edition, New Jersey: Prentice – Hall. (2010).
- [4] Arikunto. Suharsimi, 2004, *Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan*, Jakarta: Bumi Aksara.
- [5] Burt & Nanus, 1992, *Visionary Leadership, Creating a compelling sense of direction for your organization*, San Fransisco:Jossey-Bass Publishers.
- [6] Gibson, J.L, Ivan Cevich and Donelly, 1995, *Organisasi dan Manajemen: Perilaku, Struktur, dan Proses*. Jakarta: Erlangga
- [7] Dunn, William N, 2003, *Pengantar Analisis Kebijakan Publik*, Yogyakarta: Gajah Mada University Press

- 
- [8] Goetsch and Davis, 1997, Quality Management for Organizational Excellence: Introduction to Total Quality, 8th Edition, Walton: University of West Florida and Oskaloosa
  - [9] Horton, Paul B; Hunt, Chester L, 1996, Sosiologi, Jakarta: Erlangga
  - [10] Imron, Ali, 2002, Kebijakan Pendidikan di Indonesia, Jakarta: PT Bumi Aksara
  - [11] Kotler, Nawawi, 2000, Kotler, Philip, dan Kevin Lane Keller, 2009, Manajemen Pemasaran Jilid 2, edisi Ketiga Belas, Terjemahan Bob Sabran, MM. Jakarta: Penerbit Erlangga
  - [12] Kuncoro, Mudrajad, 2005, Strategi Bagaimana meraih keunggulan kompetitif, Jakarta: Erlangga
  - [13] Nugroho, Riant. D, 2011, Public Policy: Dinamika Kebijakan-Analisis Kebijakan-Manajemen Kebijakan, Jakarta: PT. Elex Media Komputindo
  - [14] Siagian, Sondang P, 1986, Analisis serta perumusan kebijaksanaan dan strategi organisasi, Jakarta: Gunung Agung
  - [15] Soekanto, Soerjono, 1983, Kamus Sosiologi, Jakarta: CV Rawajali
  - [16] Soemohadiwidjojo, Arini, (2015): Panduan Praktis Menyusun KPI (Key Performance Indicator), Jakarta: Raih Asa Sukses
  - [17] Fred R. David, (2011): Management Strategic Model: New Jersey Prentice Hall Publishing.
  - [18] Undang-Undang Nomor 25 Tahun 2004 tentang Sistem Perencanaan Pembangunan Nasional (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2004 Nomor 104, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 4421);
  - [19] Undang-Undang Nomor 17 Tahun 2007 tentang Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional Tahun 2005-2025.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

---

# **KELOMPOK D2**

---

## STUDI KEBERTERIMAAN STAKEHOLDER BERBASIS MEDIA TERHADAP RENCANA PEMBANGUNAN PLTN DI KALIMANTAN BARAT

Mudjiono<sup>1</sup>, Siti Alimah<sup>1</sup>, Edwaren Liun<sup>1</sup>, Dedy Priambodo<sup>1</sup>, Adhi Nugraha<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN)-BATAN, Jl. Kuningan Barat, Jakarta Selatan, Indonesia

<sup>2</sup> Biro Hukum Humas dan Kerjasama-BATAN, Jl. Kuningan Barat, Jakarta Selatan, Indonesia

email: mudzi@batan.go.id

### ABSTRAK

**STUDI KEBERTERIMAAN STAKEHOLDER BERBASIS MEDIA TERHADAP RENCANA PEMBANGUNAN PLTN DI KALIMANTAN BARAT.** Kebijakan publik adalah suatu rangkaian pilihan yang saling berhubungan yang dibuat oleh lembaga atau pejabat pemerintah pada bidang yang menyangkut tugas pemerintahan, seperti pertahanan keamanan, energi, kesehatan, pendidikan, kesejahteraan masyarakat, kriminalitas, perkotaan dan lain-lain. Pengambilan suatu kebijakan tidak lepas dari keterlibatan Pemangku Kepentingan (*stakeholder*). Rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Kalimantan Barat merupakan kebijakan publik yang kepentingan dan konsekuensinya tidak terlepas dari keterlibatan *stakeholder*. Keberterimaan dan keterkaitan *stakeholder* merupakan unsur yang penting dalam membangun infrastruktur disamping penerimaan masyarakat dan pengambil keputusan (*decision maker*). Studi keberterimaan *stakeholder* terhadap rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat diantaranya dapat dilakukan dengan basis peliputan media baik *online* maupun *offline*. Sebaran pernyataan *stakeholders* di media akan diamati dari bulan Januari 2017 hingga bulan Agustus 2019. Tujuan studi adalah untuk mengetahui gambaran tingkat keberterimaan *stakeholder* terhadap rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat berbasis media. Metode yang digunakan adalah mencermati dan menganalisis pernyataan *stakeholders* di Media. Hasil studi yang diperoleh bahwa keberterimaan *stakeholder* yang terpantau pada media menunjukkan kecenderungan *tone* yang positif sebesar 93,67% dan negatif sebesar 6,33% terhadap rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat.

Kata kunci: keberterimaan, PLTN, *stakeholder*, media

### ABSTRACT

**STUDY OF ACCEPTANCE OF MEDIA-BASED STAKEHOLDER ON PLTN DEVELOPMENT PLAN IN WEST KALIMANTAN.** Public policy is a series of interrelated choices made by government agencies or officials in fields involving governmental tasks, such as defense of security, energy, health, education, public welfare, crime, urban areas and others. Taking a policy cannot be separated from the involvement of stakeholders. The Nuclear Power Plant (NPP) development plan in West Kalimantan is a public policy of interest and the consequences are inseparable from the involvement of stakeholders. The acceptance and relevance of stakeholders is not important in building infrastructure. Besides community acceptance and decision making. The study of stakeholder acceptance of the planned nuclear power plant construction in West Kalimantan was agreed to be carried out on the basis of media coverage both online and offline. The distribution of stakeholder statements in the media will be seen in January 2017 to August 2019. The aim of the study is to determine the level of stakeholder acceptance of the planned nuclear-based nuclear power plant development in West Kalimantan. The method used is to examine and analyze consenting stakeholders in the media. The study results obtained that stakeholder acceptance monitored in the media showed a positive tendency of 93.67% and negative 6.33% towards the planned construction of the NPP in West Kalimantan.

Keyword: acceptance, NPP, stakeholder, media

### PENDAHULUAN

Pro dan kontra terhadap rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Kalimantan Barat menjadi bahasan yang menarik di tengah-tengah masyarakat, terutama mengenai keselamatan dan keamanan dari PLTN[1]. Kekhawatiran masyarakat

muncul apabila PLTN tersebut mengalami kebocoran yang akan merusak alam yang berada di sekitarnya.

Disisi lain, media telah melaporkan tingkat penerimaan masyarakat Indonesia terhadap rencana pembangunan PLTN pada tahun 2016 sebesar 77,53% dengan responden sebanyak 4.000 meliputi 34 propinsi. Bila dibanding tahun sebelumnya ada peningkatan penerimaan yaitu pada tahun 2011 sebesar 49,5%, tahun 2012 (52,9%), 2013 (64,1%), 2014 (72 %), dan 2015 (75,3%). Hasil tingkat penerimaan ini memberikan gambaran bahwa masyarakat Indonesia mendukung terhadap rencana pembangunan PLTN di Indonesia. *Tren* positif terhadap tingkat penerimaan masyarakat sejak kecelakaan PLTN Fukushima pada tahun 2011 tersebut memberikan pijakan yang kuat terhadap program nuklir di Indonesia[2-9].

Pembangunan PLTN akan melibatkan Pemangku Kepentingan (*stakeholder*) dalam segala tingkatan di sebuah institusi manapun akan memiliki pengaruh yang penting bagi keberlangsungan manfaat kepada institusi ataupun lembaga[10]. Secara etimologi bahwa *stakeholder* merupakan sebuah frasa yang terbentuk dari dua buah kata, *stake* dan *holder*. Secara umum, kata *stakeholder* dapat diterjemahkan dengan pemangku kepentingan[11]. Berdasarkan penjabaran diatas, secara garis besar konsep *stakeholder* sebagai individu atau organisasi baik profit maupun non profit yang memiliki kepentingan dengan lembaga sehingga dapat mempengaruhi atau dipengaruhi oleh pencapaian tujuan lembaga. Selain itu, *stakeholder* semua pihak baik internal maupun eksternal yang memiliki hubungan mempengaruhi maupun dipengaruhi, bersifat langsung maupun tidak langsung oleh lembaga[12].

Salah satu cara untuk mengetahui pengaruh *stakeholder* terhadap rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat dengan mengamati pernyataan-pernyataan yang dikemukakan melalui media massa baik *offline* maupun *online*. Dengan mengikuti kecenderungan *stakeholder* terhadap rencana pembangunan PLTN akan dapat dipetakan *tone* yang dinarasikan.

## POKOK BAHASAN

### Stakeholder dan Keberterimaan

Sebagaimana yang dilaporkan dalam laman *maxmanroe* bahwa *Stakeholder* dapat dikelompokkan berdasarkan kekuatan, posisi, dan pengaruhnya. Klasifikasi *stakeholder* utama (*Primer*) akan berhubungan langsung dengan pembuatan kebijakan, program, dan proyek. Mereka merupakan penentu utama dalam kegiatan pengambilan keputusan[13]. Sedangkan *Stakeholder* Pendukung (*Sekunder*) adalah pihak yang tidak berkaitan langsung terhadap suatu kebijakan, program, dan proyek. Dalam rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat, *stakeholder* utama adalah Pemerintah, Swasta, dan Masyarakat. Kelompok inilah yang nantinya akan berinteraksi langsung terhadap dampak dan manfaat yang bisa diperoleh dalam pembangunan PLTN[14]. Pemerintah menurut pandangan Richard A. Musgrave dibedakan menjadi tiga fungsi dan tujuan kebijakan anggaran belanja pemerintah[15], yaitu:

1. Fungsi Alokasi (*Allocation Branch*) yaitu fungsi pemerintah untuk menyediakan pemenuhan untuk kebutuhan Publik (*public needs*)
2. Fungsi Distribusi (*Distribution Branch*) yaitu fungsi yang dilandasi dengan mempertimbangkan pengaruh sosial ekonomis; yaitu pertimbangan tentang kekayaan dan distribusi pendapatan, kesempatan memperoleh pendidikan, mobilitas sosial, struktur pasar. Macam-ragam warga negara dengan berbagai bakatnya termasuk tugas fungsi tersebut.
3. Fungsi Stabilisasi (*Stabilizaton Branch*) yaitu fungsi menyangkut usaha untuk mempertahankan kestabilan dan kebijaksanaan- kebijaksanaan yang ada. Disamping itu, fungsi ini bertujuan untuk mempertahankan kestabilan perekonomian (*stabilisator* perekonomian)(Guritno, 2000:2).

Swasta atau pengusaha merupakan pihak yang berkepentingan langsung dengan ketersediaan listrik yang stabil dan memadai. Swasta yang bergerak di bidang industri, disamping memperoleh manfaat langsung listrik untuk keperluan perusahaan, juga dapat berperan dalam pembangunan hingga pengoperasian PLTN sebagaimana yang ditargetkan. Sedangkan masyarakat yang akan memperoleh manfaat pemakaian listrik untuk

keperluan sehari-hari. Masyarakat adalah kelompok yang akan terkena dampak dan mendapat manfaat dari suatu kebijakan, proyek, dan program.

Stakeholder Pendukung mempunyai posisi menyuarakan keprihatinan dan kepedulian sehingga ikut menyampaikan pandangan yang dapat mempengaruhi sikap stakeholder utama dan keputusan legal pemerintah[13]. Katagori stakeholder dalam hal ini seperti lembaga pemerintah namun tidak bertanggungjawab langsung, atau lembaga pemerintah yang tidak mempunyai hubungan permasalahan secara langsung, Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) dan Akademisi.

### Media

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), arti kata media adalah alat; sarana komunikasi seperti koran, majalah, radio, televisi, film, poster, dan spanduk; yang terletak di antara dua pihak (orang, golongan, dan sebagainya); perantara; penghubung. Sedangkan Media Massa adalah sarana dan saluran resmi sebagai alat komunikasi untuk menyebarkan berita dan pesan kepada masyarakat luas[16]. Menurut Faranita Surwi, ddk, kata media merupakan bentuk jamak dari kata medium. Medium dapat didefinisikan sebagai perantara atau pengantar terjadinya komunikasi dari pengirim menuju penerima[17]. Sedangkan menurut Asep Syamsul M. Romli dalam buku Jurnalistik Online: Panduan Mengelola Media Online (Nuansa, Bandung, 2012) mengartikan media online sebagai berikut: media *online* adalah media massa yang tersaji secara online di situs web (*website*) internet[18]. Berita di media dapat berdampak secara psikologi, gaya hidup, dan opini masyarakat. Setiap perilaku dan pola pikir masyarakat salah satunya dipengaruhi oleh pemberitaan di media massa. Sehingga jika pemberitaan itu tidak baik maka secara tidak langsung opini dan perilaku masyarakat juga akan terpengaruh[19-22].

Nada tulisan (*tone of writing, tone in writing*) adalah "intonasi" kata atau kalimat dalam tulisan[23]. *Tone* dalam nada pemberitaan dapat positif, negatif atau netral. Positif bila ada penjelasan lebih rinci "dukungan" tentang program/*event* perusahaan/lembaga yang diberitakan. Netral bila beritanya hanya sekilas, tidak rinci. Negatif bila isi berita itu tidak sesuai dengan harapan perusahaan atau memberitakan permasalahan yang menjadi permasalahan sebuah perusahaan[24].

### METODOLOGI

Metode yang digunakan adalah studi literatur dan pengumpulan data sekunder terkait permasalahan, selanjutnya dinalisis keberterimaan stakeholder terhadap rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat dengan mengamati pernyataan-pernyataan di media. Dalam studi ini, yang ditinjau adalah kecenderungan *tone* stakeholder yang dinarasikan pada media baik *offline* maupun *online* terhadap rencana pembangunan PLTN.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan media terhadap liputan rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat diketahui sebanyak 79 kali pemberitaan dalam kurun waktu 2 tahun yaitu tahun 2018 dan 2019. Media yang melakukan pemberitaan baik cetak maupun elektronik dengan melibatkan berbagai stakeholder terkait. Praktis untuk tahun 2017 tidak ditemui pemberitaan rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat. Stakeholder yang telah menarasikan pernyataan di media terjaring sebanyak 21 orang/Lembaga dengan latar belakang tugas dan fungsi yang berbeda baik masyarakat biasa, swasta maupun Lembaga pemerintah. Hasil pengamatan liputan pernyataan stakeholder di media ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah Liputan Pernyataan Stakeholders di Media

Pemberitaan Per Tahun	Tahun / Jumlah Media			Jumlah Stakeholders
	2017	2018	2019 (s/d Agustus)	
	0	21	58	21
Prosentase	0	26,58%	73,42%	

Pantauan pemberitaan tentang rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat secara detail ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil pantauan media diperoleh bahwa pada tahun 2017 secara praktis tidak ditemukan, sedangkan pada tahun 2018 diperoleh 21 kali yang tersebar di bulan Oktober, Nopember dan Desember. Pada tahun 2019 sebanyak 58 kali pemberitaan yang diliput media yang terbit setiap bulan, hingga puncaknya pada bulan Agustus terpantau 33 kali pemberitaan. Hasil ini menunjukkan bahwa terjadi penguatan pembicaraan tentang rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat di tahun 2019 sebesar 73,42% dibanding tahun 2018 hanya 26,58%.



Gambar 1. Pemberitaan rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat yang diliput oleh media dari tahun 2018 hingga Agustus 2019.

Bila ditinjau dari stakeholder yang membicarakan rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat terpantau 21 stakeholder dengan sebaran sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2 yang meliputi 10 Lembaga Pemerintah, 2 Perguruan Tinggi, 4 Organisasi Massa (LSM), 1 Partai Politik, 1 dari unsur swasta, dan 3 dari kalangan masyarakat biasa. Hasil analisis terhadap substansi pernyataan stakeholder diperoleh bahwa kecenderungan *tone* positif sebesar 93,67%, sedangkan nada *tone* negatif sebesar 6,33%. Pernyataan positif dari stakeholder bahwa keberadaan PLTN untuk memenuhi kebutuhan energi listrik saat ini dan rencana ke depan, sedang *tone* negatif karena kekhawatiran terhadap kebocoran radiasi dan berpendapat masih ada energi lain yang bisa dimanfaatkan.

Tabel 2. Sebaran Stakeholder dan *Tone* Pemberitaan

NO	STAKEHOLDER	2017	2018			2019								Jumlah Pemberitaan	Tone
			Okt	Nop	Des	Jan	Peb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agust		
1	Komis VII DPR RI	-	5	4	-	-	6	-	-	-	-	-	-	15	Positif
2	DPRD Kalbar	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	1	5	Positif
3	Ketua DPD	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	-	19	21	Positif
4	Sesjen DPD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	Positif
5	Kemenristekdikti, Staf Ahli	-	-	-	1	1	-	-	-	3	1	1	3	10	Positif
6	Gubernur Kalbar	-	-	2	-	-	-	-	-	1	1	2	-	6	Positif
7	Bupati Kubu Raya Kalbar, Rusman Ali	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	Positif
8	Balitbangda Pemprov Kalbar	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	2	Positif
9	Wahli	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	Negatif
10	Walhi Kalbar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	3	Negatif
11	Bidang Energi dan SDM (KEIN), Zulnihar Umar	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	Positif
12	Thorcon Internasional	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	Positif
13	Perhimpunan Ahli Pertambangan Indonesia (PERHAPI)	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	Positif
14	Universitas Tanjungpura, Dekan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	2	Positif
15	Partai Golkar	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	3	Positif
16	HIMNI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	Positif
17	Universitas Negeri Semarang (UNNES)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	Positif
18	Pengamat Energi Mamit Setiawan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	Positif
19	BAPETEN	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	Positif
20	Anggota Masyarakat, YA (Inisial)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	Negatif
21	Anggota Masyarakat, Wijanarko, Alumni STTN Yogyakarta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	Positif

Jumlah Liputan di Media Per Bulan	0	5	8	8	1	6	2	3	6	3	4	33
-----------------------------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Jumlah Total Liputan Selama Pengamatan (3 tahun)	79	Tone Positif = 93,67%	Tone Negatif = 6,33%
--	----	-----------------------	----------------------

## KESIMPULAN

Dari hasil analisis media dapat disimpulkan bahwa pernyataan stakeholder terhadap rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat terpantau 79 kali pemberitaan dalam kurun waktu 3 tahun yaitu tahun 2017 s/d 2019. Terdapat 21 stakeholder yang mengeluarkan pernyataan terhadap rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat, meliputi 10 Lembaga Pemerintah, 2 Perguruan Tinggi, 4 Organisasi Massa (LSM), 1 Partai Politik, 1 dari unsur swasta, dan 3 dari kalangan masyarakat biasa. Secara dominan bahwa stakeholder yang diamati dengan berbasis media menunjukkan keberterimaan terhadap rencana pembangunan PLTN di Kalimantan Barat, dengan kecenderungan **tone positif** sebesar 93,67%. Sedangkan dengan **tone negatif** sebesar 6,33%. Pernyataan positif dari stakeholder bahwa keberadaan PLTN untuk memenuhi kebutuhan energi listrik saat ini dan rencana ke depan, sedang **tone negatif** karena kekhawatiran terhadap kebocoran radiasi dan berpendapat masih ada energi lain yang bisa dimanfaatkan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Kepala Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir yang telah memberikan ruang dalam penelitian ini, khususnya kepada Kepala Bidang Kajian Data Tapak yang telah memberikan pengarahan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan sesama peneliti yang telah memberikan sumbangsih data dan analisis sehingga dapat dikomunikasikan dalam bentuk makalah.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] ELGIANTS, "Pro Kontra Pembangunan PLTN di Kalbar", Suara Pemred Kalbar, 23 Agustus 2019 10:00
- [2] <https://www.suarapemredkalbar.com/berita/bengkayang/2019/08/23/pro-kontra-pembangunan-pltn-di-kalbar>.
- [3] "BATAN Klaim 77,53 Persen Masyarakat Dukung PLTN", Itech Magazine, 10 Januari 2017
- [4] <http://itechmagz.com/2017/01/10/batan-klaim-7753-persen-masyarakat-dukung-pltn/>
- [5] "Hasil Survei PLTN Sebut Masyarakat Inginan Listrik Murah", Warta10, 10 Januari 2017,
- [6] <http://nasional.warta10.com/hasil-survei-pltn-sebut-masyarakat-inginan.105338.html>
- [7] "Dukungan Masyarakat Terhadap Pembangunan PLTN Naik Jadi 77,53%", OG Indonesia, 10 Januari 2019,
- [8] <http://www.og-indonesia.com/2017/01/dukungan-masyarakat-terhadap.html?m=1>
- [9] "77,53 Persen Masyarakat Dukung Pembangunan PLTN", Cakrawala News, 10 Januari 2017,
- [10] [http://drive.batan.go.id/gunber/2017/2017-01-10%20www.cakrawalanews.co.id\\_Masyarakat%20Dukung%20Pembangunan%20PLTN.pdf](http://drive.batan.go.id/gunber/2017/2017-01-10%20www.cakrawalanews.co.id_Masyarakat%20Dukung%20Pembangunan%20PLTN.pdf)
- [11] "77,53% Masyarakat Indonesia Dukung Pembangunan PLTN", Warta Ekonomi, 10 Januari 2017,
- [12] <http://wartaekonomi.co.id/berita126918/7753-masyarakat-indonesia-dukung-pembangunan-pltn%C3%82%C2%A0.html>
- [13] Hasil Survei PLTN Sebut Masyarakat Inginan Listrik Murah", Sinar Indonesia Baru, 11 Januari 2017.
- [14] <http://hariansib.co/view/Dalam-Negeri/149394/Hasil-Survei-PLTN-Sebut-Masyarakat-Inginkan-Listrik-Murah.html>
- [15] HARY,"Survei : 77,53% Masyarakat Dukung Keberadaan PLTN", Jakartakita.com, 11 Januari 2017
- [16] <http://jakartakita.com/2017/01/11/survei-7753-masyarakat-dukung-keberadaan-pltn/>
- [17] "77,53 Persen Masyarakat Dukung Pembangunan PLTN", 11 Januari 2017, Koransulindo.com
- [18] <http://koransulindo.com/7753-persen-masyarakat-dukung-pembangunan-pltn/>
- [19] MUNWAROH dan KHOLIFATUL,"Koordinasi Multistakeholder dalam Proses Rekrutmen Buruh Migran Asal Kabupaten Lampung Timur (studi tentang Koordinasi Multistakeholder di Kecamatan Way Jepara, Kabupaten Lampung Timur)", Tugas Akhir, Bandar Lampung: Universitas Lampung. Hlm.32- 33, 2016.
- [20] <https://translate.google.com/#view=home&op=translate&sl=en&tl=id&text=stakeholder>

- [21] SISKI OKTAVIA dan AHARUDDIN, "Hubungan Peran Stakeholders Dengan Partisipasi Masyarakat Dalam Program Agropolitan Desa Karacak Kecamatan Leuwiliang Kabupaten Bogor", *Sodality : Jurnal Sosiologi Pedesaan*, Desember 2013, hlm : 231-246
- [22] "Pengertian Stakeholder: Klasifikasi, Peran dan Fungsi Stakeholder",  
[23] [<https://www.maxmanroe.com/vid/organisasi/pengertian-stakeholder.html>]
- [24] "Diskusi Pemangku Kepentingan Mengenai Pengembangan Energi di Kalimantan Barat", <https://www.bapeten.go.id/berita/diskusi-pemangku-kepentingan-mengenai-pengembangan-energi-di-kalimantan-barat-101551>
- [25] "Fungsi Pemerintah", <http://pemerintah.net/fungsi-pemerintah/>
- [26] "Kamus Besar bahasa Indonesia", <https://kbbi.web.id/media>
- [27] FARANITA SURWI, dkk., "Pengembangan Media Pembelajaran Pada Mata Kuliah Pembangkit Tenaga Listrik", Laporan Penelitian, Fakultas Teknik Universitas Negeri Yogyakarta, 207
- [28] "Perbedaan Media Online, Website, Media Sosial, dan Jejaring Sosial",  
[29] <https://www.baticmedia.com/2015/05/perbedaan-media-online-website-media.html>
- [30] SAID LESTALUHU, "Peran Media Cetak Dalam Mengawal Kebijakan Publik Di Kota Ambon, *Jurnal Penelitian Komunikasi dan Opini Publik* Vol. 19 No. 1, April 2015: 01-15
- [31] "Media Sebagai Kontrol Sosial", *Liputan 6*, 10 Jan 2014,  
[32] <https://www.liputan6.com/citizen6/read/797200/media-sebagai-kontrol-sosial>
- [33] "9 Fungsi Pers Dalam Media Kontrol Sosial",  
[34] <https://pakarkomunikasi.com/fungsi-pers-dalam-media-kontrol-sosial>
- [35] MARYAM S.P, "Perang Media Massa Sebagai Kontrol Sosial", 27 Oktober 2014,  
[36] <http://artikel-opiniku.blogspot.com/2014/10/peran-media-massa-sebagai-kontrol-sosial.html>
- [37] "Pengertian dan Jenis-Jenis Nada Tulisan", *Romeltea Media*, 20 Januari 2019,  
[38] <https://www.romelteamedia.com/2019/01/pengertian-dan-jenis-jenis-nada-tulisan.html?m=0>
- [39] "Media Content Analysis "Versi" Public Relations (2)", 19 Desember 2010,  
[40] <https://imultidimensi.wordpress.com/2010/12/19/media-content-analysis-versi-public-relations-2/>
- [41] EDHY ARUMAN, "Agenda Media, Publik, dan Public Relations", 10 Juli 2018,  
[42] <https://mix.co.id/corcomm-pr/agenda-media-publik-dan-public-relations/>

## STUDI MANAJEMEN PENGETAHUAN NUKLIR (MPN) PADA SUMBER DAYA MANUSIA DI BIDANG KETENAGANUKLIRAN

**Jepri Sutanto, A. Bayu Purnomo**

*Pusat Standardisasi dan Mutu Nuklir (PSMN-BATAN), Kawasan Puspiptek Gd.71,  
Setu, Tangerang Selatan, 15314  
email: jepri@batan.go.id*

### ABSTRAK

**STUDI MANAJEMEN PENGETAHUAN NUKLIR (MPN) PADA SUMBER DAYA MANUSIA DI BIDANG KETENAGANUKLIRAN.** Manajemen pengetahuan nuklir merupakan konsep pendekatan sistematis terpadu yang diterapkan pada semua siklus pengetahuan nuklir yang berdampak pada sumber daya manusia, teknologi informasi dan komunikasi, proses dan sistem manajemen dokumen. Orang atau sumber daya manusia (SDM) memainkan peran kunci dalam kegiatan manajemen pengetahuan. Pelestarian SDM yang berkompeten sangat diperhitungkan dan harus dipertahankan karena tertanggal 4 Juli 2019, SDM BATAN berjumlah 2.422 pegawai dan akan berkurang drastis berdasarkan kompetensi 892 pegawai pada periode 2019-2024. Studi MPN pada SDM membantu dan melestarikan pendidikan dan pelatihan nuklir disemua bidang teknologi nuklir untuk tujuan damai, mengembangkan dan menerapkan program MPN, serta membagi (*sharing*) dan melestarikan pengetahuan nuklir. Metode yang digunakan dengan membuat matriks analisis pemetaan pengetahuan dan penilaian risiko kehilangan kompetensi. Pemetaan kompetensi personel tertuang pada Keputusan Kepala BATAN Nomor 123/KA/III/2018 tentang kompetensi BATAN. Studi MPN pada SDM dalam upaya mengkondisikan agar seluruh rangkaian kegiatan ketenaganukliran berlangsung aman, selamat dan bermanfaat.

Kata kunci: kompetensi, sumber daya manusia, MPN, ketenaganukliran, risiko

### ABSTRACT

**STUDY OF NUCLEAR KNOWLEDGE MANAGEMENT (NKM) TO HUMAN RESOURCES IN NUCLEAR FIELD.** Concept of NKM, as integrated, systematic approach applied to all stages of nuclear knowledge cycle. It impacts human resources, information and communication technology, processes and document management systems. People or human resources (HR) play key role in knowledge management activities. HR preservation with competencies take into account and must be maintained because in July 4, 2019, BATAN's HR is 2.422 employees and will be drastically reduced based on the competence of 892 employees in the 2019-2024 period. Study of NKM to assist to foster and preserve nuclear education and training in all areas of nuclear technology for peaceful purposes, develop and implement knowledge management program, as well as share and preserve nuclear knowledge. The method used by creating a matrix of knowledge mapping analysis and risk loss competency assessment. Mapping of personnel competencies is stated in the decision of the Head of BATAN No. 123/KA/III/2018 regarding the competence of BATAN. Study of NKM on HR makes efforts to condition that the entire series of nuclear activities are secure, safe, and useful.

Keyword: competence, human resources, NKM, nuclear, risk

### PENDAHULUAN

Para filsuf telah memperdebatkan definisi pengetahuan selama lebih dari 2500 tahun - apa itu Manajemen Pengetahuan (MP), bagaimana MP diperoleh, bagaimana MP ditingkatkan dan bagaimana MP diterapkan dalam kehidupan. Seringkali pembahasan tentang makna dan karakteristik pengetahuan menjadi agak abstrak. Sebagai peran pengetahuan dalam kemajuan manusia, pada tingkat individu dan organisasi, menjadi jelas, konsep pengetahuan sebagai sumber daya atau aset mulai terbentuk.

Sejak awal 1960-an dan ahli teori manajemen awal tahun 1970-an mulai melihat pentingnya pengetahuan yang berkaitan dengan organisasi. Mereka menekankan bahwa orang adalah sumber daya organisasi yang paling berharga dan bahwa tugas seorang

manajer adalah mempersiapkan mereka melalui pendidikan, pengembangan [6], dan pelatihan yang berkelanjutan [6]; selain membebaskan mereka untuk tampil dalam jaringan, daripada menempatkan mereka dalam hierarki yang ketat. (P. Drucker, J. Collins, P. Kotler, J. Kouzes, J. Rodin, V. Rangan, F. Hesselbein, 2008). Selama tahun 1980-an, pengetahuan mulai menjadi aset nyata dalam bisnis. Artikel tentang manajemen pengetahuan mulai muncul di jurnal dan buku.

Selama awal 1990-an organisasi, yang sebelumnya dianggap hanya sumber daya alam sebagai aset, mulai menyadari pentingnya aset intelektual. Budaya organisasi, yang sebelumnya telah sedemikian rupa sehingga pengetahuan ditimbun, mulai secara sistematis meruntuhkan hambatan dan proses di tempat dan mulai mengembangkan pendekatan [2] untuk berbagi pengetahuan. Akibatnya, studi tentang bagaimana pengetahuan diperoleh, digunakan, dan dibagikan menjadi subjek yang harus dipahami.

Menjadi jelas bahwa orang-orang yang paling berharga bagi organisasi adalah mereka yang menciptakan dan mengumpulkan pengetahuan. Nilai orang-orang ini sangat berperan dalam menentukan keberhasilan organisasi. Fokusnya kemudian menjadi cara membuat prosedur dan menciptakan budaya di mana pengetahuan tentang individu dan organisasi dibagi. Sistem manajemen pengetahuan nuklir yang efektif harus menggabungkan tiga elemen utama: manusia, proses dan teknologi yang beroperasi dalam budaya organisasi yang mengakui nilai pengetahuan nuklir. Orang atau sumber daya manusia (SDM) memainkan peran kunci dalam kegiatan manajemen pengetahuan. Penciptaan pengetahuan nuklir, penyebarannya, berbagi, transfer dan aplikasi hanya dapat dicapai oleh orang-orang yang memiliki keterampilan, pengalaman, sikap dan motivasi yang tepat.

Sejauhmana energi nuklir dapat mencapai potensinya untuk berkontribusi disemua bidang bergantung pada ketersediaan SDM yang sesuai dengan kompetensi. Kompetensi BATAN tertuang dalam keputusan kepala BATAN Nomor 123/KA/III/2018 [1] dan didukung dengan adanya Lembaga Sertifikasi Person (LSP-BATAN 010-IDN) [13] untuk mengeluarkan sertifikat keahlian.

## **POKOK BAHASAN**

Sistem manajemen pengetahuan nuklir [6,8] yang efektif harus menggabungkan tiga elemen utama yaitu manusia, proses dan teknologi, beroperasi dalam budaya organisasi yang mengakui nilai pengetahuan nuklir. Orang atau sumber daya manusia (SDM) memainkan peran kunci dalam kegiatan manajemen pengetahuan khususnya di bidang nuklir. Penciptaan pengetahuan nuklir, penyebarannya, berbagi, transfer dan aplikasi hanya dapat dicapai oleh orang-orang yang memiliki keterampilan, pengalaman, sikap dan motivasi yang tepat.

Memiliki pengetahuan berarti memiliki kemampuan untuk memperoleh, memahami, dan memberi makna pada informasi dan fakta. Perlunya pemahaman mengenai pengetahuan implisit, eksplisit dan tacit. Pengetahuan implisit adalah pengetahuan yang dipegang dalam pikiran seseorang, pengetahuan yang belum ditangkap atau ditransfer dalam bentuk apapun. Pengetahuan yang dibawa orang di kepala mereka. Pengetahuan eksplisit adalah pengetahuan yang telah diartikulasikan atau telah dikodifikasikan dalam beberapa bentuk. Pengetahuan eksplisit terkandung dalam dokumen, gambar, perhitungan, desain, basis data, prosedur dan manual [9]. Pengetahuan eksplisit dapat dengan mudah ditransfer ke orang lain. Pengetahuan tacit sebagai pengetahuan yang sepenuhnya diwujudkan dalam individu dan berakar dalam praktik, pengalaman, intuisi dan keterampilan individu yang sulit atau bahkan tidak mungkin untuk menginglat, mengartikulasikan dan mentransfer.

## **METODOLOGI**

Metodologi yang digunakan dengan membuat matriks analisis pemetaan pengetahuan dan penilaian risiko kehilangan kompetensi. Matriks analisis pemetaan pengetahuan berisi nama proses/kegiatan, pengetahuan yang dibutuhkan, pemilik pengetahuan, pihak yang memerlukan, lokasi pengetahuan, jenis pengetahuan (tacit atau eksplisit) serta rutin atau tidak rutin dalam pelaksanaannya. Sedangkan kan untuk risiko kehilangan kompetensi. Matriks analisis pemetaan pengetahuan (*knowledge mapping*) dan penilaian risiko kehilangan kompetensi ditunjukkan pada Lampiran. Pemetaan pengetahuan diperlukan Teknik pemetaan konsep yang dikembangkan oleh Prof Joseph D. Nonack dari Cornell University (Novak, J.D, 1998) sebagai salah satu metode grafis yang paling efektif untuk memperoleh dan mewakili pengetahuan tacit.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data matriks analisis pemetaan pengetahuan dikumpulkan dari setiap unit kerja di BATAN dengan mengisi Tabel 1 sesuai dengan kondisi sebenarnya, lalu dilakukan penilaian risiko kehilangan kompetensi sesuai Tabel 2.

Tabel 1. Format Matriks analisis pemetaan pengetahuan (*knowledge mapping*)

Nama proses	Pengetahuan yang dibutuhkan	Pemilik pengetahuan	Pihak yang memerlukan	Lokasi pengetahuan	Tacit atau eksplisit	Rutin atau tidak rutin
-------------	-----------------------------	---------------------	-----------------------	--------------------	----------------------	------------------------

Matriks analisis pemetaan pengetahuan digunakan untuk melihat realita pengetahuan yang dibutuhkan dan siapa saja pemilik pengetahuan tersebut, apakah bersifat tacit atau eksplisit dan dilakukan secara rutin atau tidak rutin. Dari data yang sudah dikumpulkan terdapat >100 pengetahuan yang pemiliknya mendekati masa pension. Oleh karena itu perlunya penilaian risiko untuk dapat di *capture* pengetahuan tersebut.

Penilaian risiko dilakukan untuk mengidentifikasi ancaman kehilangan pengetahuan tertentu. Manajemen risiko kehilangan pengetahuan [3] diperlukan dengan memenuhi tiga langkah berikut ini yaitu, melakukan penilaian risiko, mengembangkan rencana aksi [11] untuk mempertahankan pengetahuan dan memantau serta mengevaluasi rencana aksi dan prioritas. Tiga langkah tersebut dikembangkan untuk mengidentifikasi dan menangkap pengetahuan kritis dan penting yang tidak terdokumentasi di BATAN. Hasil langkah-langkah ini dapat digunakan untuk meningkatkan keterampilan dan kompetensi karyawan baru dan yang sudah ada di BATAN.

Tabel 2. Format Asessmen risiko kehilangan kompetensi [12]

No.	Kompetensi	1	2	3	4	5	6	7
	Kebutuhan/ Tersedia	x y						

Penilaian risiko kehilangan pengetahuan dirancang untuk mengidentifikasi posisi/orang yang kehilangan pengetahuan paling dekat atau terbesar termasuk faktor waktu hingga pensiun dan kekritisan posisi. Pengukuran risiko kehilangan pengetahuan kritis [12] didasarkan pada dua faktor, yaitu faktor risiko atrisi dan faktor risiko posisi (kekritisan pengetahuan dan keterampilan).

Kriteria faktor risiko atrisi sebagai berikut:

- 5 Tanggal atrisi yang diproyeksikan dalam tahun fiskal saat ini atau tahun fiskal berikutnya
- 4 Tanggal atrisi yang diproyeksikan dalam tahun fiskal ketiga
- 3 Tanggal atrisi yang diproyeksikan dalam tahun fiskal keempat
- 2 Tanggal atrisi yang diproyeksikan dalam tahun fiskal kelima
- 1 Tanggal atrisi yang diproyeksikan dalam (atau lebih dari) tahun fiskal keenam

Kriteria faktor risiko posisi didasarkan pada pengetahuan/keterampilan yang unik/kritis yang dimiliki oleh karyawan dan perkiraan kesulitan atau kinerja untuk mengisi ulang posisi. Saat menjalankan tugas, pimpinan harus mempertimbangkan tanggung jawab dan latar belakang masing-masing karyawan terkait peran dan tugas serta pemecahan masalah.

Faktor Risiko Posisi menggunakan kriteria yang tercantum di bawah ini.

- **5** Pengetahuan atau keterampilan yang penting dan unik. Misi pengetahuan/keterampilan kritis dengan potensi keandalan atau dampak keselamatan yang signifikan. Membutuhkan pelatihan dan pengalaman selama 3-5 tahun. Tidak ada pengganti yang tersedia.
- **4** Pengetahuan dan keterampilan kritis. Misi pengetahuan/keterampilan kritis. Membutuhkan pelatihan dan pengalaman selama 2–4 tahun.
- **3** Pengetahuan dan keterampilan yang penting dan tersistematisasi. Dokumentasi ada dan/atau personel lain di tempat memiliki pengetahuan/keterampilan. Rekrut biasanya tersedia dan dapat dilatih dalam 1-2 tahun.
- **2** Pengetahuan dan keterampilan kritis prosedural atau non-misi. Program pelatihan dapat diselesaikan dalam waktu kurang dari setahun.
- **1** Pengetahuan dan keterampilan umum. Karyawan eksternal yang memiliki pengetahuan/keterampilan sudah tersedia dan memerlukan sedikit pelatihan tambahan.

Faktor risiko total memberikan penilaian keseluruhan risiko atrisi terkait dengan kehilangan pengetahuan. Faktor risiko total karyawan ditentukan berdasarkan pedoman yang diberikan di bawah ini.

- **20-25 Prioritas tinggi** - tindakan segera diperlukan. Rencana tindakan penggantian khusus dengan tanggal jatuh tempo akan dikembangkan untuk mencakup: rencana retensi pengetahuan, penilaian manajemen pengetahuan, pelatihan khusus, pelatihan di tempat kerja para senior
- **16 - 19 Prioritas** - rencana kepegawaian harus ditetapkan untuk membahas metode dan waktu penggantian, upaya perekrutan, pelatihan dari pemegang jabatan saat ini.
- **10 - 15 Sangat penting** - pertimbangan diberikan untuk bagaimana posisi akan diisi dan pekerjaan diselesaikan. Perekrutan perguruan tinggi, program pelatihan, perbaikan proses, reinvestasi.
- **1 - 9 Penting** - pengakuan fungsi posisi dan penentuan kebutuhan pengganti.

Setiap tim manajemen organisasi dan/atau unit kerja harus secara kolektif meninjau hasil dari penilaian risiko. Pengalaman telah menunjukkan bahwa tinjauan kritis terhadap Faktor Risiko Posisi yang ditugaskan oleh pimpinan penting dalam memastikan peringkat yang akurat. Seringkali ada kecenderungan untuk menilai karyawan berkinerja tinggi memiliki pengetahuan dan keterampilan yang unik dan penting. Tingkat kinerja yang tinggi bukanlah dasar untuk Faktor Risiko Posisi yang tinggi (peringkat 5) dan peringkat tersebut harus diubah. Setelah menyelesaikan tinjauan kolektif, tim manajemen mengidentifikasi di mana diperlukan rencana retensi pengetahuan dan memberikan tanggung jawab untuk pengembalian

Pelestarian SDM yang berkompeten sangat diperhitungkan dan harus dipertahankan. SDM BATAN saat ini (Juli 2019) berjumlah 2.422 pegawai dan akan berkurang drastis berdasarkan kompetensi 892 pegawai pada periode 2019-2024. BATAN saat ini sudah melakukan preservasi pengetahuan [10]. Studi MPN pada SDM membantu melestarikan pendidikan dan pelatihan [8] di semua bidang teknologi nuklir untuk tujuan damai, mengembangkan dan menerapkan program MPN, serta membagi (*sharing*) dan melestarikan pengetahuan nuklir.

## KESIMPULAN

Pelestarian SDM yang berkompeten sangat diperhitungkan dan sudah dipertahankan, SDM BATAN berjumlah 2.422 pegawai dengan berbagai kompetensi sesuai bidang, kelompok dan spesialisasi sesuai dengan Keputusan Kepala BATAN No.123/KA/III/2018. Studi MPN pada SDM membantu dan melestarikan pendidikan dan pelatihan nuklir di semua bidang teknologi nuklir untuk tujuan damai agar seluruh rangkaian kegiatan ketenaganukliran berlangsung aman, selamat dan bermanfaat.

Matriks analisis pemetaan pengetahuan [7] dan penilaian risiko kehilangan kompetensi sudah dilakukan dan perlu tindak lanjut dengan komitmen dari pimpinan untuk menjalankan program manajemen pengetahuan nuklir.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Standardisasi dan Mutu Nuklir (PSMN-BATAN) dan kemenristekdikti (Flagship-INSINas) yang telah membantu kelancaran dan kontribusi dalam penyusunan karya tulis ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] KEPUTUSAN KEPALA BATAN, "Kompetensi Badan Tenaga Nuklir Nasional", Keputusan Kepala BATAN No.123/KA/III2018, BATAN, (2018).
- [2] INTERNATIONAL CONFERENCE, "Nuclear Knowledge Management Challenges and Approaches", IAEA-OECD Nuclear Energy Agency, November, Vienna, (2018).
- [3] IAEA Nuclear Energy Series No.NG-T-6.11, Knowledge Loss Risk Management in Nuclear Organizations, Vienna, 2017.
- [4] IAEA Nuclear Energy Series No.NG-T-6.10, "Knowledge Management and Its Implementation in Nuclear Organizations", May, Vienna, (2016).
- [5] SNI ISO 9712, "Uji tak rusak – Kualifikasi dan sertifikasi personel", Badan Stanadardisasi Nasional, Jakarta, (2014).
- [6] IAEA TECDOC 1675, "Knowledge Management for Nuclear Research and Development Organizations", IAEA, May, Vienna, (2012).
- [7] IAEA Nuclear Energy Series No.NG-T-6.7, Comparative Analysis of Methods and Tools for Nuclear Knowledge Preservation, Vienna, 2011.
- [8] IAEA Nuclear Energy Series No.NG-T-6.1, Status and Trends in Nuclear Education, Vienna, 2011.
- [9] IAEA Nuclear Energy Series No.NG-T-6.2, Development of Knowledge Portals for Nuclear Power Plants, Vienna, 2009.
- [10] IAEA Nuclear Energy Series No.NG-T-6.3, Fast Reactor Knowledge Preservation System: Taxonomy and Basic Requirements, Vienna, 2008.
- [11] IAEA TECDOC 1586, Planning and Execution of Knowledge Management Assist Missions for Nuclear Organizations, IAEA, May, Vienna, (2008).
- [12] IAEA, Risk Management of Knowledge Loss in Nuclear Industry Organizations, Vienna, 2006.
- [13] Skema Sertifikasi, UTR dan ATN, SS-SS01/09 03/MN 2, 2019.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## ANALISIS PERSEPSI DAN HARAPAN PELANGGAN TERHADAP HASIL MONITORING DAN EVALUASI KEGIATAN DI BATAN

Harini Wahyuningrum, Rahkmat Hidayat, Wahyu Widyastuti  
Biro Perencanaan, Jl. Kuningan Barat, Jakarta Selatan 12710  
email: hningrum@batan.go.id

### ABSTRAK

**ANALISIS PERSEPSI DAN HARAPAN PELANGGAN TERHADAP HASIL MONITORING DAN EVALUASI KEGIATAN BATAN.** Salah satu bagian penting dalam siklus manajemen adalah pengendalian (*controlling*) dalam hal ini adalah *monitoring* dan evaluasi (Monev). BATAN telah melakukan monev kegiatan secara rutin setiap tahun dalam rangka memenuhi amanat PP Nomor 8 Tahun 2006, PP Nomor 39 Tahun 2006, PMK Nomor 214 Tahun 2017, serta Perka BATAN Nomor 2 Tahun 2016. Monev kegiatan BATAN yang dilakukan oleh Biro Perencanaan telah menghasilkan banyak rekomendasi bagi pimpinan dalam merumuskan kebijakan, namun rekomendasi yang disusun dari hasil monev belum dimanfaatkan secara optimal dan berkesinambungan sebagai proses manajemen (*planning, organizing, actuating, and controlling*). Belum dimanfaatkannya hasil monev tersebut mengindikasikan adanya gap atas keinginan pelaksana monev dengan penerima rekomendasi. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui persepsi kinerja dalam pemenuhan kebutuhan dan harapan (*performance perceived and expectation*) *stakeholder* terhadap pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN. Berdasarkan hasil perhitungan analisis gap diperoleh nilai rata-rata kinerja (*performance perceived*) sebesar 3,69 (variabel X) dan *performance expectation* sebesar 4,09 (variabel Y).

Kata kunci: monitoring, evaluasi, persepsi, harapan, gap.

### ABSTRACT

**CUSTOMERS PERCEPTION AND EXPECTATION ANALYSIS ON MONITORING AND EVALUATION OF BATAN ACTIVITIES.** One important part in the management cycle is controlling, in this case is monitoring and evaluation. BATAN has conducted monitoring and evaluation activities routinely every year in order to fulfill the mandate of PP Number 8 Year 2006, PP Number 39 Year 2006, PMK Number 214 Year 2017, and Perka BATAN Number 2 Year 2016. Monitoring and Evaluation of BATAN activities carried out by the Planning Bureau have produced many recommendations for leaders in formulating policies, but recommendations made from the results of monitoring and evaluation have not been used optimally and continuously as a management process (*planning, organizing, actuating, and controlling*). The monev results have not been utilized indicating the existence of gaps between the wishes of the M&E implementers and the recipient of the recommendations. The purpose of this study is to find out the perceptions of performance in meeting the needs and expectations (*performance perceived and expectation*) of stakeholders on the use of recommendations from the monitoring and evaluation of BATAN activities. Based on the calculation results of the gap analysis obtained an average value of performance (*perceived performance*) of 3.69 (variable X) and performance expectation of 4.09 (variable Y).

Keyword: monitoring, evaluation, perception, expectation, gap

### PENDAHULUAN

Sistem tata pemerintahan yang baik (*good governance*) tidak dapat dipisahkan dengan Sistem Akuntabilitas Kinerja Instansi Pemerintah (SAKIP). Setiap tahun seluruh Kementerian/Lembaga (K/L) wajib melaporkan kinerjanya sebagai bentuk akuntabilitas dari pelaksanaan tugas dan fungsi instansi pemerintah atas penggunaan anggaran [1]. Instansi Pemerintah melaporkan kinerja anggaran kepada Presiden melalui Kementerian Keuangan [2], melalui Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/Badan Perencanaan Pembangunan Nasional [3], dan melalui Kementerian Pemberdayaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi (KemenPAN-RB) [4]. Dengan adanya Peraturan Pemerintah Nomor 8 Tahun 2006, konsep SAKIP mulai diarahkan pada *managerial performance* yang diintegrasikan dengan *financial performance* [5].

Dalam melaksanakan program dan kegiatan pembangunan nasional, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dituntut untuk dapat menyesuaikan diri dengan perubahan sistem manajemen pemerintahan yang menganut asas akuntabilitas. Setiap penyelenggara negara harus dapat mempertanggungjawabkan kinerja atau hasil seluruh program dan kegiatan kepada masyarakat atas penggunaan sumber daya dan kewenangan yang diberikan [6].

Salah satu bagian penting dalam siklus manajemen adalah pengendalian (*controlling*) dalam hal ini adalah *monitoring* dan evaluasi (Monev) kegiatan. BATAN telah melakukan monev kegiatan secara rutin setiap tahun dalam rangka memenuhi amanat PP Nomor 8 Tahun 2006, PP Nomor 39 Tahun 2006, PMK Nomor 214 Tahun 2017, serta Perka BATAN Nomor 2 Tahun 2016. Biro Perencanaan (BP) merupakan ujung tombak organisasi BATAN dalam melaksanakan monev kegiatan [7]. BP berkewajiban menerapkan Sistem Manajemen BATAN (SMB) untuk mewujudkan kinerja yang akuntabel, efisien, dan efektif sesuai dengan ruang lingkup [8]. BP melaksanakan monev kegiatan dalam rangka memenuhi Peraturan Kepala BATAN Nomor 13 Tahun 2013.

Proses Bisnis BP menempatkan kegiatan monev sebagai bahan rekomendasi kebijakan dalam penyusunan Renstra BATAN, Renstra Unit Kerja, dan Rencana Kerja Tahunan yang dapat digunakan untuk menentukan program prioritas BATAN maupun menghentikan kegiatan/penelitian yang dianggap kurang berdampak bagi masyarakat. BATAN memiliki 23 Unit Kerja eselon II yang melaksanakan pelaporan bulanan (laporan realisasi anggaran, laporan PMK Nomor 249 Tahun 2011), laporan triwulan (Laporan Kegiatan, Laporan PP Nomor 39 tahun 2006), dan laporan tahunan (Laporan Kinerja, Laporan PP Nomor 8 Tahun 2006, Laporan Tahunan) [9]. Selama ini, data dalam laporan tersebut belum optimal digunakan sebagai bahan kajian atas kinerja kegiatan dan kinerja anggaran unit kerja eselon II di BATAN.

Monev kegiatan BATAN yang dilakukan oleh BP telah menghasilkan banyak rekomendasi bagi pimpinan dalam merumuskan kebijakan. Hasil rekomendasi idealnya dapat digunakan sebagai masukan dalam perencanaan kegiatan berikutnya, namun rekomendasi yang disusun dari hasil monev belum dimanfaatkan secara optimal dan berkesinambungan sebagai proses manajemen (*planning, organizing, actuating, and controlling*). Belum dimanfaatkannya hasil monev tersebut mengindikasikan adanya gap atas keinginan pelaksana monev dengan penerima rekomendasi Bagian Perencanaan Program (BPP) dan Bagian Penyusunan Anggaran (BPA). Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana persepsi kinerja dalam pemenuhan kebutuhan dan harapan (*performance perceived and expectation*) *stakeholder* terhadap pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN di Biro Perencanaan. Tujuan penelitan ini adalah mengetahui persepsi kinerja dalam pemenuhan kebutuhan dan harapan (*performance perceived and expectation*) *stakeholder* terhadap pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN.

## TEORI

### Monitoring dan Evaluasi

Dalam perencanaan pembangunan terdapat tahapan yang harus dilakukan agar tujuan dapat dicapai dengan efektif dan efisien. yaitu (1) penyusunan rencana; (2) penetapan rencana; (3) pengendalian pelaksanaan rencana; dan (4) evaluasi pelaksanaan rencana. Kegiatan perencanaan, pelaksanaan, pengendalian dan evaluasi pelaksanaan rencana merupakan bagian-bagian dari fungsi manajemen, yang saling terkait dan tidak dapat dipisahkan satu sama lain.

Definisi pengendalian, monev menurut PP Nomor 39 tahun 2006 adalah sebagai berikut:

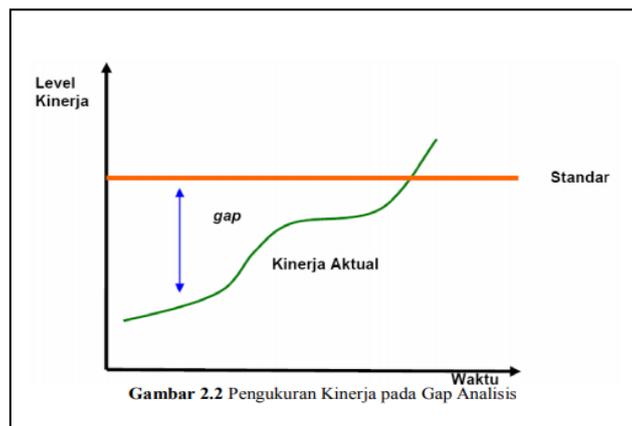
1. Pengendalian: serangkaian kegiatan manajemen yang dimaksud untuk menjamin agar suatu program/kegiatan yang dilaksanakan sesuai dengan rencana yang ditetapkan.
2. Pemantauan/monitoring: kegiatan mengamati perkembangan pelaksanaan rencana pembangunan, mengidentifikasi serta mengantisipasi permasalahan yang timbul dan/atau akan timbul untuk dapat diambil tindakan sedini mungkin. Pemantauan kemajuan organisasi terhadap pemenuhan tujuan disebut pengendalian. Memantau kemajuan sangat penting untuk menjamin tercapainya tujuan organisasi.
3. Evaluasi: Rangkaian kegiatan membandingkan realisasi masukan (*input*), keluaran (*output*), dan hasil (*outcome*) terhadap rencana dan standar.

Monitoring adalah proses kegiatan pengawasan terhadap implementasi kebijakan yang meliputi keterkaitan antara implementasi dan hasil (*outcome*) [10], menjelaskan bahwa *monitoring* mempunyai beberapa tujuan, sebagai berikut:

1. Kesesuaian/kepatuhan (*compliance*); menentukan apakah implementasi kebijakan tersebut sesuai dengan standar dan prosedur yang telah ditentukan.
2. Pemeriksaan (*auditing*); menentukan apakah sumber-sumber atau pelayanan kepada kelompok sasaran (*target groups*) memang benar-benar sampai kepada mereka.
3. Akuntansi (*accounting*); menentukan perubahan sosial dan ekonomi apa saja yang terjadi setelah implementasi sejumlah kebijakan publik dari waktu ke waktu.
4. Penjelasan (*explanation*); menjelaskan mengenai hasil-hasil kebijakan publik berbeda dengan tujuan kebijakan publik.

### Analisis Gap

Analisis gap adalah suatu metode atau alat yang digunakan untuk mengetahui tingkat kinerja suatu Lembaga atau Institusi dengan cara mengukur sistem yang sedang berjalan dengan sistem standar. Tingkat kinerja dapat diketahui dengan membandingkan antara hasil yang dicapai selama pelaksanaan dengan hasil yang diharapkan dalam perencanaan. Sebagai ilustrasi, analisis gap digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Pengukuran dengan Analisis Gap.

Gap akan bernilai positif (+) bila nilai aktual lebih besar dari nilai target, sebaliknya negatif (-) apabila nilai target lebih besar dari nilai aktual. Apabila nilai target semakin besar dan nilai aktual semakin kecil, maka akan diperoleh gap yang semakin melebar. Analisis gap juga merupakan salah satu langkah yang sangat penting dalam tahapan perencanaan maupun tahapan evaluasi kinerja. Metode ini merupakan salah satu metode yang umum digunakan dalam pengelolaan manajemen internal suatu lembaga. Analisis gap bermanfaat untuk mengetahui kondisi terkini dan tindakan apa yang akan dilakukan dimasa yang akan datang [11].

Model yang dikembangkan oleh Parasuraman, Zeithaml dan Berry memiliki 5 (lima) gap [12], yaitu:

1. Kesenjangan antara persepsi manajemen atas ekspektasi konsumen dan ekspektasi konsumen atas pelayanan yang sebenarnya diberikan oleh perusahaan.
2. Kesenjangan antara persepsi manajemen atas ekspektasi konsumen dan penjabaran persepsi tersebut menjadi spesifikasi kualitas pelayanan atau standar pelayanan.
3. Kesenjangan antara pelayanan tersebut dengan pelayanan yang diberikan.
4. Kesenjangan antara pelayanan yang diberikan dengan informasi yang diberikan kepada konsumen atau pelayanan yang dijanjikan kepada konsumen.
5. Kesenjangan antara tingkat pelayanan yang diharapkan oleh konsumen dengan kinerja pelayanan aktual.

Analisis gap bermanfaat untuk:

1. Menilai seberapa besar kesenjangan antara kinerja aktual dengan suatu standar kinerja yang diharapkan.
2. Mengetahui peningkatan kinerja yang diperlukan untuk menutup kesenjangan tersebut.
3. Menjadi salah satu dasar pengambilan keputusan terkait prioritas waktu dan biaya yang dibutuhkan untuk memenuhi standar pelayanan yang telah ditetapkan.

Metode analisis data yang digunakan ada 2 (dua) macam yaitu analisis kuantitatif dan analisis kualitatif. Metode analisis kuantitatif dilakukan untuk menghitung 5 (lima) gap kesenjangan dengan rumus[13].

$$SQ_i = \sum_{j=i}^K W_j(P_{ij} - E_{ij})$$

Untuk memudahkan pengukuran secara kuantitatif, maka setiap dimensi yang dinilai diberi skala atau skor 1 sampai dengan 5. Analisis data dengan menggunakan statistik deskriptif. Perhitungan rata-rata skor dilakukan dengan menggunakan formula berikut:

$G = \text{Kualitas yang ada} - \text{Kualitas yang diharapkan}$ .

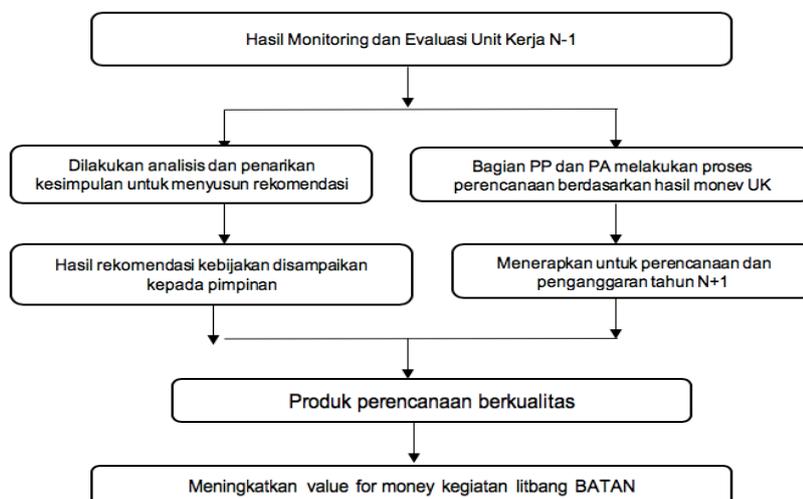
Ketentuan Analisis Gap:

1. Apabila  $G < 0$ , maka kualitas pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN yang diharapkan lebih tinggi daripada kualitas pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN yang ada. Dengan demikian perlu ditingkatkan strategi pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN.
2. Apabila  $G > 0$ , maka kualitas pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN yang diharapkan lebih rendah daripada kualitas pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN yang ada. Dengan demikian pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN sudah baik.
3. Apabila  $G = 0$ , maka kualitas pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN yang diharapkan sama dengan kualitas pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN yang ada. Dengan demikian pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN sudah memadai, namun masih perlu ditingkatkan.

## METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan desain penelitian deskriptif. Penelitian deskriptif bertujuan untuk menggambarkan secara tepat sifat-sifat suatu individu, kelompok tertentu, dan menentukan frekuensi penyebaran suatu gejala atau frekuensi adanya pengaruh tertentu antara suatu gejala lain dalam masyarakat. Teknik pengumpulan data dan informasi dalam penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dengan menyebarkan kuesioner kepada 28 responden yang merupakan pegawai Biro Perencanaan. Penyebaran kuesioner atau wawancara terfokus terhadap Pejabat Struktural serta Fungsional terkait dengan pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN. Isi kuesioner dan wawancara disesuaikan dengan desain analisis gap. Pertanyaan kuesioner dan wawancara mencakup aspek dan dimensi yang untuk mengukur analisis gap pemanfaatan hasil monev kegiatan BATAN terkait dengan persepsi kinerja dalam pemenuhan kebutuhan dan harapan (*performance perceived and expectation stakeholder*) terhadap manfaat hasil monev kegiatan BATAN. Data sekunder diperoleh dari literatur dan dokumen BATAN. Pada penelitian ini, yang menjadi lokus penelitian adalah Biro Perencanaan. Periode pengambilan data dilakukan pada bulan September - Oktober 2018.

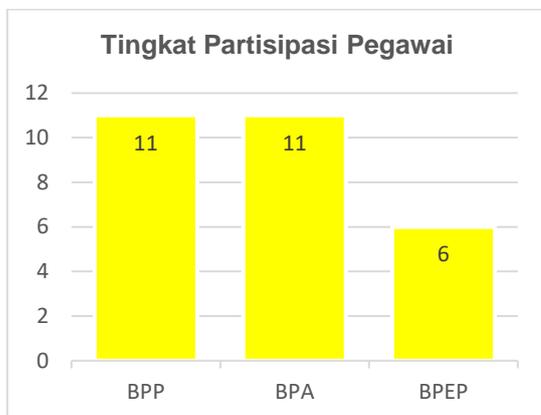
Pengolahan data dilakukan dengan menginput hasil kuesioner pada aplikasi *Microsoft Office Excel* untuk kemudian diolah dan dianalisis guna menjawab tujuan penelitian. Kerangka pemikiran dalam kajian ini adalah sebagai berikut:



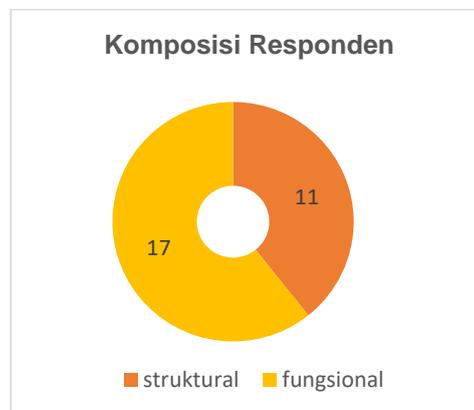
Gambar 2. Alur Pikir Penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Jumlah responden terdiri dari 28 orang dengan komposisi pejabat struktural 11 orang dan pejabat fungsional 17 orang. Responden adalah pegawai Biro Perencanaan dengan komposisi gender 46,43% wanita (13 orang) dan 53,57% laki-laki (15 orang). Komposisi responden disajikan pada grafik berikut ini.



Gambar 3. Tingkat Partisipasi Pegawai.



Gambar 4. Komposisi Responden.

Berdasarkan grafik tingkat partisipasi pegawai, dapat diketahui bahwa partisipasi pegawai Bagian Perencanaan Program (BPP) dan Bagian Perencanaan Anggaran (BPA) masing-masing berjumlah 11 orang dan partisipasi pegawai Bagian Pemantauan, Evaluasi dan Pelaporan (BPEP) berjumlah 6 orang.

Monev BATAN dilaksanakan dengan tinjauan pada aspek perencanaan, pelaksanaan, keluaran dan pengendalian. Dari aspek perencanaan melihat konsistensi antara dokumen perencanaan (tahunan, lima tahunan), serta bagaimana implementasi terhadap dokumen perencanaan. Dari aspek pelaksanaan melihat ketepatan waktu penyampaian laporan, serapan anggaran dan capaian target fisik, dan pengelolaan hibah. Adapun untuk aspek keluaran dilihat dari sisi hasil kegiatan (output, publikasi, paten, serta ATB) yang diperoleh. Dari aspek pengendalian, dilihat upaya yang dilakukan unit kerja dalam melaksanakan pengendalian kegiatan.

Kuesioner persepsi responden terhadap kinerja yang dirasakan (*performance perceived*) dan harapan (*expectation stakeholder*) hasil pelaksanaan monev yang dilakukan di BATAN mengacu pada rumus Skala Likert. Pertanyaan/pernyataan dinyatakan dengan angka-angka sebagai berikut: Sangat Tidak Setuju (STS) dengan skor nilai adalah 1, pernyataan Tidak Setuju (TS) dengan skor nilai adalah 2, pernyataan Netral (N) dengan skor nilai adalah 3, pernyataan Setuju (S) dengan skor nilai adalah 4, dan pernyataan Sangat Setuju (SS) dengan skor nilai adalah 5. Responden yang ingin menyampaikan aspirasi dan tanggapan lain, disediakan kolom saran dan komentar.

Terdapat beberapa bentuk analisis kesenjangan yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN oleh para *stakeholder* di Biro Perencanaan. Dengan memodifikasi model Parasuraman, Zeithaml, dan Berry (1985), maka model kesenjangan yang akan diteliti adalah kesenjangan antara persepsi *stakeholder* BP terhadap pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN.

### Perhitungan Penilaian Persepsi Kinerja (*Performance Perceived*) Variabel X

Berdasarkan hasil perhitungan analisis gap diperoleh nilai rata-rata kinerja (*performance perceived*) dan nilai rata-rata harapan (*expectation*) dari setiap variabel yang ditanyakan kepada responden. Hasil perhitungan penilaian persepsi kinerja (*performance perceived*) dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1. Perhitungan Penilaian Persepsi Kinerja (*Performance Perceived*) Variabel X.

No	Variabel	Rata-rata
	Kehandalan/ <i>Reliability</i> ( $X_1$ ): Kemampuan dalam memberikan layanan informasi hasil monev kegiatan BATAN secara tepat dan akurat.	

1	(X <sub>1.1</sub> ): Ketepatan pelayanan Tim Monev dalam menyediakan informasi hasil monev kegiatan BATAN bagi pegawai BP	3,61
2	(X <sub>1.2</sub> ): Kelengkapan penyediaan dan kemudahan dalam mendapatkan informasi hasil monev kegiatan BATAN	3,57
Daya Tanggap/ <i>Responsiveness</i> (X <sub>2</sub> ): Kesiediaan dalam membantu pegawai BP terkait informasi hasil monev kegiatan BATAN		
3	(X <sub>2.1</sub> ): Kemampuan tim monev dalam menghadapi setiap permintaan data terkait informasi hasil monev kegiatan BATAN	3,75
4	(X <sub>2.2</sub> ): Kecepatan pelayanan Tim Monev dalam menyediakan informasi hasil monev kegiatan BATAN bagi pegawai BP	3,61
Jaminan/ <i>Assurance</i> (X <sub>3</sub> ): Kemampuan dalam memberikan kepastian pelayanan sebagai upaya menimbulkan kepercayaan bagi <i>stakeholder</i> internal BP (pegawai BP)		
5	(X <sub>3.1</sub> ): tanggung jawab atas validitas informasi hasil monev kegiatan BATAN, agar dapat dijadikan dasar/pertimbangan penyusunan program/kegiatan dan penyusunan anggaran ke depan	3,79
Empati/ <i>Empathy</i> (X <sub>4</sub> ): Kemampuan dalam memberikan perhatian secara pribadi terhadap pegawai BP saat memerlukan informasi hasil monev kegiatan BATAN		
6	(X <sub>4.1</sub> ): Kemauan dan kesiediaan memberikan perhatian khusus kepada pegawai BP yang membutuhkan informasi terkait hasil monev kegiatan BATAN	3,57
7	(X <sub>4.2</sub> ): Kemudahan dalam memberikan dan menyediakan informasi hasil monev kegiatan BATAN	3,75
8	(X <sub>4.3</sub> ): Sikap ramah dan sopan Tim monev dalam memberikan informasi hasil monev kegiatan BATAN	3,68
Bukti fisik/ <i>Tangible</i> (X <sub>5</sub> ): Kemampuan dalam menyediakan dan menampilkan secara fisik dokumen hasil monev kegiatan BATAN		
9	(X <sub>5.1</sub> ): Kemampuan menyediakan dokumen hasil monev kegiatan BATAN (dokumen <i>hardcopy/softcopy</i> ) bagi pegawai BP yang memerlukan	3,82
10	(X <sub>5.2</sub> ): Kemampuan menyediakan dokumen hasil monev kegiatan BATAN melalui sistem informasi (SIPL.2/SITP/e-mail) bagi pegawai BP yang memerlukan	3,79
Rata-rata		3,69

Berdasarkan hasil perhitungan analisis gap diperoleh nilai rata-rata kinerja (*performance perceived*) dari hasil identifikasi terhadap 28 responden terhadap kinerja pemanfaatan hasil monev kegiatan BATAN diperoleh nilai rata-rata 3,69 (variabel X). Namun ada 2 (dua) unsur yang rendah di bawah rata-rata yaitu:

- a. Kemampuan dalam memberikan layanan informasi hasil monev kegiatan BATAN secara tepat dan akurat.
- b. Kemampuan dalam memberikan perhatian secara pribadi terhadap pegawai BP saat memerlukan informasi hasil monev kegiatan BATAN.



Gambar 5. Nilai Persepsi Kinerja.

### Perhitungan Penilaian Persepsi Kinerja (*Performance Perceived*) Variabel Y

Dengan skala 1 sampai 5, dimana 1 menyatakan sangat tidak setuju dan 5 menyatakan sangat setuju, diperoleh nilai rata-rata 3,69. Hal ini bermakna bahwa respon pegawai BP terhadap kinerja pemanfaatan hasil monev secara merata menyatakan setuju. Sedangkan harapan responden terhadap tingkat pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN oleh para *stakeholder* di BP dapat dilihat pada tabel berikut.

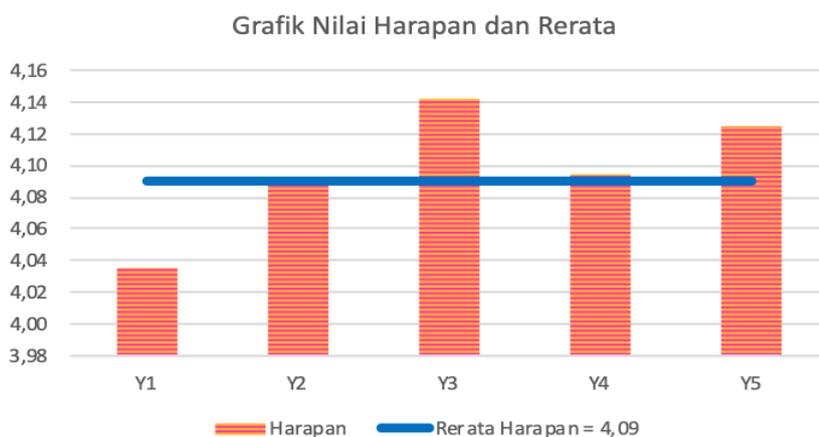
Tabel 2. Perhitungan Penilaian Persepsi Kinerja (*Performance Perceived*) Variabel Y.

No	Variabel	Rata-rata
Kehandalan/ <i>Reliability</i> (Y <sub>1</sub> ): Kemampuan dalam memberikan layanan informasi hasil monev kegiatan BATAN secara tepat dan akurat.		
1	(Y <sub>1.1</sub> ): Ketepatan pelayanan Tim Monev dalam menyediakan informasi hasil monev kegiatan BATAN bagi pegawai BP	4,00
2	(Y <sub>1.2</sub> ): Kelengkapan penyediaan dan kemudahan dalam mendapatkan informasi hasil monev kegiatan BATAN	4,07
Daya Tanggap/ <i>Responsiveness</i> (Y <sub>2</sub> ): Kesiapan dalam membantu pegawai BP terkait informasi hasil monev kegiatan BATAN		
3	(Y <sub>2.1</sub> ): Kemampuan tim monev dalam menghadapi setiap permintaan data terkait informasi hasil monev kegiatan BATAN	4,18
4	(Y <sub>2.2</sub> ): Kecepatan pelayanan Tim Monev dalam menyediakan informasi hasil monev kegiatan BATAN bagi pegawai BP	4,00
Jaminan/ <i>Assurance</i> (Y <sub>3</sub> ): Kemampuan dalam memberikan kepastian pelayanan sebagai upaya menimbulkan kepercayaan bagi stakeholder internal BP (pegawai BP)		
5	(Y <sub>3.1</sub> ): tanggung jawab atas validitas informasi hasil monev kegiatan BATAN, agar dapat dijadikan dasar/pertimbangan penyusunan program/kegiatan dan penyusunan anggaran ke depan	4,14
Empati/ <i>Empathy</i> (Y <sub>4</sub> ): Kemampuan dalam memberikan perhatian secara pribadi terhadap pegawai BP saat memerlukan informasi hasil monev kegiatan BATAN		
6	(Y <sub>4.1</sub> ): Kemauan dan kesiapan memberikan perhatian khusus kepada pegawai BP yang membutuhkan informasi terkait hasil monev kegiatan BATAN	3,96
7	(Y <sub>4.2</sub> ): Kemudahan dalam memberikan dan menyediakan informasi hasil monev kegiatan BATAN	4,18
8	(Y <sub>4.3</sub> ): Sikap ramah dan sopan Tim monev dalam memberikan informasi hasil monev kegiatan BATAN	4,14
Bukti fisik/ <i>Tangible</i> (Y <sub>5</sub> ): Kemampuan dalam menyediakan dan menampilkan secara fisik dokumen hasil monev kegiatan BATAN		
9	(Y <sub>5.1</sub> ): Kemampuan menyediakan dokumen hasil monev kegiatan BATAN (dokumen <i>hardcopy/softcopy</i> ) bagi pegawai BP yang memerlukan	4,14
10	(Y <sub>5.2</sub> ): Kemampuan menyediakan dokumen hasil monev kegiatan BATAN melalui sistem informasi (SIPL.2/SITP/e-mail) bagi pegawai BP yang memerlukan	4,11
Rata-rata		4,09

Berdasarkan hasil perhitungan analisis gap diperoleh nilai rata-rata harapan (*expectation*) dari hasil identifikasi 28 responden terhadap tingkat pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN diperoleh nilai rata-rata 4,09 (variabel Y), 7 (tujuh) unsur berada di atas rata-rata. Hal ini bermakna bahwa harapan responden terhadap pemanfaatan hasil monev secara rata-rata menyatakan menyetujui bahwa personal monev harus handal/*reliability*, tanggap/respon, mampu dalam memberikan kepastian, perhatian, menyediakan dan menampilkan bukti fisik.

Namun ada 3 (tiga) unsur yang rendah di bawah rata-rata yaitu:

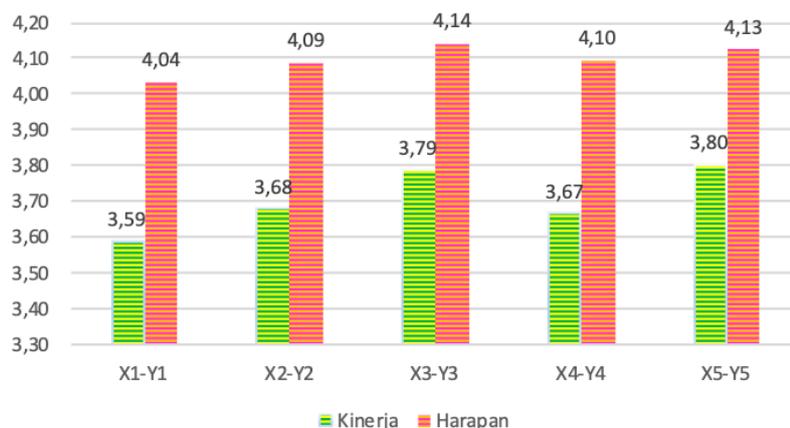
- a. Kemauan dan kesiapan memberikan perhatian khusus kepada pegawai BP yang membutuhkan informasi terkait hasil monev kegiatan BATAN.
- b. Ketepatan pelayanan Tim Monev dalam menyediakan informasi hasil monev kegiatan BATAN bagi pegawai BP.
- c. Kecepatan pelayanan Tim Monev dalam menyediakan informasi hasil monev kegiatan BATAN bagi pegawai BP.



Gambar 6. Nilai Harapan.

### Persepsi Kinerja dan Harapan (*Performance Perceived and Expectation*) Terhadap Tingkat Pemanfaatan Rekomendasi

Nilai rata-rata harapan (*expectation*) responden terhadap tingkat pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN oleh *stakeholder* di BP adalah 4,09. Hal ini bermakna bahwa harapan pegawai BP terhadap pemanfaatan hasil monev secara rata-rata menyatakan setuju. Gambar 7. menunjukkan tingkat kesesuaian antara kinerja dan harapan (*expectation*) responden terhadap tingkat pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN oleh *stakeholder* di BP.

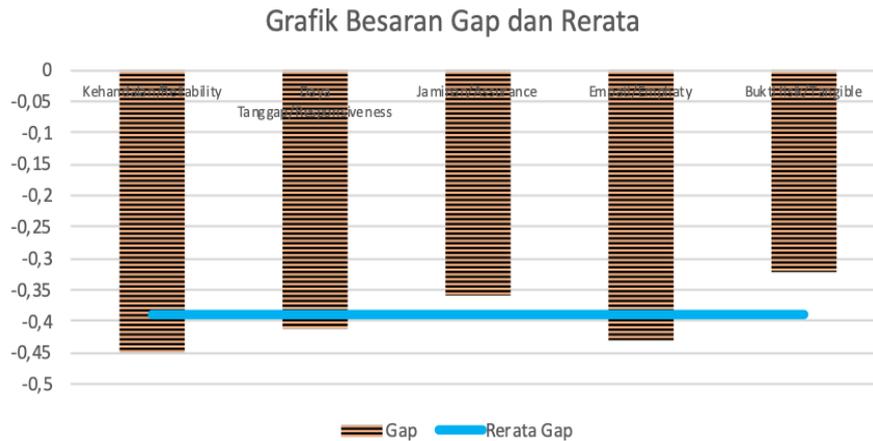


Gambar 7. Persepsi Kinerja dan Harapan

Tabel 4. Analisis Gap Kinerja dan Harapan

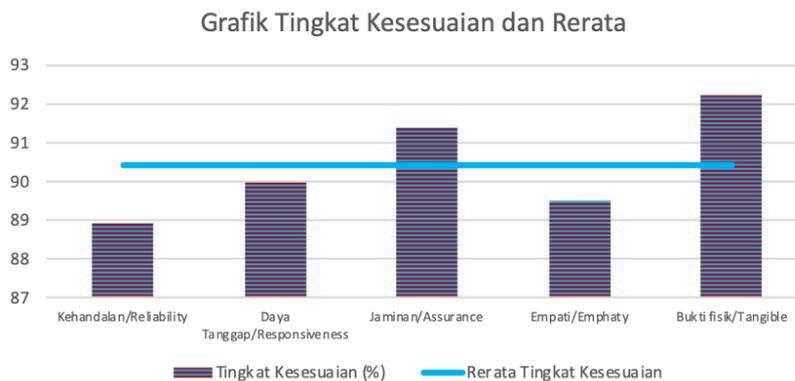
No	Variabel	Gap	Tingkat Kesesuaian (%)
1.	Kehandalan/ <i>Reliability</i>	-0,45	88,94
2.	Daya Tanggap/ <i>Responsiveness</i>	-0,41	89,96
3.	Jaminan/ <i>Assurance</i>	-0,36	91,38
4.	Empati/ <i>Emphaty</i>	-0,43	89,53
5.	Bukti fisik/ <i>Tangible</i>	-0,32	92,21
	Rata-rata	-0,39	90,40

Berdasarkan Tabel 4. diketahui rata-rata gap antara kinerja dan harapan sebesar -0,39 (Nilai  $G < 0$ ). Hal ini bermakna kualitas pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN yang diharapkan lebih tinggi dari pada kualitas pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN yang ada. Dengan demikian perlu ditingkatkan strategi pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN.



Gambar 8. Besaran Gap dan Rerata.

Jika dilihat dari tingkat kesesuaian antara kinerja dan harapan yang masih di bawah 100% yaitu 90,40%, maka dapat disimpulkan masih terdapat kesenjangan sebesar 9,60% antara kinerja dengan harapan. Variabel yang memiliki nilai kesenjangan paling besar adalah Kehandalan/*Reliability* yaitu kemampuan dalam memberikan layanan informasi hasil monev kegiatan BATAN secara tepat dan akurat. Sedangkan kesenjangan yang paling kecil ada pada variabel Bukti fisik/*Tangible* yaitu kemampuan dalam menyediakan dan menampilkan secara fisik dokumen hasil monev kegiatan BATAN.



Gambar 9. Tingkat Kesesuaian.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan analisis gap diperoleh nilai rata-rata kinerja (*performance perceived*) sebesar 3,69 (variabel X) dan nilai rata-rata harapan (*expectation*) sebesar 4,09 (variabel Y).

Berdasarkan hasil analisis gap di atas diketahui rata-rata gap antara kinerja dan harapan sebesar -0,39 (Nilai  $G < 0$ ). Hal ini bermakna kualitas pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN yang diharapkan lebih rendah daripada kualitas pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN yang ada. Dengan demikian perlu ditingkatkan strategi pemanfaatan rekomendasi hasil monev kegiatan BATAN.

Jika dilihat dari tingkat kesesuaian antara kinerja dan harapan yang masih di bawah 100% yaitu 90,40%, maka dapat disimpulkan masih terdapat kesenjangan antara kinerja dengan harapan sebesar 9,60%. Variabel yang memiliki nilai kesenjangan paling besar adalah Kehandalan/*Reliability* yaitu kemampuan dalam memberikan layanan informasi hasil monev kegiatan BATAN secara tepat dan akurat, sedangkan kesenjangan yang paling kecil ada pada variabel Bukti fisik/*Tangible* yaitu kemampuan dalam menyediakan dan menampilkan secara fisik dokumen hasil monev kegiatan BATAN.

Berdasarkan kesimpulan diatas, rekomendasi yang diusulkan adalah BP perlu meningkatkan pembinaan terhadap unit kerja dalam hal penentuan program/kegiatan prioritas

yang didukung dengan komitmen pembiayaan/ penganggaran, output kegiatan yang SMART, ketepatan jadwal kegiatan, kepastian sarpras litbang, dan peningkatan komitmen pejabat pada pelaksanaan kegiatan BATAN. BP perlu meningkatkan koordinasi dan komunikasi internal dalam penyusunan dokumen perencanaan (Perencanaan Strategis BATAN, Rencana Kerja Tahunan BATAN, Perencanaan Anggaran Tahunan BATAN, Perjanjian Kinerja BATAN dan penyusunan Revisi Anggaran BATAN) agar memanfaatkan "laporan hasil monev kegiatan BATAN" sebagai bahan masukan, memenuhi kebutuhan dan harapan stakeholder (BPP dan BPA)

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala Biro Perencanaan Bapak Ir. Ferly Hermana yang telah mengizinkan untuk melakukan kajian ini. Selain itu kami juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh Tim Kajian Monev BATAN tahun 2019 atas kerja samanya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Permen PANRB, "Petunjuk Teknis Perjanjian Kinerja, Pelaporan Kinerja dan Tata Cara Reviu atas Laporan Kinerja Instansi Pemerintah", Permen PANRB no.53 Tahun 2014, Kementerian PANRB (2014).
- [2] Permen Keuangan, "Pengukuran dan Evaluasi Kinerja atas Pelaksanaan Rencana Kerja dan Anggaran Kementerian Negara/Lembaga", Permen Keuangan no.249 Tahun 2011, Kementerian Keuangan (2011).
- [3] Peraturan Pemerintah, "Tata Cara Pengendalian dan Evaluasi Pelaksanaan Rencana Pembangunan", PP no.39 Tahun 2006.
- [4] Peraturan Presiden, "Sistem Akuntabilitas Kinerja Instansi Pemerintah". PP no.29 Tahun 2014.
- [5] DARTO M., "Integrasi Sistem Perencanaan, Penganggaran dan Manajemen Kinerja: Sebuah Best Practice di Bank Indonesia", Jurnal Borneo Administratif VII. 7 No. 3 (2011).
- [6] BATAN, "Laporan Kinerja BATAN Tahun 2016", BATAN Jakarta (2016).
- [7] Perka BATAN, "Organisasi dan Tata Kerja Badan Tenaga Nuklir Nasional", Perka BATAN no. 14 Tahun 2013, BATAN (2013).
- [8] Perka BATAN, "Sistem Manajemen Badan Tenaga Nuklir Nasional". Perka BATAN no. 3 Tahun 2018, BATAN (2018).
- [9] Perka BAPETEN, "Pedoman Penyusunan, Pelaksanaan, Pelaporan, dan Pengawasan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara", Perka BAPETEN, No. 13/2013, BAPETEN (2013).
- [10] DUNN W.N., "Public Policy Analysis: An Introduction", New Jersey: Pearson Education. Edisi bahasa Indonesia diterjemahkan dari edisi kedua (1994) diterbitkan sejak 1999 dengan judul Pengantar Analisis Kebijakan Publik. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press .(2004).
- [11] Bappenas, "Pedoman Evaluasi Pembangunan Sektor", Bappenas (2009).
- [12] PARASURAMAN A., ZEITAML V.A. AND BERRY L.L, "Servqual: A Multiple-Item Scale For Measuring Consumer Perceptions Of Service Quality", Journal of Retailing, Vol. 64, Spring (1988).
- [13] KENNETH R., "Expectations, Performance Evaluation, and Consumer's Perception of Quality", Journal of Marketing (Spring): 49, (1990).

## **ANALISIS KORELASI ANTARA BELANJA MODAL TERHADAP BELANJA PEMELIHARAAN BATAN TAHUN 2015-2019**

**Harini Wahyuningrum, Budi Kaliwanto**

*Biro Perencanaan, Jl. Kuningan Barat, Jakarta Selatan 12710*

*email: hningrum@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

**ANALISIS KORELASI ANTARA ALOKASI BELANJA MODAL TERHADAP BELANJA PEMELIHARAAN BATAN TAHUN 2015-2019.** Dalam konteks pengelolaan keuangan, belanja modal sangat berkaitan dengan perencanaan keuangan jangka panjang karena terkait dengan pembiayaan untuk pemeliharaan aset tetap yang dihasilkan dari belanja modal tersebut. Peningkatan alokasi belanja modal dalam bentuk aset tetap seperti peralatan dan infrastruktur sangat penting untuk meningkatkan produktivitas perekonomian karena semakin tinggi belanja modal seharusnya semakin tinggi pula produktivitas perekonomian. Kebijakan pembatasan belanja barang oleh Kementerian Keuangan membuat unit kerja di BATAN sulit untuk mengalokasikan anggaran pemeliharaan. Salah satu dampak pembelian alat mengakibatkan penambahan beban pemeliharaan pada tahun anggaran berikutnya. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian adalah mengetahui gambaran sebaran belanja modal di BATAN serta mengetahui tingkat hubungan (korelasi) antara belanja modal dan belanja pemeliharaan. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa besaran belanja modal BATAN bervariasi setiap tahunnya dengan kecenderungan menurun dari tahun 2015-2017 dan memiliki tren naik dari tahun 2017-2018. Namun berbeda halnya dengan besaran belanja pemeliharaan yang cenderung hampir sama besarnya setiap tahun. Kesimpulan lain adalah tidak ada hubungan secara signifikan antara belanja modal dengan belanja pemeliharaan, dengan kata lain pengalokasian anggaran belanja pemeliharaan belum memperhatikan perolehan aset tetap dari belanja modal tahun sebelumnya.

Kata kunci: belanja modal, belanja pemeliharaan, anggaran, kebijakan, korelasi.

### **ABSTRACT**

**CORRELATION ANALYSIS BETWEEN BATAN CAPITAL EXPENDITURE ON MAINTENANCE EXPENDITURE FROM 2015 TO 2019.** In the context of financial management, capital expenditure is closely related to long-term financial planning because it is related to budgeting for the maintenance of fixed assets resulting from the capital expenditure. Increasing the allocation of capital expenditure in the form of fixed assets such as equipment and infrastructure is very important to increase economic productivity as higher capital expenditure, should be higher productivity of the economy. The Ministry of Finance's policy on spending restrictions on goods makes it difficult for BATAN to allocate maintenance budget. One of the impacts of purchasing equipment is an additional maintenance costs in the following fiscal year. The aim of this research is to find out the description of the distribution of capital expenditure in BATAN and to find out the level of correlation between capital expenditure and maintenance expenditure. The results of the study concluded that the amount of BATAN capital expenditure varies each year with a downward trend from 2015-2017 and has an upward trend from 2017-2018. It is different result to the amount of maintenance spending which tends to be almost the same every year. Another conclusion is that there is no significant relationship between capital expenditure and maintenance expenditure, in other words the allocation of maintenance expenditure budget does not pay attention to the acquisition of fixed assets purchased from capital expenditure in the previous year.

Keywords: capital expenditure, maintenance expenditure, budget, policy, correlation

### **PENDAHULUAN**

Salah satu faktor pendukung pertumbuhan ekonomi adalah tersedianya infrastruktur yang memadai. Beberapa fakta empiris menyatakan bahwa perkembangan kapasitas infrastruktur suatu daerah akan berjalan seiring dengan pertumbuhan output ekonomi daerah tersebut [1]. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa investasi pemerintah dapat meningkatkan daya saing eksternal ekonomi dan merangsang investasi swasta [2]. Tema Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2015-2019 lebih kepada pembangunan infrastruktur sebagai faktor

pengungkit pertumbuhan ekonomi, sehingga alokasi belanja pemerintah lebih besar diarahkan untuk belanja modal.

Selama ini penentuan besarnya alokasi belanja pemerintah didasarkan pada realisasi anggaran tahun sebelumnya dan berbasis input atau yang disebut *incremental budgeting*. Namun kebijakan penganggaran kedepan didasarkan pada *output* dan *outcome* organisasi sehingga dapat menciptakan efisiensi, efektifitas, dan akuntabilitas dalam pemanfaatan anggaran belanja pemerintah [3]. Peningkatan alokasi belanja modal dalam bentuk aset tetap seperti peralatan dan infrastruktur sangat penting untuk meningkatkan produktivitas perekonomian karena semakin tinggi belanja modal semakin tinggi pula produktivitas perekonomian. Saragih menyatakan bahwa pemanfaatan belanja hendaknya dialokasikan untuk hal-hal yang produktif seperti untuk melakukan aktivitas pembangunan [4].

Kebijakan ekonomi tradisional berfokus pada investasi modal semata dan mengabaikan pengeluaran/biaya pemeliharaan/perawatan atas aset yang telah diperoleh [5]. Dalam konteks pengelolaan keuangan, belanja modal sangat berkaitan dengan perencanaan keuangan jangka panjang karena terkait dengan pembiayaan untuk pemeliharaan aset tetap yang dihasilkan dari belanja modal tersebut. Konsep *multi term expenditure framework* (MTEF) menyatakan bahwa kebijakan belanja modal harus memperhatikan kemanfaatan dan kemampuan keuangan dalam pengelolaan aset jangka panjang.

Realisasi belanja modal akan menjadi aset tetap, namun seringkali dampak adanya aset tetap berupa biaya pemeliharaan diabaikan dalam pengalokasian anggaran. Agar barang modal memiliki utilitas yang lebih lama maka diperlukan komitmen alokasi belanja pemeliharaan [6]. Beberapa studi terkait hubungan belanja modal dan belanja pemeliharaan telah dilakukan salah satunya oleh Abdullah dan Halim [7] yang menyimpulkan bahwa belanja modal berasosiasi positif terhadap belanja pemeliharaan.

Berbeda dengan belanja modal, belanja pemeliharaan ditemukan pada semua satuan kerja atau unit organisasi pemerintah karena kepemilikan aset tetap. Belanja pemeliharaan tidak tergantung pada tugas dan fungsi satuan kerja, tetapi pada jumlah aset yang dimiliki. Kebijakan pembatasan belanja barang oleh Kementerian Keuangan membuat unit kerja di BATAN sulit untuk mengalokasikan belanja perawatan. Di sisi lain, pada tahun 2018 pemerintah berfokus kepada belanja modal sehingga unit kerja banyak membeli alat baru. Dampak pembelian alat tersebut mengakibatkan penambahan beban pemeliharaan pada tahun anggaran berikutnya. Belanja pemeliharaan termasuk dalam kelompok belanja barang, sehingga dengan diberlakukannya pembatasan belanja barang maka BATAN harus memiliki strategi pengalokasian anggaran.

Berdasarkan uraian permasalahan diatas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana gambaran belanja modal di BATAN dan bagaimana hubungan antara belanja modal dan belanja pemeliharaan. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian adalah mengetahui gambaran sebaran belanja modal di BATAN serta mengetahui tingkat hubungan (korelasi) antara belanja modal dan belanja pemeliharaan. Setelah mengetahui tingkat hubungan kedua variabel tersebut maka dapat disusun rumusan kebijakan penganggaran terkait belanja modal di BATAN.

## TEORI

### Belanja Modal

Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN) adalah wujud dari pengelolaan keuangan negara yang merupakan instrumen bagi Pemerintah untuk mengatur pengeluaran dan penerimaan negara dalam rangka membiayai pelaksanaan kegiatan pemerintahan dan pembangunan, mencapai pertumbuhan ekonomi, meningkatkan pendapatan nasional, mencapai stabilitas perekonomian, dan menentukan arah serta prioritas pembangunan secara umum [8]. Belanja Modal merupakan Belanja Pemerintah yang manfaatnya melebihi 1 tahun anggaran dan akan menambah aset atau kekayaan daerah dan selanjutnya akan menambah belanja yang bersifat rutin seperti biaya pemeliharaan pada kelompok belanja administrasi umum [9]. Belanja Modal adalah belanja yang dilakukan pemerintah yang menghasilkan aktiva tetap tertentu [10]. Belanja modal dimaksudkan untuk mendapatkan aset tetap, yakni peralatan, bangunan, infrastruktur, dan harta tetap lainnya. Secara teoritis ada tiga cara untuk memperoleh aset tetap tersebut, yakni dengan membangun sendiri, menukarkan dengan aset tetap lainnya, atau juga dengan membeli. Menurut Standar Akuntansi Pemerintah [11], pengertian belanja modal adalah pengeluaran yang dilakukan dalam rangka pembentukan modal yang sifatnya menambah aset tetap/inventaris yang memberikan manfaat lebih dari satu periode akuntansi, termasuk di dalamnya adalah pengeluaran untuk biaya pemeliharaan yang sifatnya mempertahankan atau menambah masa manfaat, serta meningkatkan kapasitas dan kualitas aset.

### Analisis Korelasi

Analisis korelasi merupakan salah satu metode statistik yang biasa digunakan untuk mempelajari hubungan antara dua variabel. Tujuannya adalah mendapatkan pola dan kekuatan hubungan antara dua variabel. Kekuatan korelasi antara dua variabel dinyatakan dengan koefisien korelasi atau biasa dinotasikan dengan huruf "r" dan memiliki nilai antara -1 sampai dengan +1. Hubungan dua variabel yang sangat kuat memiliki nilai korelasi mendekati +1 dan -1. Sedangkan nilai koefisien korelasi yang mengarah ke nol menunjukkan hubungan yang lemah. Dua variabel disebut tidak berkorelasi jika nilai r sama dengan 0. Korelasi positif ditunjukkan dengan nilai koefisien r positif (+) atau  $r > 0$ , dan korelasi negatif ditunjukkan dengan nilai r negatif (-) atau  $r < 0$ . Menurut Sugiyono penentuan koefisien korelasi yang umum digunakan adalah koefisien korelasi momen produk Pearson dengan rumus sebagai berikut [12].

$$r = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad \dots \dots \dots \text{Persamaan (1)}$$

- r = Koefisien korelasi pearson
- n = jumlah titik pasangan (X,Y)
- X = variabel independen
- Y = variabel dependen

Pedoman untuk memberikan interpretasi nilai koefisien korelasi yang diperoleh dapat mengacu pada kriteria berikut:

Tabel 1. Kriteria Korelasi Pearson

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat Lemah
0,20 – 0,399	Lemah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat Kuat

### Pengujian Hipotesis

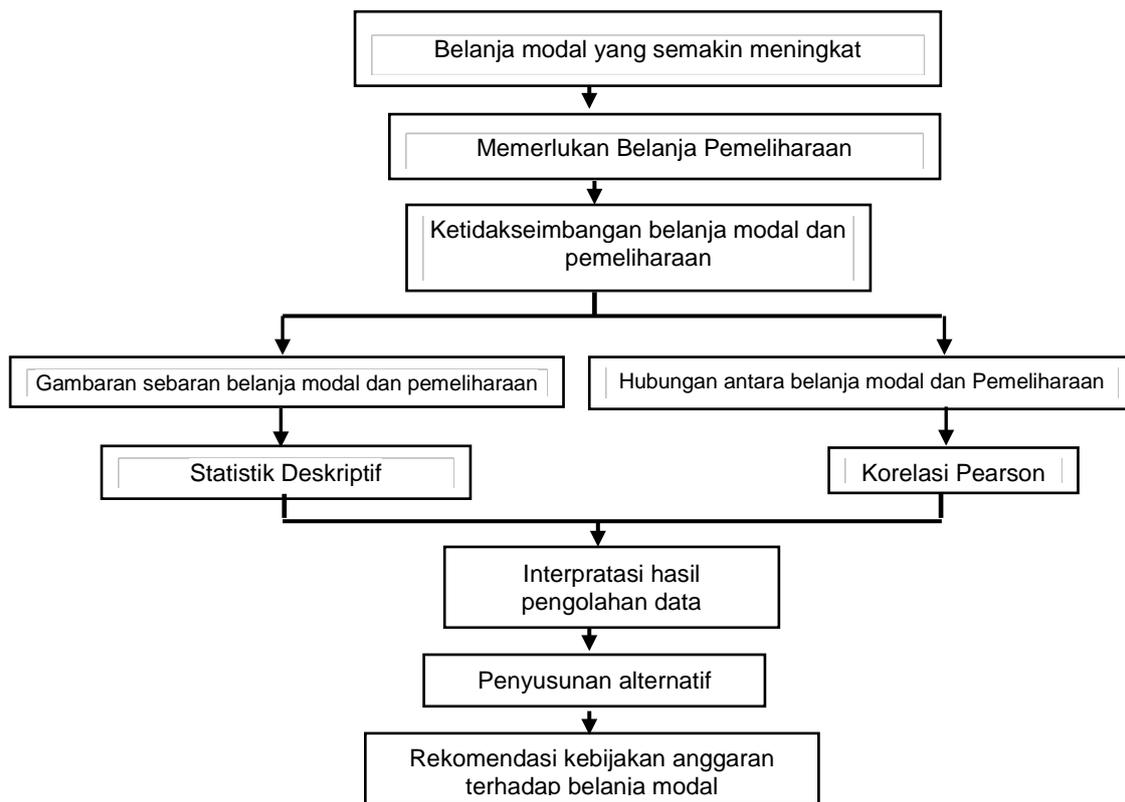
Pengujian hipotesis dilakukan untuk membuktikan ada/tidaknya pengaruh variabel bebas. Hipotesis nol ( $H_0$ ) menyatakan koefisien korelasi tidak berarti/tidak signifikan, sedangkan Hipotesis alternatif ( $H_1$ ) menyatakan bahwa koefisien korelasi berarti/ signifikan.

### METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan desain penelitian deskriptif asosiatif. Metode penelitian deskriptif adalah metode penelitian yang digunakan untuk mengetahui nilai variabel mandiri atau lebih (Independen) tanpa membuat perbandingan atau menggabungkan antara variabel satu dengan yang lainnya. Penelitian asosiatif merupakan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui hubungan dua variabel atau lebih. Analisis deskriptif yang dilakukan dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan deskriptif kuantitatif digunakan apabila bertujuan untuk mendiskripsikan atau menjelaskan peristiwa atau suatu kejadian yang terjadi pada saat sekarang dalam bentuk angka-angka yang bermakna [13]. Sedangkan analisis data secara kualitatif ditujukan untuk memperkuat analisis deskriptif kuantitatif.

Penelitian ini dilaksanakan di BATAN pada bulan Januari - Juni 2019. Data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari wawancara dengan pejabat eselon III Biro Perencanaan yang menangani perencanaan penganggaran BATAN termasuk didalamnya belanja modal (Kepala Bagian Perencanaan Anggaran). Data ini akan dimanfaatkan sebagai pendukung analisis deskriptif. Data sekunder diperoleh dari literatur, Sistem Informasi Perencanaan Litbangyasa (SIPL) dan dokumen BATAN seperti dokumen DIPA, Dokumen Rencana Strategis, serta dokumen terkait lainnya.

Untuk mendapatkan alternatif rekomendasi kebijakan alokasi penganggaran belanja modal tahun 2020-2024, langkah yang dilakukan adalah sebagaimana kerangka alur pikir berikut ini.



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

Berdasarkan alur pikir diatas, langkah-langkah dalam penyusunan rekomendasi kebijakan anggaran terhadap belanja modal adalah sebagai berikut:

1. Memetakan permasalahan pengalokasian anggaran belanja modal dan belanja pemeliharaan.
2. Mendeskripsikan gambaran alokasi anggaran belanja modal dan belanja pemeliharaan tahun 2015 – 2019 dari seluruh unit kerja di BATAN.
3. Mengukur tingkat hubungan antara belanja modal dan belanja pemeliharaan.
4. Menyusun alternatif kebijakan alokasi anggaran belanja modal tahun 2020 – 2024.
5. Menyusun rekomendasi kebijakan alokasi anggaran belanja modal tahun 2020 – 2024

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis Deskriptif Belanja Modal BATAN

Untuk melihat gambaran belanja modal dan belanja pemeliharaan BATAN dalam 1 periode Renstra, maka dihimpun data Daftar Isian Pelaksanaan Anggaran (DIPA). Jenis akun belanja modal dan belanja pemeliharaan di BATAN adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Kode dan Jenis Akun Belanja Modal

Kode Akun	Jenis Akun Belanja Modal
532111	Belanja Modal Peralatan dan Mesin
532112	Belanja Modal Bahan Baku Peralatan dan Mesin
532113	Belanja Modal Upah Tenaga Kerja dan Honor Pengelola Teknis Peralatan dan Mesin
532115	Belanja Modal Perencanaan dan Pengawasan Peralatan dan Mesin
532117	Belanja Modal Pemasangan Peralatan dan Mesin
532118	Belanja Modal Perjalanan Peralatan dan Mesin
532121	Belanja Penambahan Nilai Peralatan dan Mesin
533111	Belanja Modal Gedung dan Bangunan

533113	Belanja Modal Upah Tenaga Kerja dan Honor Pengelola Teknis Gedung dan Bangunan
533115	Belanja Modal Perencanaan dan Pengawasan Gedung dan Bangunan
533118	Belanja Modal Perjalanan Gedung dan Bangunan
533121	Belanja Penambahan Nilai Gedung dan Bangunan
534131	Belanja Modal Jaringan
534141	Belanja Penambahan Nilai Jalan dan Jembatan
534161	Belanja Penambahan Nilai Jaringan
536111	Belanja Modal Lainnya
536121	Belanja Penambahan Nilai Aset Tetap Lainnya dan/atau Aset Lainnya

Tabel 3. Kode dan Jenis Akun Belanja Pemeliharaan

Kode Akun	Jenis Akun Belanja Pemeliharaan
523111	Belanja Biaya Pemeliharaan Gedung dan Bangunan
523112	Belanja Barang Persediaan Pemeliharaan Gedung dan Bangunan
523121	Belanja Biaya Pemeliharaan Peralatan dan Mesin
523122	Belanja Bahan Bakar Minyak dan Pelumas (BMP) serta Pelumas Khusus Non Pertamina
523123	Belanja Barang Persediaan Pemeliharaan Peralatan dan Mesin
523129	Belanja Biaya Pemeliharaan Peralatan dan Mesin Lainnya
523133	Belanja Biaya Pemeliharaan Jaringan
523136	Belanja Barang Persediaan Pemeliharaan Jaringan

Hasil rekapitulasi belanja modal dan belanja pemeliharaan BATAN pada DIPA 23 unit kerja selama 5 tahun, diperoleh grafik sebagai berikut:



Gambar 2. Grafik Belanja Modal dan Belanja Pemeliharaan

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa besaran belanja modal BATAN bervariasi setiap tahunnya dengan kecenderungan menurun dari tahun 2015-2017 dan memiliki kecenderungan naik dari tahun 2017-2018. Namun berbeda halnya dengan besaran belanja

pemeliharaan yang cenderung hampir sama besarnya setiap tahun. Rata-rata nilai belanja modal BATAN selama 5 tahun adalah Rp.183.918.944,- sedangkan rata-rata belanja pemeliharaan selama 5 tahun adalah Rp.37.748.485,-.

Belanja modal tertinggi terjadi pada tahun 2019 sebesar Rp. 271.085.029.000,-. Hal tersebut dikarenakan adanya pembatasan (*caping*) belanja barang pada tahun anggaran 2018 dan dialihkan untuk belanja modal pembelian peralatan dan mesin di unit kerja PAIR, PSTNT dan PSTA. Sedangkan belanja modal terendah pada tahun 2017 sebesar Rp. 89.147.119.000,-, dikarenakan adanya pemotongan APBNP pada tahun 2017. Belanja pemeliharaan tertinggi pada tahun 2016 sebesar Rp. 45.432.941.000,- digunakan untuk kegiatan belanja biaya pemeliharaan gedung dan bangunan serta belanja biaya pemeliharaan peralatan dan mesin. Sedangkan belanja pemeliharaan terendah pada tahun 2017 sebesar Rp. 31.926.230.000,-

### Analisis Hubungan antara Belanja Modal terhadap Belanja Pemeliharaan

Pada umumnya kenaikan anggaran belanja modal akan berpengaruh terhadap peningkatan alokasi anggaran pemeliharaan tahun selanjutnya, karena semakin meningkat aset akan meningkat pula biaya pemeliharaan, selain itu seiring dengan bertambahnya usia suatu aset akan membebani biaya pemeliharaan setiap tahun.

Untuk mengetahui tingkat hubungan antara belanja modal dan belanja pemeliharaan maka dilakukan analisis korelasi momen produk Pearson dengan variabel belanja modal dari tahun 2015 hingga tahun 2019 yang dikorelasikan dengan belanja pemeliharaan tahun 2016 hingga tahun 2020. Asumsi yang digunakan adalah belanja modal tahun N memiliki hubungan terhadap belanja pemeliharaan tahun berikutnya (N+1). Data belanja modal dan belanja pemeliharaan tahun 2015 – 2020 adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Alokasi Belanja Modal dan Belanja Pemeliharaan BATAN

Tahun	Alokasi Belanja	
	Modal (X)	Pemeliharaan (Y)
2015	174.593.750.000	
2016	115.358.995.000	45.432.941.000
2017	89.147.119.000	31.926.230.000
2018	269.409.829.000	35.927.508.000
2019	271.085.029.000	33.122.029.000
2020		37.887.321.000

Data belanja modal dan belanja pemeliharaan yang digunakan pada perhitungan ini adalah data Pagu DIPA BATAN 2015-2019. Data belanja pemeliharaan tahun 2020 menggunakan data Pagu Indikatif BATAN Tahun 2020 yang telah disetujui Kementerian Keuangan. Untuk melakukan perhitungan korelasi Pearson, langkah pertama adalah menentukan variabel X dan variabel Y yang akan dikorelasikan.

Tabel 3. Perhitungan Koefisien Korelasi dari variabel X dan Y

Data	Variabel (dalam Ribuan)				
	X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
2015	174.593.750	45.432.941	7.932.307.542.718.750	30.482.977.539.062.500	2.064.152.127.909.480
2016	115.358.995	31.926.230	3.682.977.806.938.850	13.307.697.727.410.000	1.019.284.162.012.900
2017	89.147.119	35.927.508	3.202.833.831.049.450	7.947.208.826.000.160	1.290.785.831.090.060
2018	269.409.829	33.122.029	8.923.400.169.023.040	72.581.655.961.809.200	1.097.068.805.076.840
2019	271.085.029	37.887.321	10.270.685.512.017.300	73.487.092.947.930.800	1.435.449.092.557.040
Jumlah	919.594.722	184.296.029	34.012.204.861.747.400	197.806.633.002.213.000	6.906.740.018.646.330

Berdasarkan hasil perhitungan koefisien korelasi momen produk Pearson data alokasi belanja modal 2015 – 2019 dan data alokasi belanja pemeliharaan 2016 - 2020, diperoleh nilai korelasi sebesar 0,0646. Menurut kategori, korelasi sebesar 0,0646 bermakna memiliki hubungan sangat lemah.

Nilai korelasi yang diperoleh dilanjutkan dengan uji determinasi ( $r^2$ ). Nilai yang diperoleh adalah sebesar 0,0042, menunjukkan bahwa variasi belanja pemeliharaan ditentukan oleh belanja modal sebesar 0,42%, sisanya 99,58% ditentukan oleh variabel lain yang tidak diteliti.

Berikutnya adalah melakukan uji T untuk melihat signifikansi hubungan antara belanja modal dan belanja pemeliharaan yang secara statistik dirumuskan dengan formula hipotesa sebagai berikut:

- H<sub>0</sub>: Tidak ada hubungan secara signifikan antara Belanja modal dengan belanja pemeliharaan
- H<sub>1</sub>: Ada hubungan secara signifikan antara Belanja modal dengan belanja pemeliharaan

Agar hipotesis di atas dapat dibuktikan, maka nilai T<sub>hitung</sub> dibandingkan dengan T<sub>tabel</sub>. Untuk menentukan nilai T<sub>tabel</sub>, asumsi yang digunakan adalah derajat kebebasan (dk)=n-2 dan taraf signifikansi (α = 5%). Besarnya T<sub>hitung</sub> dihitung dengan rumus:

$$T_{hitung} = \frac{rx(\sqrt{n-2})}{(\sqrt{1-r^2})} \dots\dots\dots \text{Persamaan (2)}$$

Berdasarkan langkah-langkah pengujian dua sisi, diperoleh nilai T<sub>hitung</sub> sebesar 0,112 dan nilai T<sub>tabel</sub> sebesar 0,765. Karena nilai T<sub>hitung</sub> < T<sub>tabel</sub>, maka H<sub>0</sub> diterima, sehingga kesimpulannya tidak ada hubungan secara signifikan antara belanja modal dengan belanja pemeliharaan. Dengan kata lain dapat disimpulkan bahwa pengalokasian anggaran belanja pemeliharaan belum memperhatikan perolehan aset tetap dari belanja modal tahun sebelumnya.

Ada beberapa kemungkinan yang menyebabkan tidak berpengaruhnya peningkatan alokasi belanja modal terhadap belanja pemeliharaan BATAN. Pertama, pengadaan aset sesuai dengan penghapusan aset lama yang sudah tidak fungsional lagi (tidak ada penambahan jumlah aset). Kedua, pengalokasian belanja modal sebagian besar digunakan untuk pengadaan aset tak berwujud sehingga tidak memerlukan biaya pemeliharaan. Ketiga, alokasi penganggaran tidak diprioritaskan secara maksimal untuk pemeliharaan aset, hal ini dimungkinkan karena keterbatasan pagu alokasi biaya pemeliharaan BATAN.

**Tinjauan Kebijakan Anggaran 2020**

Berdasarkan Peraturan Direktorat Jenderal (Perdirjen) Anggaran Nomor-1/PER/AG/2015, dasar perhitungan tambahan biaya pemeliharaan untuk tahun (N+1) ditetapkan sebesar 2% dari tambahan belanja modal tahun N dari realisasi tahun (N-1). Besaran ini diasumsikan sebagai anggaran pemeliharaan ideal. Dari Perdirjen Anggaran tersebut, diperoleh grafik berikut.



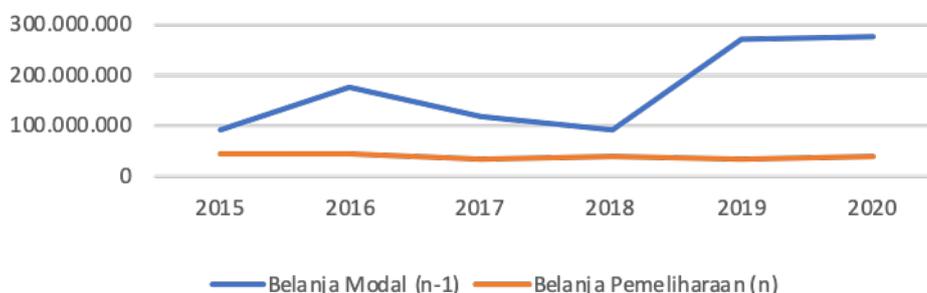
Gambar 3. Grafik Anggaran Pemeliharaan

Berdasarkan grafik di atas, tampak bahwa alokasi belanja pemeliharaan BATAN masih berada dibawah alokasi ideal. Anggaran pemeliharaan dengan beda (gap) terbesar terhadap kondisi ideal terjadi pada tahun 2017. Hal ini disebabkan karena adanya pemotongan anggaran sebanyak dua kali pada tahun 2017 sebagai tindak lanjut atas kebijakan nasional tentang penghematan dan pembatasan belanja barang (*caping*). Sedangkan kondisi yang mendekati kondisi ideal terjadi pada tahun 2016.

Pada tahun 2016 biaya pemeliharaan lebih tinggi dari kondisi ideal. Hal ini disebabkan karena adanya kebijakan pengelolaan penuaan fasilitas (*ageing management*) dengan memprioritaskan belanja biaya pemeliharaan peralatan dan mesin (523121) dan belanja biaya persediaan pemeliharaan peralatan dan mesin (523123) yang sebagian besar digunakan untuk pemeliharaan sistem instrumentasi dan kendali Reaktor Serba Guna G A Siwabessy (RSG GAS) milik Pusat Reaktor Serba Guna (PRSG).

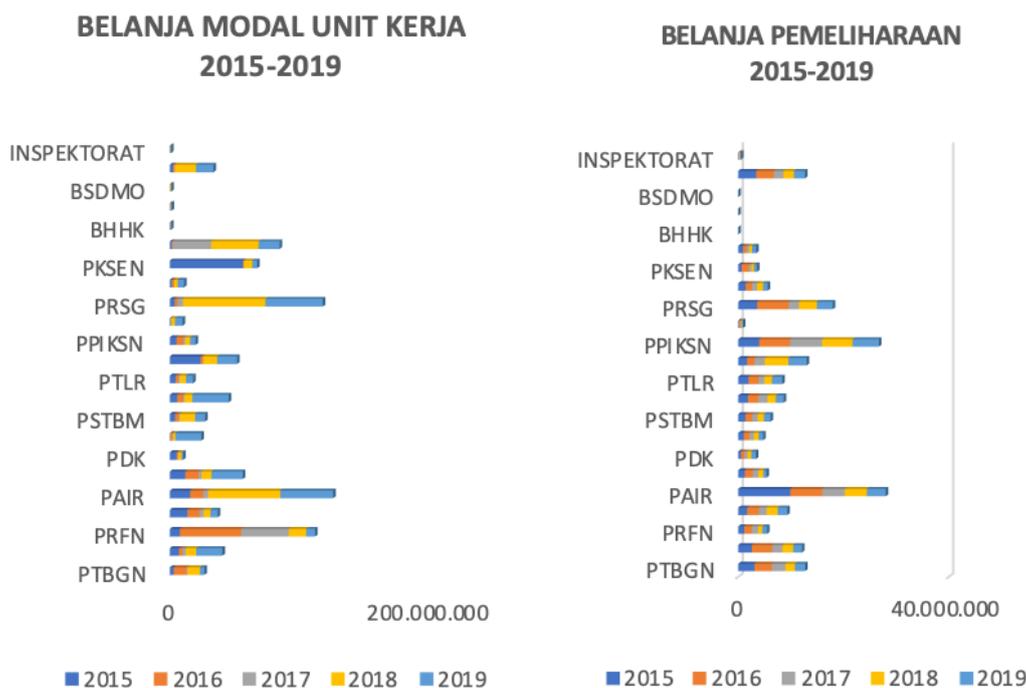
Jika biaya pemeliharaan tahun N dibanding dengan anggaran belanja modal tahun N-1, maka perubahan biaya pemeliharaan tidak mengikuti perubahan belanja modal. Hal ini ditunjukkan oleh grafik berikut.

### BELANJA PEMELIHARAAN TERHADAP MODAL TAHUN N-1



Gambar 4. Tren Alokasi Belanja Pemeliharaan Terhadap Belanja Modal

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa kenaikan signifikan belanja modal terjadi pada tahun 2016 dan 2019, namun tidak diikuti dengan kenaikan alokasi belanja pemeliharaan. Alokasi pemeliharaan aset umumnya konstan setiap tahunnya. Jika dilihat data alokasi belanja modal dan belanja pemeliharaan di masing-masing Satuan Kerja (Satker) selama 5 tahun, maka diperoleh grafik sebagai berikut.



Gambar 5. Alokasi Belanja Modal dan Pemeliharaan Satker

Dari grafik diatas dapat diperoleh salah satu informasi bahwa alokasi belanja modal PAIR setiap tahun semakin besar namun tidak diiringi dengan penambahan alokasi belanja pemeliharaan. Kondisi seperti ini dapat menyebabkan aset gedung bangunan maupun peralatan dan mesin yang dimiliki BATAN mengalami penurunan fungsi yang sangat cepat. Oleh karena itu, pada tahun 2020-2024 BATAN perlu merencanakan alokasi belanja pemeliharaan dengan menyusun *master plan* pemeliharaan aset BATAN.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa anggaran belanja modal BATAN bervariasi setiap tahun dengan kecenderungan menurun dari tahun 2015-2017 dan memiliki kecenderungan naik dari tahun 2017-2018. Berbeda halnya dengan belanja pemeliharaan yang cenderung memiliki anggaran yang hampir sama setiap tahun. Tidak ada hubungan secara signifikan antara belanja modal dengan belanja pemeliharaan, dengan kata lain pengalokasian anggaran belanja pemeliharaan belum memperhatikan perolehan aset tetap dari belanja modal tahun sebelumnya. Alokasi belanja pemeliharaan BATAN masih berada dibawah alokasi ideal, oleh karena itu pada perencanaan strategis 2020-2024 perlu direncanakan alokasi belanja pemeliharaan dengan menyusun *master plan* pemeliharaan aset BATAN.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala Biro Perencanaan Bapak Ir. Ferly Hermansyah yang telah mengizinkan untuk melakukan kajian ini. Selain itu kami juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh Tim Kajian Anggaran BATAN tahun 2019 atas kerja sama yang baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] HALL P, "*Economic Principle in Action*", New Jersey (2009).
- [2] Daragh C. at all, "*Government Expenditure Composition and Fiscal Policy Spillovers in Small Open Economies within A Monetary Union*", *Journal of Macroeconomics*, Vol 8 Pages 305-326, June (2016).
- [3] BASTIAN I, "*Akuntansi Sektor Publik di Indonesia*", Edisi Pertama, BPFE UGM dan Pusat Pengembangan Akuntansi UGM, Yogyakarta (2002).
- [4] SARAGIH JP, "*Desentralisasi Fiskal dan Keuangan Daerah dalam Otonomi*", Penerbit Ghalia Indonesia, (2003).
- [5] Mullen J.K. and Williams M., "*Maintenance and Repair Expenditure: Determinants and Tradeoffs with New Capital Goods*", *Journal of Economics and Business*, Vol 56, Issue 6, Page 483-499, November-Desember (2004).
- [6] Nie P., Wang C., and Yang Y., "*Vertical Integration Maintenance Commitments*", *Journal of Retailing and Consumer Services*, Vol 47, Page 11-16, March (2019).
- [7] ABDULLAH S. dan ABDUL H., "*Studi atas Belanja Modal Pada Anggaran Pemerintah Daerah Dalam Hubungan Dengan Belanja Pemeliharaan Dan Sumber Pendapatan*", *Jurnal Akuntansi Pemerintah* Vol 2 No 2, Hal 17-32, (2006).
- [8] <http://ejournal.upi.edu/index.php/BHS/article/download/48/16>. Diakses tanggal 15 Agustus 2019.
- [9] HALIM A, "*Akuntansi Keuangan Daerah*", Penerbit Salemba Empat, Jakarta (2004).
- [10] NORDIAWAN D., "*Akuntansi Sektor Publik*", Penerbit Salemba Empat, Jakarta, (2006)
- [11] Peraturan Pemerintah Nomor 71 Tahun 2010 tentang Standar Akuntansi Pemerintah, Jakarta (2010).
- [12] SUGIONO, "*Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*", Alfabeta, Bandung (2012)
- [13] SUDJANA N. "*Dasar-dasar Proses Belajar Mengajar*", Penerbit Sinar Baru Algensido Offset, Bandung (2004).

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## KAJIAN PERATURAN KEANDALAN BANGUNAN INSTALASI NUKLIR

**Dedi Hermawan**

*Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir – BAPETEN  
Jl. Gajah Mada No. 8 Jakarta Pusat 10120  
email: d.hermawan@bapeten.go.id*

### ABSTRAK

**KAJIAN PERATURAN KEANDALAN BANGUNAN INSTALASI NUKLIR.** Undang-Undang No. 28 Tahun 2002 serta Peraturan Pemerintah No. 36 Tahun 2005 tentang Bangunan Gedung telah menetapkan bahwa setiap bangunan gedung wajib diperiksa keandalannya serta memiliki sertifikat laik fungsi (SLF) sebelum difungsikan. Masa laku SLF untuk bangunan khusus, seperti reaktor nuklir, adalah 5 tahun dan harus diperpanjang sebelum masa laku SLF bangunan tersebut habis. Meskipun demikian, belum ada ketentuan khusus yang lebih rinci dan mengatur lebih jauh tentang keandalan ataupun SLF bangunan nuklir padahal instalasi nuklir pada umumnya akan memiliki potensi bahaya yang lebih apabila dibandingkan dengan bangunan pada umumnya. Pada makalah ini dilakukan kajian peraturan perundangan terkait dengan keandalan bangunan instalasi nuklir dengan menggunakan metode studi literatur terhadap beberapa dokumen peraturan perundangan di bidang bangunan gedung ataupun ketenaganukliran di Indonesia yang terkait dengan keandalan bangunan instalasi nuklir. Dari kajian dapat disimpulkan bahwa peraturan perundangan bangunan secara umum telah mewajibkan pemeriksaan keandalan bangunan dan pembaruan SLF secara berkala untuk memastikan bahwa suatu bangunan dapat digunakan sesuai fungsi peruntukannya secara aman dan selamat. Peraturan ketenaganukliran hanya mensyaratkan SLF sebagai salah satu persyaratan administrasi dalam memperoleh izin komisioning instalasi nuklir. Oleh sebab itu, instalasi nuklir yang ada sekarang diharapkan dapat melakukan pemeriksaan keandalan secara berkala serta memiliki SLF untuk memberikan keyakinan bagi pekerja, badan pengawas ataupun masyarakat umum bahwa bangunan instalasi nuklir masih layak digunakan sesuai fungsinya.

Kata kunci: Keandalan, Bangunan, SLF, Instalasi Nuklir.

### ABSTRACT

**ASSESSMENT ON BUILDING RELIABILITY REGULATION FOR NUCLEAR INSTALLATION.** Act No. 28 year 2002 and Government Regulation No. 36 Year 2005 concerning Buildings Structure determined that every building must be checked for its reliability and have a Building Construction Worthiness Certificate (SLF) before functioning. SLF validity period for special buildings, such as nuclear reactors, is 5 years and must be extended before it expires. Even so, there are no specific regulation that further regulate the reliability or SLF of nuclear buildings even though nuclear installations in general will have more potential hazards when compared to buildings in general. This paper review some Indonesian regulation relating to the reliability of nuclear installation buildings. This reasearch will be based on literature study method. Based on this review, it can be concluded that building regulations require that every building has reliability checks and SLF updates to ensure that it can be used safely for its intended function. Nuclear regulations only require SLF as one of the administrative requirements to obtain commissioning license for nuclear installation. Therefore, the existing nuclear installation is expected to be carry out periodic reliability checks and have an SLF to provide confidence for workers, regulatory bodies or the general public that the nuclear installation building is still reliable for use in accordance with its function.

Keyword: Reliability, Building, SLF, Nuclear Installation.

## PENDAHULUAN

Undang-Undang No. 28 Tahun 2002 tentang Bangunan Gedung telah menetapkan bahwa setiap bangunan gedung wajib diperiksa keandalannya sebelum difungsikan [1]. Undang-undang tersebut kemudian dijabarkan lebih lanjut dalam Peraturan Pemerintah No. 36 Tahun 2005 tentang Bangunan Gedung. Berdasarkan peraturan pemerintah tersebut, setiap bangunan gedung yang ada harus memiliki sertifikat laik fungsi (SLF) yang dapat diperoleh setelah pemeriksaan keandalan suatu bangunan. Untuk semua bangunan yang telah didirikan sebelum dikeluarkannya peraturan pemerintah tersebut, maka SLF harus telah dimiliki dalam jangka waktu paling lambat 5 tahun setelah berlakunya peraturan pemerintah tersebut [2].

Masa laku SLF setiap bangunan juga akan bergantung pada jenis fungsi bangunan tersebut. Pada Peraturan Pemerintah No. 36 Tahun 2005 disebutkan bahwa SLF berlaku selama 20 tahun untuk rumah tinggal tunggal dan rumah tinggal deret, serta berlaku 5 tahun untuk bangunan gedung lainnya. SLF tersebut harus diperpanjang kembali sebelum masa laku dari SLF bangunan tersebut habis.

Terkait dengan bangunan nuklir, Undang - Undang No. 28 Tahun 2002 telah menyatakan secara khusus bahwa reaktor nuklir termasuk dalam kelas bangunan gedung fungsi khusus sebagaimana juga dengan instalasi pertahanan dan keamanan serta bangunan lainnya yang diputuskan oleh menteri. Meskipun berdasarkan Undang-undang tersebut telah jelas dinyatakan bahwa reaktor nuklir merupakan bangunan fungsi khusus, namun belum ada ketentuan khusus yang lebih rinci dan mengatur lebih jauh tentang keandalan ataupun SLF untuk bangunan nuklir.

Padahal, instalasi nuklir akan memiliki potensi bahaya yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan bangunan lain pada umumnya. Potensi bahaya yang lebih tinggi ini selayaknya diiringi dengan pemeriksaan keandalan bangunan gedung yang sesuai untuk memastikan bahwa penggunaan bangunan gedung telah sesuai dengan peruntukannya. Dengan demikian segala proses pemanfaatan nuklir dalam bangunan tersebut dapat berlangsung secara selamat. Apabila tidak dilakukan pemeriksaan keandalan bangunan di instalasi nuklir, dikhawatirkan kondisi bangunan instalasi nuklir menjadi tidak terpantau. Dan apabila kondisi bangunan instalasi nuklir tersebut tidak andal dan dipaksakan untuk dipergunakan, bukan tidak mungkin dapat terjadi kerusakan atau kecelakaan struktur bangunan yang akan memicu pelepasan bahan nuklir atau radiasi yang dapat membahayakan pekerja, masyarakat dan lingkungan.

Sampai dengan saat ini, belum terdapat suatu tulisan yang membahas tentang keandalan bangunan untuk instalasi nuklir. Oleh sebab itu pada makalah ini akan dilakukan identifikasi peraturan perundangan terkait dengan keandalan bangunan instalasi nuklir. Dari tulisan ini diharapkan dapat dihasilkan formulasi dan suatu rekomendasi yang sesuai terkait dengan keandalan instalasi nuklir.

## TEORI

Bangunan gedung adalah wujud fisik hasil pekerjaan konstruksi yang menyatu dengan tempat kedudukannya, dan berfungsi sebagai tempat manusia melakukan berbagai aktifitas, baik untuk tempat tinggal, kegiatan keagamaan (beribadah), kegiatan usaha, kegiatan sosial, budaya, maupun kegiatan khusus [1]. Penggunaan suatu bangunan gedung sesuai dengan fungsi peruntukannya hanya dapat terwujud apabila keandalan dari bangunan tersebut tetap terjaga [3]. Untuk itu, setiap bangunan yang akan dibangun atau telah beroperasi, khususnya yang memiliki fungsi vital serta merupakan bangunan dengan tingkat kepentingan orang banyak akan membutuhkan pengawasan yang sangat ketat terhadap kualitas bangunannya dan harus memiliki jaminan laik fungsi [4].

Keandalan bangunan gedung adalah keadaan bangunan gedung yang memenuhi persyaratan keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan bangunan gedung sesuai dengan kebutuhan fungsi yang telah ditetapkan. Pasal 16 Undang-Undang No. 28 Tahun 2002 menyebutkan bahwa persyaratan keandalan bangunan gedung meliputi persyaratan keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan. Secara ringkas, persyaratan keandalan bangunan gedung berdasarkan undang-undang tersebut dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Persyaratan Keandalan Berdasarkan Undang-Undang No. 28 Tahun 2002 [1]

No	Jenis Persyaratan	Uraian Persyaratan
1	Persyaratan Keselamatan	kemampuan bangunan gedung untuk mendukung beban muatan
		kemampuan bangunan gedung dalam mencegah dan menanggulangi bahaya kebakaran
		kemampuan bangunan gedung dalam mencegah dan menanggulangi bahaya petir
2	Persyaratan Kesehatan	persyaratan sistem penghawaan
		persyaratan pencahayaan
		persyaratan sanitasi
		persyaratan penggunaan bahan bangunan gedung
3	Persyaratan Kenyamanan	kenyamanan ruang gerak
		kenyamanan hubungan antarruang
		kenyamanan kondisi udara dalam ruang
		kenyamanan pandangan
4	Persyaratan Kemudahan	kenyamanan tingkat getaran dan tingkat kebisingan
		kemudahan hubungan ke, dari, dan di dalam bangunan gedung
		kemudahan kelengkapan prasarana dan sarana dalam pemanfaatan bangunan gedung

Dari tabel 1 dapat dilihat bahwa persyaratan keandalan bangunan merupakan suatu persyaratan yang sangat komprehensif dan tidak hanya mencakup aspek keselamatan struktur bangunan saja tetapi juga mencakup persyaratan lainnya seperti kesehatan, kenyamanan dan kemudahan. Sebagai contoh, bahkan kenyamanan pandangan pun menjadi salah satu faktor penilaian keandalan bangunan. Dengan terpenuhinya seluruh persyaratan keandalan tersebut, maka diharapkan suatu gedung dapat digunakan dengan selamat sesuai dengan fungsinya.

## METODOLOGI

Dalam kajian ini, metodologi yang digunakan adalah dengan metode studi literatur terhadap beberapa dokumen seperti peraturan perundangan di bidang bangunan gedung ataupun ketenaganukliran yang terkait dengan keandalan bangunan instalasi nuklir yang terdapat di Indonesia. Peraturan dan perundangan yang dibahas pada makalah ini adalah Undang-undang No. 28 tahun 2002 tentang Bangunan Gedung, Peraturan Pemerintah No. 36 tahun 2005 tentang Bangunan Gedung, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 25/PRT/M/2007 tentang Pedoman Sertifikat Laik Fungsi Bangunan Gedung, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 16/PRT/M/2010 tentang Pedoman Teknis Pemeriksaan Berkala Bangunan Gedung, Peraturan Pemerintah No. 2 tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir Dan Pemanfaatan Bahan Nuklir, Perka BAPETEN No. 8 tahun 2012 tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Nondaya dan Perka BAPETEN No. 10 tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Identifikasi Keandalan Gedung Berdasarkan Peraturan Umum

Berdasarkan Undang-undang No. 28 tahun 2002 dan Peraturan Pemerintah No. 36 tahun 2005 telah dinyatakan bahwa setiap bangunan harus diperiksa keandalannya dan memiliki SLF sebelum dapat difungsikan sesuai peruntukannya. SLF merupakan suatu sertifikat yang diberikan oleh pemerintah setelah bangunan selesai dibangun dan telah memenuhi persyaratan dan pemeriksaan kelaikan fungsi bangunan gedung sebagai syarat pemanfaatan gedung. Atau dengan kata lain, SLF merupakan suatu bentuk pengakuan terhadap keandalan bangunan gedung. Dengan adanya SLF maka dapat dinyatakan bahwa bangunan tersebut dalam kondisi andal dan layak digunakan sesuai dengan fungsi peruntukannya.

Dengan diketahuinya keandalan suatu bangunan gedung, maka dapat diperoleh suatu keyakinan bahwa gedung tersebut dapat dipergunakan sesuai fungsi peruntukannya dengan

aman dan selamat. Dengan demikian keandalan bangunan gedung akan berpengaruh terhadap keselamatan pekerja di dalamnya. Namun demikian, tingkat keandalan bangunan gedung akan berkurang seiring waktu penggunaannya. Oleh sebab itu, setiap bangunan harus diperiksa ulang keandalannya secara berkala. Hal ini mutlak dilaksanakan karena sangat terkait dengan keselamatan sewaktu penggunaan bangunan tersebut.

Pemeriksaan keandalan bangunan sangat penting untuk dilakukan secara berkala karena sangat dimungkinkan terjadi berbagai perubahan yang telah berpengaruh terhadap keandalan suatu bangunan seperti contohnya:

1. Perubahan standar atau regulasi  
Seiring berkembangnya ilmu pengetahuan dan berubahnya kondisi lingkungan, maka sangat dimungkinkan terdapat perubahan pada regulasi ataupun kondisi lainnya yang berdampak pada bangunan gedung tersebut. Misalnya terdapat perubahan peta gempa sebagai bentuk perkembangan teknologi ataupun adanya informasi baru sehingga peta kegempaan menjadi lebih akurat. Sangat dimungkinkan suatu daerah memiliki perubahan potensi gempa dibandingkan yang sebelumnya. Hal ini sangat penting karena dapat menyebabkan suatu bangunan gedung memiliki perbedaan desain kegempaan pada saat desain dengan kondisi yang ada sekarang terutama apabila potensi kegempaan yang ada sekarang lebih besar dibandingkan pada saat desain awal.
2. Terjadinya perubahan penggunaan atau kondisi lingkungan.  
Setiap bangunan akan didesain sesuai dengan suatu desain dan kondisi tertentu dalam penggunaannya. Namun demikian seringkali terdapat perubahan penggunaan dalam bangunan tersebut sehingga secara kumulatif akan berpengaruh pada keandalan bangunan secara keseluruhan. Sebagai contoh adalah misalnya penambahan beban pada suatu ruangan yang sebelumnya tidak ada. Penambahan ini dapat berpengaruh pada struktur secara keseluruhan karena akan mempengaruhi struktur dan pondasi apabila beban yang diberikan melewati batas pembebanan pada desain awal.
3. Pemeliharaan yang tidak dilakukan secara tepat.  
Meskipun setiap bangunan didesain untuk dapat bertahan selama suatu waktu tertentu, namun tetap diperlukan kegiatan pemeliharaan agar bangunan tersebut tetap dapat andal. Oleh sebab itu, apabila pemeliharaan tidak dilakukan dengan benar, maka sangat dimungkinkan keandalan bangunan tersebut akan menurun lebih cepat dibandingkan dengan yang seharusnya.
4. Terjadinya bencana alam  
Terjadinya bencana alam atau kejadian lainnya dapat memberikan dampak secara langsung pada bangunan sehingga dibutuhkan pemeriksaan keandalan. Sebagai contoh bila terjadi gempa yang mengakibatkan adanya kerusakan bangunan, atau bahkan kebakaran pada suatu bangunan yang akan mengurangi keandalan suatu bangunan.

Dengan berbagai pertimbangan diatas, pengukuran keandalan secara berkala perlu dilakukan untuk tetap memastikan bahwa bangunan masih andal sehingga dapat digunakan secara aman. Dari berbagai persyaratan keandalan yang telah disebutkan sebelumnya, keselamatan merupakan syarat paling utama dalam menentukan keandalan bangunan gedung [5]. Oleh sebab itu setiap struktur bangunan gedung telah didesain agar mampu menahan semua beban dan/atau pengaruh luar yang mungkin terjadi selama waktu penggunaan bangunan.

Penilaian keandalan bangunan merupakan salah satu persyaratan dalam memperoleh SLF pada suatu bangunan. Masa laku SLF bangunan akan berbeda sesuai dengan fungsi suatu bangunan yaitu selama 20 tahun untuk rumah tinggal tunggal dan rumah tinggal deret, serta berlaku 5 tahun untuk bangunan gedung lainnya. Oleh sebab itu, diperlukan suatu penilaian berkala untuk meninjau ulang keandalan bangunan dan untuk memperoleh SLF sebagai bukti kelayakan penggunaan suatu bangunan. Untuk SLF sendiri, telah diterbitkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 25/PRT/M/2007 tentang Pedoman Sertifikat Laik Fungsi Bangunan Gedung yang memberikan acuan dalam tata cara penerbitan dan perpanjangan sertifikat laik fungsi bangunan gedung, pembinaan, dan yang lainnya [6].

Bahkan penilaian secara berkala ini, berdasarkan definisi, merupakan salah satu bagian dari pemanfaatan suatu bangunan gedung. Hal ini dapat dilihat dari definisi pemanfaatan berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 36 tahun 2005 yaitu kegiatan

memanfaatkan bangunan gedung sesuai dengan fungsi yang ditetapkan dalam izin mendirikan bangunan gedung termasuk kegiatan pemeliharaan, perawatan, dan pemeriksaan secara berkala.

Oleh sebab itu, pemeriksaan berkala merupakan suatu kegiatan yang sangat penting karena dalam pemeriksaan berkala tersebut dilakukan berbagai kegiatan pemeriksaan keandalan seluruh atau sebagian bangunan gedung, komponen, bahan bangunan, dan/atau prasarana dan sarananya dalam tenggang waktu tertentu guna menyatakan kelaikan fungsi bangunan gedung. Secara rinci, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 16/PRT/M/2010 Tentang Pedoman Teknis Pemeriksaan Berkala Bangunan Gedung telah diterbitkan pemerintah sebagai panduan rinci pelaksanaan pemeriksaan berkala pada bangunan gedung [7]. Pada peraturan menteri tersebut dijabarkan secara rinci berbagai pemeriksaan gedung yang dilakukan secara berkala terhadap:

- a. Komponen arsitektural bangunan gedung;
- b. Komponen struktural bangunan gedung;
- c. Komponen mekanikal bangunan gedung;
- d. Komponen elektrikal bangunan gedung; dan
- e. Komponan tata ruang luar bangunan gedung.

Dengan dilakukannya pemeriksaan suatu bangunan gedung, maka akan dapat ditentukan tingkat keandalan dari bangunan tersebut yang pada akhirnya dapat dijadikan dasar penerbitan SLF bangunan tersebut. Secara umum pemeriksaan tersebut terdiri dari pemeriksaan awal yang berupa kajian dokumen dan inspeksi visual yang kemudian dapat dilanjutkan pada pemeriksaan detil untuk mengevaluasi kondisi struktur dengan menggunakan serangkaian uji merusak ataupun tak merusak [8].

Salah satu hal yang perlu diperhatikan juga adalah terkait dengan fungsi bangunan gedung. Berbagai persyaratan keandalan yang ada akan ditetapkan berdasarkan fungsi bangunan gedung tersebut. Oleh sebab itu sangat dimungkinkan terjadi perbedaan persyaratan yang berbeda diantara satu bangunan dengan bangunan lainnya sesuai dengan fungsi penggunaannya.

Untuk instalasi nuklir, undang-undang No. 28 Tahun 2002 telah menyatakan dengan jelas bahwa reaktor nuklir termasuk kategori bangunan dengan fungsi khusus. Yang termasuk dalam kelas bangunan gedung fungsi khusus adalah instalasi pertahanan dan keamanan serta bangunan lainnya yang diputuskan oleh menteri. Dengan demikian, selain harus memenuhi peraturan yang ada secara umum juga harus memenuhi aturan khusus lainnya yang diterbitkan oleh instansi yang berwenang.

### **Identifikasi Keandalan Bangunan Instalasi Nuklir Berdasarkan Peraturan Ketenaganukliran**

Pada bagian ini akan dipaparkan identifikasi keandalan bangunan instalasi nuklir berdasarkan peraturan ketenaganukliran.

Secara khusus, istilah keandalan bangunan instalasi nuklir tidak ditemukan dalam peraturan ketenaganukliran. Meskipun demikian pada Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir disebutkan bahwa SLF bangunan dari kepala daerah merupakan salah satu persyaratan administrasi untuk memperoleh izin komisioning instalasi nuklir (reaktor nuklir dan Instalasi Nuklir Non Reaktor/INNR). Hal ini terdapat pada pasal 29 ayat 2 untuk izin komisioning reaktor nuklir serta pada pasal 79 ayat 2 untuk izin komisioning INNR [9].

Meskipun istilah keandalan bangunan tidak ditemukan secara khusus dalam peraturan ketenaganukliran, pembahasan tentang keandalan bangunan secara tidak langsung telah tercakup dalam peraturan ketenaganukliran. Seperti disampaikan pada bagian sebelumnya bahwa persyaratan keandalan bangunan gedung mencakup persyaratan keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan.

Secara tidak langsung pembahasan keempat persyaratan tersebut telah tercakup dalam proses perizinan instalasi nuklir. Sebagai contoh adalah persyaratan keselamatan yang didalamnya mencakup persyaratan kemampuan bangunan untuk mendukung beban muatan, mencegah dan menanggulangi bahaya kebakaran dan petir. Persyaratan ini telah tercakup dalam pembahasan laporan analisis keselamatan instalasi nuklir sebagai persyaratan pengajuan izin ke BAPETEN.

Pada Peraturan Kepala BAPETEN No. 8 Tahun 2012 tentang Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Nondaya misalnya disebutkan bahwa pemegang izin harus

memberikan uraian tentang ketahanan bangunan (gedung reaktor, struktur internal, beserta gedung dan struktur penunjang) terhadap kejadian internal dan eksternal [10]. Untuk INNR, hal ini terdapat pada Peraturan Kepala BAPETEN No. 10 Tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor pada Bab IV tentang Gedung dan Struktur [11]. Sedangkan pada bagian lainnya juga terdapat pembahasan tentang proteksi instalasi nuklir terhadap bahaya kebakaran ataupun petir sebagai persyaratan dokumen Laporan Analisis Keselamatan.

Meskipun demikian, sesuai dengan klasifikasi reaktor nuklir sebagai bangunan gedung fungsi khusus, ataupun instalasi nuklir pada umumnya, terdapat beberapa perbedaan antara bangunan nuklir dengan bangunan pada umumnya. Hal ini dikarenakan untuk instalasi nuklir merupakan instalasi dengan potensi bahaya radiasi yang akan memiliki persyaratan berbeda dengan bangunan pada umumnya. Beberapa contoh perbedaan persyaratan keandalan tersebut dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Contoh Perbedaan Persyaratan Keandalan Bangunan Umum dan Bangunan Nuklir

No	Jenis Persyaratan	Bangunan Umum	Bangunan Nuklir
1	Persyaratan Keselamatan	Bangunan umum didesain untuk mendukung beban muatan, mencegah dan menanggulangi bahaya kebakaran serta petir	Bangunan nuklir dapat memiliki fungsi tambahan sebagai pengungkung bahan nuklir atau perisai radiasi
2	Persyaratan Kesehatan	Menggunakan sistem sanitasi sebagai persyaratan kesehatan	Adanya pemisahan sistem sanitasi umum dengan yang berpotensi mengandung kontaminasi zat radioaktif
3	Persyaratan Kenyamanan	Kondisi ruang dibuat nyaman mungkin	adanya pembagian zona ruangan, tekanan negatif ruangan dan lainnya yang mungkin sedikit berpengaruh pada faktor persyaratan kenyamanan.
4	Persyaratan Kemudahan	Adanya kebebasan pergerakan atau perpindahan orang pada bangunan.	Adanya pembatasan akses di instalasi nuklir dengan tujuan untuk melindungi bahan nuklir atau zat radioaktif tetap berada di tempatnya dan tidak dapat diakses oleh pihak yang tidak berhak.

### Pengukuran Keandalan Bangunan Instalasi Nuklir di Indonesia

Seperti disampaikan pada bagian sebelumnya pengukuran keandalan dilakukan secara berkala untuk memperoleh SLF bangunan. SLF akan memiliki suatu masa berlaku tertentu yang harus diperpanjang sebelum masa berlaku SLF habis. Masa laku SLF untuk rumah tinggal tunggal dan rumah tinggal deret adalah selama 20 tahun serta berlaku 5 tahun untuk bangunan gedung lainnya.

Untuk instalasi nuklir, SLF pun telah tercakup dalam Peraturan Pemerintah No. 2 Tahun 2014 yang telah mensyaratkan SLF sebagai salah satu persyaratan administrasi pengajuan izin komisioning. Namun demikian, dalam peraturan pemerintah tersebut, persyaratan administrasi SLF tidak dipersyaratkan kembali pada tahapan izin selanjutnya terutama pada tahap izin operasi dimana pada tahapan tersebut instalasi nuklir dioperasikan untuk jangka waktu tertentu. Padahal SLF merupakan bukti bahwa suatu bangunan itu layak untuk dipergunakan sesuai fungsinya. Dengan tidak adanya SLF atau pemeriksaan keandalan secara berkala di instalasi nuklir, dapat memberi kesan bahwa instalasi nuklir tidak memperhatikan keandalan dari bangunan instalasi nuklir tersebut. Padahal, berdasarkan pembahasan pada bagian sebelumnya, meskipun tidak disebutkan secara khusus persyaratan SLF untuk instalasi nuklir pada tahapan perizinan instalasi nuklir (khususnya

operasi), unsur persyaratan keandalan sebagai penilaian SLF telah tercakup dalam persyaratan lainnya di proses perizinan instalasi nuklir misalnya dalam LAK instalasi nuklir.

Untuk instalasi nuklir yang ada sekarang ini, semuanya telah pada tahap operasi sebelum peraturan perundangan tentang bangunan gedung telah diterbitkan. Padahal berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 2 tahun 2014, SLF hanya merupakan persyaratan administrasi pada tahapan komisioning dan tidak dipersyaratkan pada tahapan selanjutnya. Sedangkan peraturan perundangan yang mewajibkan adanya SLF bagi semua bangunan baru diterbitkan pada tahun 2002 yang mungkin mengakibatkan setiap instalasi nuklir yang ada sekarang belum memiliki SLF karena SLF instalasi nuklir hanya diperlukan pada tahapan perizinan komisioning.

Meskipun demikian, dalam peraturan pemerintah tentang bangunan gedung telah dinyatakan dalam pasal ketentuan peralihan bahwa semua bangunan gedung yang telah didirikan sebelum dikeluarkannya Peraturan pemerintah tersebut wajib memiliki SLF paling lambat 5 tahun setelah dikeluarkannya peraturan tersebut.

Oleh sebab itu, meskipun persyaratan SLF hanya diperlukan pada tahapan komisioning (berdasarkan peraturan ketenaganukliran), namun peraturan perundangan bangunan gedung secara eksplisit telah mensyaratkan setiap bangunan diperiksa keandalannya secara berkala dan wajib memiliki SLF. Hal ini berlaku umum baik untuk bangunan umum ataupun dengan fungsi khusus seperti instalasi nuklir. Bahkan sebenarnya untuk instalasi nuklir, keandalan bangunan atau SLF sangat diperlukan karena bangunan bukan hanya berfungsi sebagai struktur tetapi juga dapat berfungsi sebagai pengungkung sumber radiasi.

Dengan dilakukannya pemeriksaan keandalan dan pembaruan SLF bangunan instalasi nuklir secara berkala akan memberikan keyakinan bagi pemilik instalasi, badan pengawas ataupun masyarakat umum bahwa bangunan instalasi nuklir tetap layak untuk digunakan sesuai fungsinya. Apalagi dengan kondisi penuaan yang terjadi di instalasi nuklir, maka penilaian berkala keandalan struktur akan memberikan informasi sejak dini tentang penuaan bangunan instalasi nuklir serta tindakan yang harus dilakukan untuk menangani atau memperbaiki segala kerusakan yang terjadi. Dengan demikian, hal ini akan meningkatkan keyakinan keselamatan penggunaan bangunan instalasi nuklir untuk melindungi keselamatan pekerja, masyarakat dan lingkungan.

## **KESIMPULAN**

Dari hasil kajian peraturan tentang keandalan bangunan instalasi nuklir ini dapat disimpulkan bahwa peraturan perundangan bangunan secara umum telah mewajibkan pemeriksaan keandalan bangunan dan pembaruan SLF secara berkala untuk memastikan bahwa suatu bangunan dapat digunakan sesuai fungsi peruntukannya secara aman dan selamat. Peraturan ketenaganukliran hanya mensyaratkan SLF sebagai salah satu persyaratan administrasi dalam memperoleh izin komisioning instalasi nuklir. Meskipun demikian, unsur-unsur persyaratan keandalan instalasi nuklir tersebut secara tidak langsung telah tercakup dalam laporan analisis keselamatan instalasi nuklir. Meskipun secara peraturan ketenaganukliran kewajiban syarat SLF hanya di tahapan perizinan komisioning, namun peraturan bangunan secara umum telah mewajibkan agar setiap bangunan dilakukan pemeriksaan keandalan secara berkala dan pembaruan SLF. Oleh sebab itu, instalasi nuklir yang ada sekarang diharapkan dapat melakukan pemeriksaan keandalan secara berkala serta memiliki SLF untuk memberikan keyakinan bagi pekerja, badan pengawas ataupun masyarakat umum.

## **UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada seluruh anggota Tim Pengkaji Bidang Pengkajian INNR di P2STPIBN yang telah mendukung penulis dalam melakukan kajian ini.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Undang - Undang, "Bangunan Gedung", Undang-Undang No. 28, Indonesia (2002).
- [2] Peraturan Pemerintah, "Bangunan Gedung", Peraturan Pemerintah No. 36, Indonesia (2005).
- [3] Antonius dan Hermin P., "Evaluasi Kondisi Lingkungan Dan Struktur Pada Bangunan Publik (Studi Kasus Kinerja dua Gedung di Semarang)", Seminar Nasional VII-IATPI, ITS Surabaya (2011).

- 
- [4] Sugeng P. Budio dkk, "Penelitian Keandalan Bangunan Sipil Pada Struktur Cerobong (Studi Kasus : Chimney PLTU Paiton Unit 6 dan 7)", Jurnal Rekayasa Sipil, Volume 6 , No. 3, Malang (2012)
  - [5] Samsunan, "Tinjauan Keandalan Bangunan Gedung Administrasi Rektorat Universitas Teuku Umar Meulaboh", Jurnal Teknik Sipil & Teknologi Konstruksi, UTU, Volume 3, No.4, hal 77 - 86 (2017).
  - [6] Peraturan Menteri, "Pedoman Sertifikat Laik Fungsi Bangunan Gedung", Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 25/PRT/M/2007, Indonesia (2007).
  - [7] Peraturan Menteri, "Pedoman Teknis Pemeriksaan Berkala Bangunan Gedung", Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 16/PRT/M/2010, Indonesia (2010).
  - [8] Wahyu W., "Penilaian Keandalan Struktur Bangunan Gedung Eksisting: Peraturan Dan Implementasinya", Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7), Universitas Sebelas Maret (UNS), Surakarta (2013).
  - [9] Peraturan Pemerintah, "Perizinan Instalasi Nuklir Dan Pemanfaatan Bahan Nuklir", Peraturan Pemerintah No. 2, Indonesia (2014).
  - [10] Perka BAPETEN," Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Reaktor Nondaya", Perka BAPETEN No. 8, BAPETEN (2012).
  - [11] Perka BAPETEN," 10 tahun 2006 tentang Pedoman Penyusunan Laporan Analisis Keselamatan Instalasi Nuklir Nonreaktor", Perka BAPETEN No. 10, BAPETEN (2006).

## PERAN PEMANGKU KEPENTINGAN DALAM MENDUKUNG PEMBANGUNAN PLTN

**Rr. Arum Puni Rijanti, Nur Hasanah**

*Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)  
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710  
email: apunir@batan.go.id*

### ABSTRAK

#### **PERAN PEMANGKU KEPENTINGAN DALAM MENDUKUNG PEMBANGUNAN PLTN.**

Salah satu tantangan terbesar yang dihadapi dalam melaksanakan program tenaga nuklir adalah mengamankan dan mempertahankan dukungan dari para pemangku kepentingan. Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) sesuai dengan definisi dan karakteristik megaprojek yang terdiri atas proyek yang membutuhkan komitmen investasi yang besar; kompleksitas yang luas (terutama dalam hal organisasi); dampak jangka panjang pada ekonomi, lingkungan, dan masyarakat; serta tetap berada di bawah pengawasan politik meskipun keputusan resmi akhir telah dibuat. Konstruksi mega proyek membutuhkan manajemen pemangku kepentingan yang efektif untuk menghindari potensi konflik kepentingan di antara para pemangku kepentingan. Telah dilakukan penelitian terhadap peran pemangku kepentingan dalam mendukung pembangunan PLTN pada fase konstruksi. Peran pemangku kepentingan pada proyek PLTN tahap konstruksi dianalisis secara mendalam pada faktor yang mengakibatkan pembengkakan biaya dan keterlambatan konstruksi dengan metode kualitatif-deskriptif. Hasil menunjukkan bahwa keterlibatan pemangku kepentingan ketika tidak dikelola dengan baik merupakan factor utama penyebab pembengkakan biaya dan keterlambatan konstruksi PLTN. Pengaruh keterlibatan pemangku kepentingan yang signifikan pada proyek terdiri atas produktivitas jadwal maupun sumberdaya, *Plant Support Engineering* (PSE), kesalahan disain / permintaan perubahan disain, kualitas pekerjaan dari kontraktor yang tidak berpengalaman, dan tata kelola proyek. Pengelolaan pemangku kepentingan dapat dilakukan dengan standarisasi dan adopsi pendekatan kolaboratif sehingga pelaksanaan pembangunan PLTN dapat berjalan dengan baik.

Kata kunci: Konstruksi PLTN, keterlibatan pemangku kepentingan, resiko, pembengkakan biaya, keterlambatan.

### ABSTRACT

**ROLE OF STAKEHOLDERS IN SUPPORTING PLTN DEVELOPMENT.** One of the biggest challenges faced in implementing a nuclear power program is securing and maintaining support from stakeholders. Nuclear Power Plant (PLTN) in accordance with the definition and characteristics of megaprojects consisting of projects that require a large investment commitment; broad complexity (especially in organizational matters); long-term impacts on the economy, the environment and society; and remain under political supervision even though the final official decision has been made. Mega project construction requires effective stakeholder management to avoid potential conflicts of interest among stakeholders. Research has been conducted on the role of stakeholders in supporting the construction of nuclear power plants in the construction phase. The role of stakeholders in the construction phase of the NPP project is analyzed in depth on the factors that cause cost overruns and delays in construction using qualitative-descriptive methods. The results show that stakeholder involvement when not managed properly is a major factor causing cost overruns and delays in the construction of nuclear power plants. The significant influence of stakeholder involvement on the project consists of schedule and resource productivity, Plant Support Engineering (PSE), design errors / design changes requests, quality of work from inexperienced contractors, and project governance. Stakeholder management can be done by standardizing and adopting a collaborative approach so that the implementation of nuclear power plant development can run well.

Keywords: NPP construction , stakeholders involvement, risk, cost overruns, delay.

## PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) memberikan kontribusi yang signifikan bagi ketersediaan listrik global. Pada tahun 2018, PLTN menyumbang 10% dari pasokan listrik global. Hingga Mei 2019, terdapat 452 reaktor tenaga nuklir yang beroperasi di 31 negara dengan kapasitas gabungan sekitar 400 GW. (*International Energy Agency*, 2019)

Proyek tenaga nuklir mewakili investasi besar, dengan potensi produktif yang besar. Investasi ini harus dilindungi dan kemampuan produktifnya dipertahankan (*International Atomic Energy Agency*, 1999). PLTN adalah proyek padat modal dengan waktu yang panjang untuk perizinan, pengembangan dan konstruksi. Biaya modal ini harus dibiayai oleh sponsor proyek. Proyek PLTN sangat sensitif terhadap pemborosan konstruksi, karena hal ini meningkatkan jumlah bunga yang harus dibayar sebelum pendapatan dihasilkan. Dalam kasus PLTN, pertimbangan utama adalah keselamatan dalam operasi dan ini menyiratkan bahwa kualitas manufaktur dan konstruksi harus memiliki standar yang luar biasa (*World Nuclear Association*, 2018)

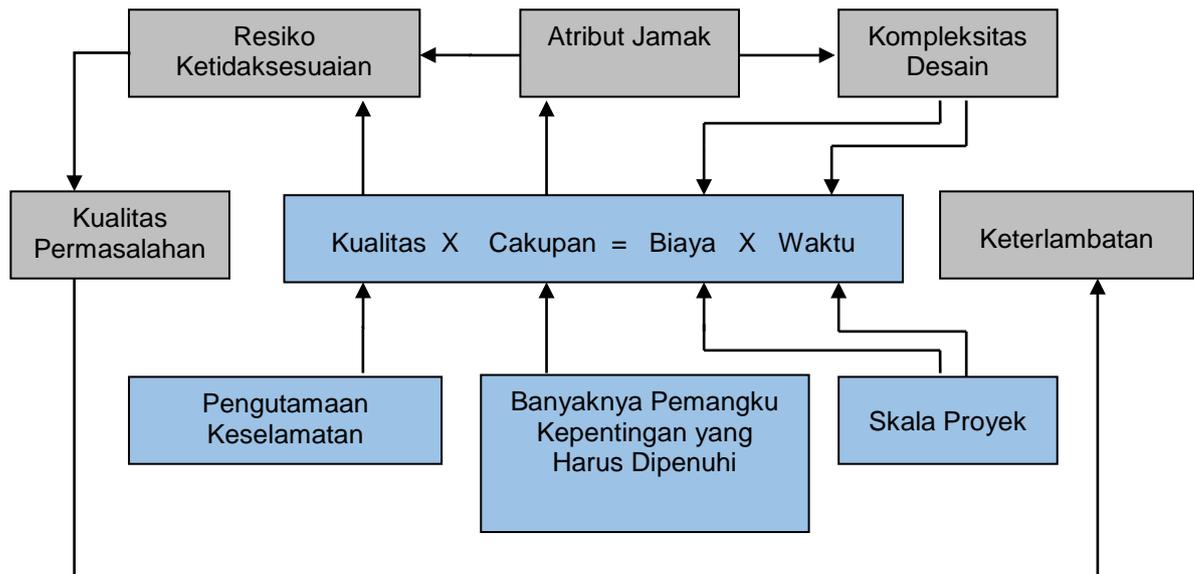
Proyek besar biasanya didefinisikan sebagai proyek dengan anggaran di atas \$ 1 miliar yang melibatkan inovasi dan kompleksitas tingkat tinggi. Seiring berjalannya waktu, ambang biaya deterministik tidak sesuai untuk mendefinisikan suatu proyek besar. Proyek besar merupakan proyek yang ditandai oleh komitmen investasi yang besar, kompleksitas yang luas (terutama dalam hal organisasi), dan dampak jangka panjang pada ekonomi, lingkungan, dan masyarakat. Faktanya, megaprojek "tetap berada di bawah pengawasan politik meskipun keputusan resmi akhir telah dibuat. Perencanaan dan pengiriman megaprojek melibatkan sejumlah besar organisasi dan kadang-kadang perencanaan dan pengiriman berlangsung lebih lama daripada organisasi itu sendiri. Dengan demikian, PLTN sesuai dengan definisi dan karakteristik megaprojek. (Assaf and Al-Hejji, 2006)

Dalam konstruksi, keterlambatan dapat didefinisikan sebagai waktu perkembangan proyek di luar tanggal penyelesaian yang ditentukan dalam kontrak, atau di luar tanggal yang disepakati para pihak yang terlibat dalam proyek. Bagi pemilik, keterlambatan berarti kehilangan pendapatan karena kurangnya fasilitas produksi dan ruang sewaan atau ketergantungan pada fasilitas saat ini. Dalam beberapa kasus, bagi kontraktor, penundaan berarti biaya *overhead* yang lebih tinggi karena masa kerja yang lebih lama, biaya material yang lebih tinggi melalui inflasi, dan karena kenaikan biaya tenaga kerja. Menyelesaikan proyek tepat waktu merupakan indikator efisiensi, tetapi proses konstruksi tunduk pada banyak variabel dan faktor yang tidak dapat diprediksi, yang dihasilkan dari banyak sumber. Sumber-sumber ini termasuk kinerja para pihak, ketersediaan sumber daya, kondisi lingkungan, keterlibatan pihak lain, dan hubungan kontrak. Namun, jarang terjadi bahwa proyek selesai dalam waktu yang ditentukan. (Assaf and Al-Hejji, 2006)

Penulis melakukan analisis terhadap peran pemangku kepentingan dalam mendukung pembangunan PLTN. Penelitian difokuskan pada fase konstruksi PLTN dimana fase pembangunan PLTN dibagi menjadi tiga tahap mengacu pada pedoman IAEA seri Energi Nuklir no.NG-G-3.1 edisi revisi, yaitu pengambilan keputusan membangun PLTN, konstruksi PLTN, dan operasional PLTN. Peran pemangku kepentingan pada proyek PLTN tahap konstruksi dianalisis secara mendalam pada faktor yang mengakibatkan pembengkakan biaya dan keterlambatan konstruksi.

## TEORI

Cakupan dari suatu proyek sebaiknya ditentukan secara jelas dan termasuk dalam tujuan pemangku kepentingan kunci, yang mana teridentifikasi dan telah dinegosiasikan pada tahap awal proyek. Hal ini seharusnya membatasi kompleksitas disain dan mengurangi resiko ketidakkonsistenan yang memicu ketidaksesuaian lebih lanjut dari rantai pasok. Gambar 1 menunjukkan bagaimana faktor kualitas, cakupan, biaya dan jadwal berinteraksi serta menambahkan kompleksitas proyek dan penyelesaian resiko proyek. Resiko terhadap keterlambatan dan anggaran yang membengkak secara khusus berpengaruh signifikan dalam proyek keteknikan *first-of-a-kind* (FOAK). Dua hal tersebut juga muncul ketika teknik-teknik baru digunakan, seperti modularisasi. Biaya dapat meningkat secara eksponensial ketika organisasi manajemen proyek mencoba untuk menyelesaikan beberapa inkonsistensi saat pembuatan dan konstruksi sedang berlangsung. Karena itu, keunggulan dalam manajemen proyek mencakup *sweet spot* tanpa mengorbankan keselamatan dan kualitas atau mengurangi kendala anggaran atau jadwal. (*International Energy Agency*, 2019)



Gambar 1 Faktor Pendorong Pembengkakan Biaya dan Keterlambatan Proyek (International Energy Agency, 2019)

Standardisasi adalah peran kunci dalam keberhasilan Korea Selatan mengatasi masalah keterlambatan konstruksi PLTN. Standardisasi dibagi menjadi dua: standardisasi teknis dan standardisasi "rantai pengiriman proyek". Standardisasi teknis yaitu pembangunan infrastruktur dengan disain yang sama (atau sangat mirip) berulang kali, dan standardisasi "rantai pengiriman proyek", yaitu pemangku kepentingan yang sama yang terlibat dalam penyampaian proyek yang dapat ditiru beberapa kali. (Locatelli, 2018)

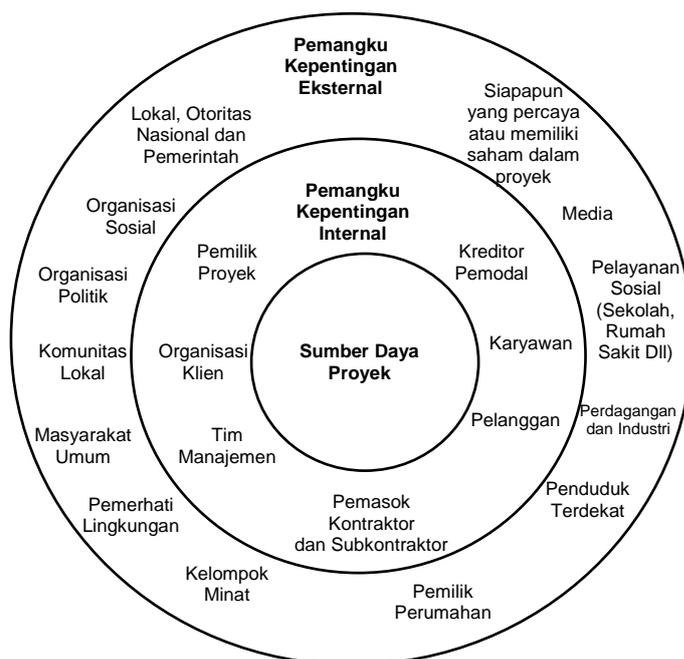
Untuk memungkinkan terwujudnya sistem yang kompleks, seperti proyek pembangunan PLTN baru (*Nuclear New Build / NNB*) di lingkungan multi dimensi, diperlukan pendekatan multi disiplin. Sistem manajemen proyek klasik mencakup aspek-aspek berikut kepemimpinan bersama, kompetensi sosial dan kecerdasan emosi, komunikasi, keterampilan dalam politik organisasi dan pengakuan akan pentingnya visi, dan nilai-nilai. Untuk mencapai target, tata kelola proyek standar tidak lagi cukup dan "tata kelola proyek" harus berkembang menjadi "tata kelola sistem". Fokus rekayasa sistem khususnya pada tahap proyek sebelumnya. Tahapan-tahapan ini adalah definisi proyek (lingkup manajemen), manajemen pemangku kepentingan proyek dan perencanaan proyek (semua aspek yang terkait dengan tata kelola proyek). Hal ini merupakan aspek utama dalam bidang nuklir, termasuk keputusan tentang ukuran reaktor (masalah multi dimensi yang memerlukan evaluasi beberapa aspek), definisi konfigurasi rantai pasokan terbaik untuk budaya lokal dan konfigurasi politik (termasuk semua pemangku kepentingan eksternal), atau rencana keseluruhan yang realistis tanpa bias dari kepentingan pribadi atau ideologis. (Mancini, Locatelli and Sainati, 2015)

Keterlibatan pemangku kepentingan adalah faktor keberhasilan penting proyek (*Project Success Faktor / PSF*) yang memiliki efek positif pada meminimalkan kelebihan biaya dan keterlambatan jadwal. Menyelaraskan pemangku kepentingan utama dengan strategi proyek di Australia pada berbagai tahap *life-cycle* proyek memiliki efek positif langsung dan signifikan terhadap kualitas proyek. Konstruksi mega Proyek membutuhkan manajemen pemangku kepentingan yang efektif untuk menghindari potensi konflik kepentingan di antara para pemain. Konsep manajemen pemangku kepentingan memiliki pertimbangan kepada pemangku kepentingan sebagai penyedia sumber daya, dan potensi mempengaruhi untuk membantu atau membahayakan proyek. Adopsi manajemen pemangku kepentingan untuk mendorong tim manajemen sering berinteraksi dengan semua pemangku kepentingan dan menghasilkan efek positif seperti penyelesaian proyek yang tepat waktu dan memenuhi anggaran proyek. Tujuannya adalah untuk mengadopsi strategi win-win. (Riedel and Al-Keim, 2017)

Adopsi pendekatan kolaboratif merupakan pembagian peran antara para pemangku kepentingan. Lingkungan peraturan dimana PLTN berada, dirancang, dibangun dan dioperasikan memaksakan distribusi tanggungjawab yang berbeda antara para pemangku kepentingan yang terlibat di dalam proyek. Misalnya sponsor proyek PLTN, pada suatu waktu bertindak sebagai pihak yang melakukan kontrak dengan vendor teknologi reaktor maupun

pemasok utama untuk menjalankan konstruksi, selanjutnya bertindak sebagai pengambil alih PLTN saat komissioning. Namun sangat memungkinkan investor memiliki tujuan khusus untuk pembagian peran sponsor proyek, pengelola konstruksi dan dekomissioning. (*World Nuclear Association*, 2018)

Sumber daya proyek dapat dimodelkan terdiri dari pemangku kepentingan internal dan eksternal (Olander S., Landin, 2007). Pemangku kepentingan internal adalah perseorangan maupun organisasi yang memiliki dampak langsung pada proyek dan memiliki hubungan formal atau kontrak. Pemangku kepentingan eksternal perseorangan maupun organisasi yang secara tidak langsung terlibat dalam kegiatan proyek, tetapi dapat memengaruhi keputusan terkait proyek. Pada kasus-kasus konstruksi, penekanan pada pemangku kepentingan eksternal sangat diperlukan karena mengakibatkan keputusan bergeser di antara proyek dan selama implementasi proyek (Cleland, 2007). Contoh para pemangku kepentingan potensial untuk proyek konstruksi dimodelkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Pemangku Kepentingan Potensial untuk Proyek Konstruksi (Olander S., Landin, 2007)

## METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan metode kualitatif-deskriptif. Data penelitian diperoleh dari studi pustaka terkait faktor - faktor yang mempengaruhi proyek PLTN pada tahap konstruksi. Selanjutnya data dianalisis secara mendalam pada faktor yang mengakibatkan pembengkakan biaya dan keterlambatan konstruksi dari segi peran pemangku kepentingan. Setelah diperoleh generalisasi peran pemangku kepentingan, maka disimpulkan makna dibalik generalisasi tersebut.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Keterlibatan awal pemangku kepentingan menghasilkan setidaknya beberapa manfaat berikut: (i) Keterlibatan awal mengarah pada kemungkinan lebih rendah untuk mengembangkan disain yang buruk; (ii) Keterlibatan awal dalam tahap disain mengarah ke kemungkinan yang lebih tinggi dari disain yang lebih efektif, peningkatan operasi konstruksi, dan lebih sedikit scrap; (iii) Pengetahuan awal tentang pengguna akhir mengarah pada kepuasan pelanggan yang lebih tinggi mengenai fungsi dan penggunaan produk; (iv) Semakin banyak pemangku kepentingan mengetahui tentang penggunaan aktual produk oleh pelanggan atau pengguna akhir, semakin efisien operasi pemangku kepentingan dalam hal memenuhi kebutuhan dan tujuan pembeli; (v) Semakin banyak pemangku kepentingan mengetahui tujuan pasti dari spesifikasi disain, semakin banyak pemangku kepentingan dapat memenuhi atau merevisi spesifikasi tersebut dengan menyesuaikan kemampuan mereka; (vi) Keterlibatan awal memungkinkan ruang untuk solusi kreatif dan pertukaran ide yang intensif;

(vii) Keterlibatan awal mengarah pada prosedur yang disinkronkan dan dijalankan secara bertahap. (Aapaoja, Haapasalo and Söderström, 2013)

Alsharif dan Karatas (2016) telah mengidentifikasi tiga belas faktor penyebab keterlambatan proyek PLTN. Tiga belas faktor tersebut terdiri atas (1) pembaruan jadwal yang hilang karena berdampak pada keakuratan laporan, antarmuka, dan lepas dari tugas; (2) kekurangan disain; (3) perubahan ruang lingkup; (4) kinerja kontraktor; (5) keterlambatan pemesanan dan pementasan material di lokasi, terutama material timbal panjang; (6) pendanaan; (7) produktivitas jadwal mencakup perkiraan durasi yang tidak akurat, logika jadwal yang tidak akurat, dan tidak ada detail yang cukup dalam jadwal; (8) produktivitas sumber daya mencakup perkiraan tenaga kerja yang tidak akurat, tingkat keterampilan sumber daya, perataan sumber daya yang tidak akurat, dan keterlambatan dalam mobilisasi sumber daya; (9) *Plant Support Engineering* (PSE); (10) kesalahan disain / permintaan perubahan teknik; (11) regulasi pengambilan keputusan pemilik; (12) cuaca.; (13) alasan kecil lainnya untuk keterlambatan seperti alat, peralatan, dan koordinasi yang buruk. Untuk memvalidasi kerangka kerja ini, studi kasus dilakukan di Fermi 2, sebuah PLTN yang beroperasi di Michigan - AS, melibatkan pengumpulan data mingguan faktor-faktor penyebab keterlambatan dalam proyek-proyek yang sedang berlangsung. Setelah pengumpulan data, analisis yang lebih mendalam dilakukan untuk memahami faktor-faktor penyebab keterlambatan yang berdampak besar pada jadwal dan biaya proyek-proyek nuklir. Hasil menunjukkan bahwa tiga faktor utama penyebab keterlambatan untuk proyek-proyek nuklir terdiri atas produktivitas baik itu jadwal maupun sumber daya, PSE, dan kesalahan disain / permintaan perubahan teknik. (Alsharif and Karatas, 2016)

Tingkat keparahan penyebab keterlambatan proyek oleh setiap pihak pemangku kepentingan disajikan dalam Tabel 1. Dalam Tabel 1 Daftar penyebab keterlambatan dikategorikan ke dalam sembilan kelompok. Masing-masing kelompok menunjukkan peran dari pemangku kepentingan.

Tabel 1 Penyebab Keterlambatan Proyek Dikategorikan Kelompok Pemangku Kepentingan (Riedel and Al-Keim, 2017)

No	Penyebab keterlambatan	Grup / Pemangku Kepentingan
1.	Durasi kontrak asli terlalu pendek	Proyek
2.	Sengketa hukum dengan berbagai bagian Proyek	Proyek
3.	Definisi Proyek penyelesaian substansial yang tidak memadai	Proyek
4.	Proyek penalti keterlambatan yang tidak efektif	Proyek
5.	Jenis kontrak konstruksi (Turnkey, hanya konstruksi)	Proyek
6.	Jenis penawaran dan penghargaan proyek (negosiasi, penawar terendah)	Proyek
7.	Tanggal pembayaran sedang berlangsung oleh Pemilik	Pemilik
8.	Tertunda untuk melengkapi dan mengirimkan situs kepada kontraktor oleh Pemilik	Pemilik
9.	Ubah pesanan oleh pemilik selama konstruksi	Pemilik
10.	Terlambat merevisi dan menyetujui dokumen desain oleh pemilik	Pemilik
11.	Keterlambatan dalam menyetujui gambar toko dan bahan sampel	Pemilik
12.	Komunikasi dan koordinasi yang buruk oleh pemilik dan pihak lain	Pemilik
13.	Kelambatan dalam proses pengambilan keputusan oleh pemilik	Pemilik
14.	Konflik antara kepemilikan bersama proyek	Pemilik
15.	Tidak tersedianya insentif bagi kontraktor untuk menyelesaikan lebih cepat dari jadwal	Pemilik
16.	Penangguhan pekerjaan oleh pemilik	Pemilik

17.	Kesulitan dalam proyek pembiayaan oleh kontraktor	Kontraktor
18.	Konflik dalam jadwal sub-kontraktor dalam pelaksanaan proyek	Kontraktor
19.	Ulang karena kesalahan selama konstruksi	Kontraktor
20.	Konflik dengan kontraktor berat dan pihak lain (konsultan dan pemilik)	Kontraktor
21.	Manajemen dan pengawasan lokasi yang buruk oleh kontraktor	Kontraktor
22.	Komunikasi dan koordinasi yang buruk oleh kontraktor dengan pihak lain	Kontraktor
23.	Perencanaan dan penjadwalan proyek yang tidak efektif oleh kontraktor	Kontraktor
24.	Metode konstruksi yang tidak tepat dilaksanakan oleh kontraktor	Kontraktor
25.	Keterlambatan dalam pekerjaan sub-kontraktor	Kontraktor
26.	Pekerjaan kontraktor yang tidak memadai	Kontraktor
27.	Sering berganti sub-kontraktor karena pekerjaannya yang tidak efisien	Kontraktor
28.	Kualifikasi staf teknis yang buruk	Kontraktor
29.	Keterlambatan dalam pengiriman ke lokasi	Kontraktor
30.	Keterlambatan dalam melakukan inspeksi dan pengujian oleh konsultan	Kontraktor
31.	Keterlambatan dalam menyetujui perubahan besar dalam lingkup pekerjaan oleh konsultan	Kontraktor
32.	Ketidakfleksibelan (kekakuan) konsultan	Kontraktor
33.	Komunikasi / koordinasi yang buruk antara konsultan dan pihak lain	Kontraktor
34.	Terlambat dalam meninjau dan menyetujui dokumen desain oleh konsultan	Kontraktor
35.	Konflik antara konsultan dan insinyur desain	Kontraktor
36.	Pengalaman konsultan yang tidak memadai	Kontraktor
37.	Kesalahan dan perbedaan dalam dokumen desain	Disain
38.	Keterlambatan dalam menghasilkan dokumen desain	Disain
39.	Detail gambar yang tidak jelas dan tidak memadai	Disain
40.	Kompleksitas desain proyek	Disain
41.	Kurang pengumpulan data dan survei sebelum desain	Disain
42.	Kesalahpahaman tentang persyaratan pemilik oleh insinyur desain	Disain
43.	Pengalaman tim desain yang tidak memadai	Disain
44.	Membatalkan penggunaan perangkat lunak desain teknik canggih	Disain
45.	Kekurangan bahan konstruksi di pasar	Bahan
46.	Perubahan jenis dan spesifikasi bahan selama konstruksi	Bahan
47.	Keterlambatan pengiriman material	Bahan
48.	Kerusakan bahan yang disortir saat dibutuhkan secara mendesak	Bahan
49.	Keterlambatan dalam pembuatan bahan bangunan khusus	Bahan
50.	Pengadaan bahan yang terlambat	Bahan
51.	Terlambat dalam pemilihan bahan finishing karena ketersediaan banyak jenis di pasar	Bahan
52.	Kerusakan peralatan	Peralatan
53.	Kekurangan peralatan	Peralatan
54.	Tingkat keterampilan operator peralatan yang rendah	Peralatan
55.	Produktivitas dan efisiensi peralatan yang rendah	Peralatan

56.	Kurangnya peralatan mekanik teknologi tinggi	Peralatan
57.	Kekurangan tenaga kerja	Tenaga Kerja
58.	Tenaga kerja yang tidak berkualitas	Tenaga Kerja
59.	Kebangsaan tenaga kerja	Tenaga Kerja
60.	Tingkat produktivitas pekerja yang rendah	Tenaga Kerja
61.	Konflik pribadi antar pekerja	Tenaga Kerja
62.	Efek kondisi bawah permukaan (mis., Tanah, muka air tinggi, dll.)	External
63.	Keterlambatan dalam memperoleh izin dari kotamadya	External
64.	Efek cuaca panas pada kegiatan konstruksi	External
65.	Efek hujan pada kegiatan konstruksi	External
66.	Tidak tersedianya utilitas di lokasi (seperti, air, listrik, telepon, dll.)	External
67.	Pengaruh faktor sosial dan budaya	External
68.	Kontrol lalu lintas dan pembatasan di lokasi kerja	External
69.	Kecelakaan saat konstruksi	External
70.	Kondisi situs (tanah) yang berbeda	External
71.	Perubahan peraturan dan hukum pemerintah	External
72.	Keterlambatan dalam menyediakan layanan dari utilitas (seperti air, listrik)	External
73.	Keterlambatan dalam melakukan inspeksi dan sertifikasi akhir oleh pihak ketiga	External

Pengaruh FOAK kepada megaprojek sangat mungkin memberikan hasil yang berbeda untuk memutuskan dua proyek konstruksi reaktor air bertekanan Eropa (*European Pressurized Water Reactor / EPR*). Meskipun teknologi yang digunakannya sama, dua proyek tersebut dieksekusi oleh rantai pemasok yang terpisah, setiap bagian yang tidak mengenal konteks pengaturannya akan merasakan pengaruh FOAK yang signifikan. Dalam proyek nuklir, perekrutan memainkan peran kunci pada kinerja suatu proyek terutama dalam hal mengelola informasi proyek. Dalam kasus Olkiluoto 3, AREVA adalah untuk pertama kalinya proyek konstruksi nuklir. Sedangkan untuk kasus Flamanville 3, reaktor dari perusahaan listrik negara Perancis, *Electricite De France / EDF*. EDF memiliki sejarah Panjang dalam membangun dan kommissioning reaktor dengan kapasitas 44 GW. Unit terakhir yang dibangun oleh EDF beroperasi pada tahun 2002 meskipun konstruksi selesai pada 1999. Meskipun demikian, EPR merupakan teknologi baru yang memberikan pengaruh FOAK yang signifikan pada pemain lama kelas EDF. Pada kasus Olkiluoto 3 dan Flamanville 3, keduanya memiliki otoritas pengaturan masing – masing yaitu otoritas keselamatan nuklir Perancis (*Autorité de Sûreté Nucléaire / ASN*) dan otoritas keselamatan nuklir dan radiasi Finlandia (*Säteilyturvakeskus / STUK*). Kedua proyek tersebut menahan fase konstruksi karena kualitas pekerjaan dari kontraktor yang tidak berpengalaman. (Mancini, Locatelli and Sainati, 2015)

Brookes dan Locatelli (2015) mengidentifikasi karakteristik 12 megaprojek pembangkit listrik (*Power Plant Megaprojects / PPM*) dengan sumber daya nuklir, batubara, dan energi terbarukan menggunakan uji Fisher (*Fisher Exact test*). Karakteristik yang dianalisis difokuskan yang berkorelasi dengan jadwal dan biaya konstruksi. Hasilnya menyoroti pentingnya teknologi modular, tata kelola proyek, dan keterlibatan pemangku kepentingan eksternal. (Brookes and Locatelli, 2015)

## KESIMPULAN

Keterlibatan pemangku kepentingan ketika tidak dikelola dengan baik merupakan faktor utama penyebab pembengkakan biaya dan keterlambatan konstruksi PLTN. Pengaruh keterlibatan pemangku kepentingan yang signifikan pada proyek terdiri atas produktivitas jadwal maupun sumberdaya, *Plant Support Engineering (PSE)*, kesalahan disain / permintaan perubahan disain, kualitas pekerjaan dari kontraktor yang tidak berpengalaman, dan tata kelola proyek. Pengelolaan pemangku kepentingan dapat dilakukan dengan standarisasi dan adopsi pendekatan kolaboratif sehingga pelaksanaan pembangunan PLTN dapat berjalan dengan baik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala Bidang Kajian Infrastruktur, Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional yang telah mengizinkan mengikuti kegiatan SIEN 2019 yang diselenggarakan di Universitas Tanjung Pura (UNTAN), Kalimantan Barat dan rekan penulis yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan makalah ini, serta keluarga yang telah banyak mendukung untuk selalu berkreativitas.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aapaoja, A., Haapasalo, H. and Söderström, P., "Early Stakeholder Involvement in the Project Definition Phase: Case Renovation", *ISRN Industrial Engineering*, pp. 1–14. doi: 10.1155/2013/953915, (2013).
- [2] Alsharif, S. and Karatas, A., "A Framework for Identifying Causal Factors of Delay in Nuclear Power Plant Projects", *Procedia Engineering*. Elsevier B.V., 145(248), pp. 1486–1492. doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.187, (2016).
- [3] Assaf, S. A. and Al-Hejji, S., "Causes of delay in large construction projects", *International Journal of Project Management*, 24(4), pp. 349–357. doi: 10.1016/j.ijproman.2005.11.010, (2006)
- [4] Brookes, N. J. and Locatelli, G., "Power plants as megaprojects: Using empirics to shape policy, planning, and construction management", *Utilities Policy*. Elsevier Ltd, 36, pp. 57–66. doi: 10.1016/j.jup.2015.09.005, (2015).
- [5] Cleland, D. I., "*Project Management: Strategic Design and Implementation*", *Fifth Edition*. Fifth. McGraw-Hill (2007)
- [6] International Atomic Energy Agency, "*Management of delayed nuclear power plant projects*". Vienna (1999).
- [7] International Energy Agency, "*Nuclear Power in a Clean Energy System*", *Nuclear Power in a Clean Energy System*. doi: 10.1787/fc5f4b7e-en, (2019).
- [8] Locatelli, G., "*Why are Megaprojects, Including Nuclear Power Plants, Delivered Overbudget and Late? Reasons and Remedies*" (2018). Available at: <http://arxiv.org/abs/1802.07312>.
- [9] Mancini, M., Locatelli, G. and Sainati, T., "The divergence between actual and estimated costs in large industrial and infrastructure projects: do we know the reasons?", pp. 177–188, (2015).
- [10] Olander S., Landin, A., "*Stakeholder impact analysis in construction project management, Construction Management and Economics*", (2007).
- [11] Riedel, E. and Al-Keim, A., "*Strategies to Reduce Cost Overruns and Schedule Delays in Construction Projects*", (2017).
- [12] World Nuclear Association, "*Lesson-learning in Nuclear Construction Projects*", *World Nuclear Association*. England and Wales: 2018/002 (2018).

## DISKUSI/TANYA JAWAB :

### 1. PERTANYAAN :

Dari penggolongan pemangku kepentingan jika ada beberapa pemeran, apakah ada pemeringkatan pemeran?

### JAWABAN :

Ada pemeringkatan pemeran dalam penggolongan pemangku kepentingan dilihat dari seberapa penting dan berpengaruh terhadap pelaksanaan proyek PLTN.

## **OPTIMASI KOMUNIKASI DALAM IMPLEMENTASI BUDAYA KESELAMATAN DI PDK**

**I. Aeni Muharromah, Bambang Pujiono**  
*BATAN, PDK Jl Lebak Bulus Raya no 49 Jakarta, 12440*  
*aeni@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

**OPTIMASI KOMUNIKASI DALAM IMPLEMENTASI BUDAYA KESELAMATAN DI PDK.** Pemanfaatan komunikasi sangat diperlukan dalam menanamkan budaya keselamatan (budkes) karena budkes merupakan konsep abstrak yang harus diakuisisi oleh seluruh anggota, dipahami kemudian dilaksanakan. Penilaian diri secara berkala penting dilakukan untuk melihat status budkes sehingga mudah ditelusur faktor penguatan dan pelemahannya. Tujuan tulisan ini untuk melihat bagaimana pemanfaatan kanal komunikasi dilakukan untuk mengimplemantasikan budkes. Menggunakan metode deskriptif kualitatif dengan teknik kuesioner kaji diri yang diisi oleh karyawan PDK dan wawancara dengan melihat 5 karakteristik budkes sesuai pedoman perka BATAN no 200 tahun 2012; menghasilkan angka 682 skala 1000 dengan deskripsi Baik tahun 2017. Dengan mengoptimalkan seluruh kanal komunikasi yang dilakukan dan diterapkan baik komunikasi horisontal, vertikal dan diagonal, verbal dan non verbal budkes terus disosialisasikan. Pemahaman budkes mengalami penguatan dengan hasil self- assessment tahun 2018 adalah 791 deskripsi baik. Penguatan ini dapat dilihat dari 5 karakteristik yang diukur yaitu: Keselamatan sebagai Nilai yang Diakui dan Dipahami, Adanya Kepemimpinan dalam Keselamatan, Adanya Akuntabilitas dalam Keselamatan, Keselamatan Terintegrasi dalam Setiap Kegiatan, dan Keselamatan Berkembang dari Proses Pembelajaran. Dengan pendekatan optimasi komunikasi verbal maupun non verbal melalui kegiatan K3, safety patrol penggerak penerapan budkes, simbol/rambu keselamatan, latihan kedaruratan dilakukan berkesinambungan dan rakor P2K3 maka budkes mengalami penguatan. Kesimpulannya adalah budkes harus terus dikomunikasikan dengan baik diikuti dengan komitmen dari 3 unsur pembuat kebijakan, manajer dan individu maka budkes bisa menguat dan dapat diimplementasikan.

Kata kunci : Komunikasi, Budaya Keselamatan, K3

### **ABSTRACT**

**COMMUNICATION OPTIMIZATION IN THE IMPLEMENTATION OF SAFETY CULTURE IN PDK,** The usage of communication is very necessary in instilling a culture of safety because safety culture is an abstract concept that must be acquired by all members, understood then implemented. Using descriptive qualitative method with the self-examination questionnaire, the data questionnaire technique filled by all PDK employees by looking at the 5 characteristics of the buddies in accordance with the guidelines for BATAN Regulation No. 200 of 2012; produce 682 scale 1000 with Good description in 2017. By optimizing all communication channels that are carried out and applied both horizontally, vertically and diagonally, verbal and non verbal the safety culture continue to be socialized. Understanding the safety culture has been strengthened with the result of the selft assessment in 2018 which are 791 good descriptions. This strengthening can be seen from 5 measured characteristics, namely: Safety as a Value Recognized and Understood, Presence of Leadership in Safety, Presense of Accountability in Safety, and Developing Safety of Learning Processes. With the approach of verbal and non verbal communication optimization through K3 activities, safety patrol, implementing the safety culture, symbol/safety signs, emergency exercises carried out contiuously and some reviews from P2K3 coordination meeting, the safety culture is strengthening. The conclusion is that the safety culture must continue to be well communicated followed by commitment from 3 elements of policy makers, managers and individuals so that the safety culture can be strengthened and implemented.

Key words: communication, safety culture and K3

## PENDAHULUAN

Budaya keselamatan merupakan konsep abstrak yang harus disampaikan dan dikomunikasikan kepada seluruh anggota yang terkait didalamnya supaya dapat dipahami, dimengerti dan dilaksanakan. Proses memahami budaya keselamatan atau disingkat budkes memerlukan serangkaian upaya komunikasi yang serius, inten dan berkelanjutan untuk dapat menjadi suatu budaya. Didukung dengan komitmen dari seluruh *stakeholder* dalam pelaksanaannya.

Keselamatan bagi individu atau organisasi merupakan hal penting yang tidak dapat ditawar atau dipandang sebelah mata. Hal ini dijamin Peraturan Pemerintah (PP no 50 tahun 2012) tentang sistem manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja atau SMK3.

Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) yang memiliki *core business* pengembangan iptek nuklir telah mengimplementasikan dan memprioritaskan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) di Satuan Kerja (Satker) dengan dasar hukum Peraturan Kepala BATAN nomor 200 tahun 2012 tentang Pedoman Penerapan Budaya Keselamatan di BATAN [5].

Organisasi sangat menyadari bahwa ranah budaya keselamatan sangat luas dan masing-masing individu memiliki konsep yang berbeda olah karena itu perlu adanya gambaran dan pemahaman konsep sebagaimana tertuang dalam perka di atas. Komunikasi sebagai alat untuk menyampaikan konsep dan persepsi mempunyai peranan besar.

Disamping itu, diperlukan keseriusan dan komitmen berkelanjutan dalam mengkomunikasikan budaya keselamatan. Pusat Diseminasi dan Kemitraan (PDK) secara berkesinambungan dan konsisten melaksanakan Kaji Diri atas pengimplementasian perka tersebut. Hal ini sejalan pemikiran dan ide Prasuad bahwa upaya untuk dapat menjadi budaya perlu usaha serius, berkelanjutan dan komitmen dari seluruh *stakeholder* organisasi dalam implementasi pelaksanaan program menumbuhkan budaya keselamatan [6].

Melalui berbagai program kegiatan pemahaman budkes terus dikomunikasikan, baik komunikasi vertikal, horisontal, diagonal, juga melalui komunikasi visual dan non verbal lainnya. Informasi dan pemahaman budkes dengan konsisten terus didengarkan dan disampaikan. Ini akan membantu membudayakan budkes di lingkungan tempat kerja. Setiap tahun implementasi budkes terus dievaluasi untuk dilihat, diamati dan dijadikan pedoman perbaikannya kedepan. Sejalan dengan pemikiran Prasuad [6] bahwa setiap organisasi memiliki tingkat pengertian/pemahaman yang bervariasi terhadap konsep budaya keselamatan sehingga perlu tindakan positif untuk mempengaruhi pemahaman tentang budaya keselamatan. Prinsip dasar yang digunakan adalah bahwa budaya keselamatan mempersyaratkan agar semua kewajiban yang berkaitan dengan keselamatan harus dilaksanakan secara benar, seksama, dan penuh rasa tanggung jawab.

Dengan memperhatikan unsur optimasi komunikasi melalui kegiatan Keselamatan, dan Kesehatan Kerja (K3), safety patrol, rapat koordinasi Panitia Pembina Keselamatan dan Kesehatan Kerja (P2K3) dan latihan kedaruratan. Sebagai motor penggerak implementasi budkes dapat terus dikomunikasikan secara terus menerus berkesinambungan dengan mengedepankan komitmen dari pimpinan dan seluruh *stakeholder*. Kaji Diri terhadap 5 karakteristik budkes perlu diupayakan beberapa pendekatan dan strategi komunikasi untuk dapat diimplementasikan sesuai harapan.

Tulisan ini bertujuan untuk melihat bagaimana budkes dikomunikasikan melalui serangkaian kegiatan terkait dengan Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Bagaimana konsep budaya keselamatan dikomunikasikan untuk dapat dipahami, dijalankan dan ditaati oleh seluruh peserta dengan menyasar 5 karakteristik budkes melalui berbagai kanal komunikasi baik komunikasi vertikal, horisontal, diagonal, verbal dan non verbal. Setelah dilakukan evaluasi adakah penguatan atau justru pelemahan. Pada akhirnya penguatan budkes diharapkan dapat mempengaruhi sikap dan prilaku individu dan organisasi dan meningkatkan arti penting keselamatan.

Dengan mempertimbangkan audit internal K3 dan hasil pembahasan rakor P2K3 maka rekomendasi dan pointer evaluasi dijadikan bahan review dalam melaksanakan kegiatan terkait dengan implementasi budkes. Pendekatan komunikasi yang dilakukan dalam berbagai tingkatan, baik formal struktural ataupun informal. Pendekatan ini merupakan bagian dari proses memberi pemahaman dan mendekatkan konsep budkes pada seluruh karyawan. Sejalan dengan pemikiran Prasuad [5], ada 2 hal yang paling mendasar dalam pengimplementasian budaya keselamatan yaitu budkes tidak dapat diukur langsung, untuk mengukurnya itu diperlukan standar tambahan dan budaya keselamatan dipandang sebagai suatu sistem manajemen. Sehingga butuh pendekatan-pendekatan lain bila proses konsep

budkes akan dijadikan budaya dalam suatu organisasi. Maka melalui pendekatan komunikasi inilah konsep karakteristik budkes digulirkan untuk dipahami dan diikuti oleh seluruh stake holder. Pendekatan ini memudahkan implementasi budkes di PDK ditambah lagi dengan komitmen pimpinan didukung oleh pegawai maka budkes diharapkan dapat menguat. Dengan demikian budkes dapat diterapkan pada banyak aspek organisasi.

## **METODOLOGI**

Tulisan ini menggunakan metode deskriptif dengan tehnik survei dan untuk melengkapi pembahasan dilakukan wawancara. Metode deskriptif yaitu metode yang hanya memaparkan atau memberi gambaran mengenai situasi dan peristiwa. Pendekatan deskriptif menurut Rakhmat [7] adalah bertujuan untuk melukiskan secara sistematis fakta dan karakteristik populasi tertentu dan bidang tertentu secara faktual dan cermat. Selanjutnya, dipertegas oleh Furchan [1] bahwa jenis riset deskripsi bertujuan membuat deskripsi secara sistematis, faktual, dan akurat tentang fakta-fakta dan sifat-sifat populasi atau objek tertentu.

Dengan melakukan teknik survei pada hampir 99% karyawan PDK sebanyak 59 responden mengisi self assement secara online 24 wanita dan 35 pria. Dilakukan serentak karyawan mengisi kuestioner tanggal 20 Desember 2018. Meskipun demikian ketika karyawan yang berhalangan hadir saat itu, mereka menyusulkan hasil questionernya. 5 unsur karakteristik budaya keselamatan serta 37 atributnya. Lima unsur karakteristik tersebut adalah Keselamatan sebagai nilai yang diakui dan dipahami, Kepemimpinan dalam Keselamatan, Akuntabilitas Keselamatan, Keselamatan Terintegrasi Dalam Seluruh Kegiatan, dan Keselamatan Merupakan Penggerak Pembelajaran berdasarkan perka no 200 tahun 2012.

Dilanjutkan dengan pengamatan langsung komunikasi dari beberapa kegiatan Safety Patrol, mempelajari audit K3, latihan penanggulangan kedaruratan dan sosialisasi kegiatan terkait dengan budkes dan menganalisis rapat P2K3.

## **TEORI**

### **Budaya Keselamatan**

Pengertian Budaya Keselamatan menurut definisi perka no 200 tahun 2012 adalah budaya keselamatan merupakan paduan sifat dan sikap organisasi dan individu yang menetapkan keselamatan sebagai prioritas utama dan menjadi pertimbangan sebagaimana arti pentingnya. Sedangkan keselamatan dan kesehatan kerja (K3) adalah kondisi dan faktor yang mempengaruhi, atau dapat mempengaruhi, kesehatan dan keselamatan pegawai atau pekerja lain (termasuk pekerja sementara), pengunjung atau orang lain di daerah kerja [6].

### **Optimasi**

Kata Optimasi berasal dari kata optimal artinya paling bagus/tinggi; tertinggi; terbagus; paling menguntungkan. [3] Optimasi berasal dari bahasa inggris *optimization* (n), kata benda yang berasal dari kata kerja (v) *optimize*. Kata kerja *optimize* berasal dari kata sifat (adj) optimal. Bentuk kata optimal dengan imbuhan ize akan membuat al pada optimal dipenggal sehingga hasilnya adalah *optimize*.

### **Komunikasi**

Sebagai makhluk sosial, komunikasi merupakan kebutuhan manusia untuk berinteraksi. Pengertian komunikasi menurut Richard West adalah proses sosial dimana individu-individu menggunakan simbol-simbol untuk menciptakan dan menginterpretasikan makna dalam lingkungan mereka [2]. Menurut Muhammad Ahmad Al Athar komunikasi merupakan proses memberi dan menerima berbagai makna diantara dua orang atau lebih.

Sementara itu dimensi komunikasi internal dalam suatu organisasi menurut Yulius Eka Agung dalam Rika Fatmala [8] adalah 1. *Downword Communication* yaitu komunikasi yang berlangsung pada tataran manajemen mengirimkan pesan kepada bawahannya guna mendapatkan timbal balik. Fungsi ini bisa berupa pemberian instruksi, penjelasan, penyampaian informasi dan pemberian motivasi. 2. *Upward Communication* yaitu komunikasi yang terjadi ketika bawahan mengirim pesan kepada atasannya, biasanya berupa penyampaian tugas persoalan pekerjaan, saran-saran perbaikan dan keluhan/hambatan dirinya atas pekerjaan yang dilakukan. 3. *Horizontal Communication* yaitu komunikasi yang berlangsung diantara pegawai atau bagian yang memiliki kedudukan yang setara. Biasanya

berupa perbaikan koordinasi, upaya pemecahan masalah, saling berbagi informasi, dan lain-lain.

Sementara itu Stephen P. Robbins dan Timothy A. Judge terkait dengan komunikasi internal [8] komunikasi dapat dibedakan menjadi komunikasi vertikal ke atas, vertikal ke bawah, dan horizontal.

Komunikasi verbal menurut Paulette J. Thomas [10] adalah penyampaian dan penerimaan pesan dengan menggunakan bahasa lisan dan tulisan. Dengan kata lain penyampaian komunikasi yang menggunakan simbol-simbol dan kata-kata, baik yang dinyatakan secara oral atau lisan maupun tulisan.

Sedangkan komunikasi non verbal adalah komunikasi yang menggunakan pesan nonverbal. Komunikasi pesan non linguistik. Komunikasi non verbal bisa berupa gesture, sikap, ekspresi wajah, pakaian atau simbol dari benda atau gambar. Menurut [Rika] dapat dibedakan menjadi kinesik, proksemik, artifaktual, paralinguistik, pesan sentuhan, pesan olfaksi.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dikarenakan Budaya keselamatan merupakan konsep abstrak maka harus dikomunikasikan secara intens, berkelanjutan dan konsisten. Setiap Satker di BATAN termasuk PDK didalamnya memiliki Panitia Pembina Keselamatan dan Kesehatan Kerja (P2K3) dan ini merupakan bentuk komitmen terhadap implementasi Budkes. Untuk bisa dipahami, diikuti dan dilaksanakan oleh seluruh anggotanya melalui Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3). Pelaksanaan audit SMK3 baik internal dan juga audit eksternal, *Safety Patrol*, rapat koordinasi P2K3 dan Latihan Kedaruratan merupakan kegiatan yang akan dilihat dari perspektif komunikasi verbal sedangkan rambu-rambu keselamatan sebagai komunikasi non verbal. Disamping itu komunikasi dalam pendekatan *personal approach* juga dilakukan dalam upaya membina dan mengimplementasikan budkes di lingkungan tempat bekerja PDK.

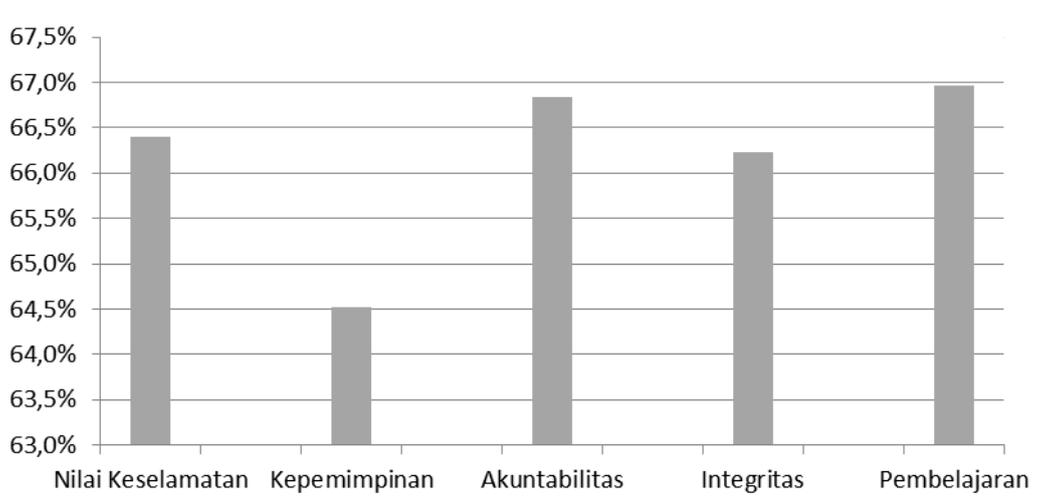
Untuk membangun pemahaman yang sama tentang budkes dengan memperhatikan 5 karakteristik budkes tersebut maka harus dilakukan penilaian secara berkala dan konsisten untuk melihat status budkes. Penilaian ini akan diidentifikasi untuk melihat faktor yang menguatkan atau yang melemahkan sehingga tindakan perbaikan dan pencegahannya dapat dilakukan dengan efektif. Responden berjumlah 60 pegawai, 24 wanita dan 36 pria mengisi kuesioner secara online.

Penilaian diri budaya keselamatan PDK tahun 2017 sebagaimana terlihat dalam tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik Budkes Nilai, Rangking dan Kategori 2017

Karakteristik Budaya Keselamatan	Nilai	Nilai (Skala 1000)	Rangking	Kategori Ranking
Keselamatan sebagai nilai yang diakui dan dipahami	69,8%	698	B	Baik
Adanya kepemimpinan dalam keselamatan	66,5%	665	B	Baik
Adanya akuntabilitas dalam keselamatan	68,1%	681	B	Baik
Keselamatan terintegrasi dalam setiap kegiatan	68,1%	681	B	Baik
Keselamatan berkembang dari proses pembelajaran	68,2%	682	B	Baik
Nilai Survey Budkes Satker	68,2 %	682,00	B	Baik

Poin yang terendah dari karakteristik budkes tersebut adalah Kepemimpinan dalam Keselamatan. Yang tertinggi adalah karakteristik Keselamatan sebagai nilai yang diakui dan dipahami



Gambar 1. Nilai Karakteristik Budaya Keselamatan PDK tahun 2017

Status nilai 5 atribut budaya keselamatan hasil kaji diri tahun 2017 sebagaimana dalam tabel 1 dan terlihat jelas dalam gambar 1 adalah gambaran awal satu budkes PDK tahun 2017. Melalui rekomendasi dan beberapa evaluasi internal P2K3 dan kegiatan lain seperti dijelaskan di atas bahwa komunikasi adalah hal penting atau suatu alat untuk lebih memberikan pemahaman budkes yang dapat mempengaruhi pola pikir, dan perilaku individu dan organisasi terhadap urgensi keselamatan. Melalui pendekatan komunikasi yang terus dibangun untuk menguatkan segala upaya pemahaman yang lebih baik. Berdasarkan rekomendasi bahwa komunikasi adalah alat bantu untuk mencapai tujuan tersebut. Selanjutnya pendekatan komunikasi terus diupayakan dan ditingkatkan, diamati dan diukur sebagai tindakan perbaikan. Komunikasi baik komunikasi verbal ataupun non verbal diintensipkan selama kurun waktu satu tahun yaitu tahun 2018. Selanjutnya bentuk komunikasi akan diklasifikasikan dalam komunikasi verbal meliputi vertikal, horisontal, diagonal dan komunikasi non verbal melalui rambu-rambu atau lambang-lambang keselamatan.

#### **Bentuk Komunikasi Vertikal**

Kegiatan yang mengedepankan komunikasi secara vertikal dan telah dilaksanakan yaitu mengkomunikasikan Budkes melalui Sosialisasi atasan terhadap bawahan secara berjenjang dalam hal ini Kapus terhadap pejabat struktural eselon III melalui rapat, rakor, instruksi ataupun diskusi. Tindak lanjut dari komunikasi secara vertikal dilanjutkan dengan sosialisasi budkes melalui eselon III ke eselon IV dan selanjutnya eselon IV akan disampaikan pada staf bawahannya sehingga informasi budkes sampai pada seluruh lapisan karyawan. Intensitas dan kualitas berkomunikasi terkait dengan kanal komunikasi vertikal terbanyak dilakukan adalah dalam rapat koordinasi Panitia Pembina Keselamatan dan Kesehatan Kerja (P2K3) sebanyak 4 kali tahun 2018. Notulen P2K3 akan disampaikan berjenjang oleh struktural kepada pegawai dibawahnya. Setiap bidang/bagian dan subbidang/subbagian sangat beragam. Reratanya dilakukan 2-3 kali dalam setahun, komunikasi vertikal secara formal dibangun paling tidak 2-3 kali dalam setahun. Komunikasi vertikal ini tetap dibangun oleh pejabat struktural melalui jalur informal namun dengan tujuan yang sama menyampaikan Budkes secara mengalir melalui obrolan dan diskusi informal. Pendekatan personal dengan komunikasi vertikal namun bersifat informal lebih menyentuh personal akan sangat baik dalam membangun kepercayaan dan komitmen. Pada tataran tertentu akan merubah pola pikir dan perilaku terkait pentingnya keselamatan.

#### **Komunikasi Horisontal**

Dalam rapat P2K3 terjadi diskusi terkait budkes dan temuan terkini dilaporkan, komunikasi horisontal dilakukan sesama pejabat struktural atau dilingkungan P2K3 sendiri. Komunikasi Budkes dapat dibicarakan secara formal ataupun informal secara horisontal melalui baik di tataran pimpinan, sesama karyawan dalam bentuk diskusi, sosialisasi. Informasi disampaikan juga bisa melalui obrolan, komunikasi visual media tanda rambu-rambu keselamatan yang dipasang didinding dan dapat dilihat setiap karyawan. Banner dan poster

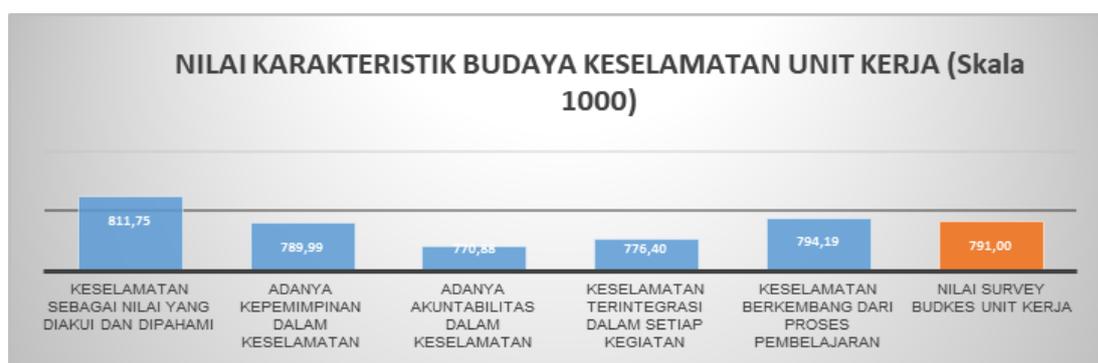
juga ditempatkan pada tempat yang banyak dijangkau oleh karyawan. Slogan berupa tulisan yang senantiasa menginformasikan maknanya seperti :  
“Jangan Gunakan Lift Ketika terjadi kedaruratan”, “Gunakan tangga darurat untuk Evakuasi”

### Komunikasi Diagonal

Latihan Kedaruratan melibatkan seluruh pegawai lintas bidang sehingga komunikasi yang terjadi jenis diagonal. Dalam koordinasi dan pelaksanaan memungkinkan komunikasi dan instruksi bersifat diagonal. Kegiatan ini dilakukan setahun sekali yang diikuti proses evaluasi untuk memupuk kesadaran budaya keselamatan dan memberikan kemampuan dan keterampilan dalam menanggulangi keadaan bahaya. Dengan kasus dan tema yang berbeda seperti bahaya konsleting listrik yang menyebabkan kebakaran, gempa bumi yang mengakibatkan ada korban luka patah, hingga bila terjadi kedaruratan radiasi dan lain-lain. Bagaimana menangani Kedaruratan, apa yang harus dilakukan dan apa yang harus disampaikan. Kondisi darurat untuk mengingatkan kita pada bahaya darurat sehingga kita harus tanggap dalam menanganinya. Dalam kegiatan ini banyak terjadi komunikasi diagonal atau campuran antara komunikasi vertikal dan horisontal. Kanal komunikasi ini lebih banyak melibatkan partisipan dan meluas sehingga nuansanya lebih cair, santai dan mengalir. Komunikasi diagonal banyak mentransfer nilai-nilai budaya keselamatan. Tabel 2 dan gambar 2 terlihat perubahan dan peningkatan nilai dari ke 5 karakteristik seiring dengan upaya meningkatkan pendekatan komunikasi yang terus dibangun.

Tabel 2 Karakteristik Budkes Nilai, Rangking dan Kategori 2018

Karakteristik Budaya Keselamatan	Nilai	Nilai (Skala 1000)	Rangking	Kategori Ranking
Keselamatan sebagai nilai yang diakui dan dipahami	197,25	811,75	B	Baik
Adanya kepemimpinan dalam keselamatan	263,07	789,99	B	Baik
Adanya akuntabilitas dalam keselamatan	105,61	770,88	B	Baik
Keselamatan terintegrasi dalam setiap kegiatan	125,00	776,40	B	Baik
Keselamatan berkembang dari proses pembelajaran	100,07	794,19	B	Baik
<b>NILAI SURVEY BUDKES UNIT KERJA</b>	<b>791,00</b>	<b>791,00</b>	<b>B</b>	<b>Baik</b>



Gambar 2 Nilai Karakteristik Budaya Keselamatan PDK tahun 2018

Kegiatan Safety Patrol; merupakan bentuk tindakan implementasi dan pengontrolan secara langsung yang sudah diselenggarakan secara rutin dalam kegiatan SMK3. Strategi komunikasi yang terjadi adalah campuran horisontal, vertikal dan diagonal. Secara sistemis ketika ada temuan ataupun tidak ada temuan petugas safety akan mengingatkan, mendokumentasikan keadaan lingkungan kerja juga menanyakan kepada karyawan terkait dengan kondisi keselamatan dan kesehatan yang diamati. Bahkan petugas menggali dan mengkomunikasikan hal tersebut kepada karyawan atau pimpinan.

Dengan mendatangi langsung ruang kerja, mengecek langsung kondisi ruangan, petugas safety patrol akan bertanya pada pegawai terkait misalnya tentang kenyamanan ruangan, mengontrol densible suara, melihat bagaimana stopkontak saklar kelistrikan, pencahayaan sinar matahari, dll. Kegiatan ini akan mengingatkan secara langsung pada seluruh karyawan bahwa keselamatan telah menjadi bagian dan urusan manajemen dan juga terkait dengan seluruh individu didalamnya.

Pelatihan kedaruratan memupuk kesadaran akan bahaya yang bisa terjadi di lingkungan kerja dan bagaimana menanggulangnya. Untuk melihat implementasi penerapan SMK3 di PDK dengan secara rutin melaksanakan latihan kedaruratan dan bagaimana menanggulangnya, mengevaluasinya dan mendokumentasikannya dengan baik. Dokumen tersebut dapat dijadikan acuan dan evaluasi penyelenggaraan kegiatan serupa.

Lima unsur karakteristik budaya keselamatan serta 37 atributnya. Lima unsur karakteristik tersebut adalah Keselamatan sebagai nilai yang diakui dan dipahami, Karakteristik: Kepemimpinan dalam keselamatan, Akuntabilitas keselamatan, Keselamatan Terintegrasi Dalam Seluruh Kegiatan, dan Keselamatan merupakan penggerak pembelajaran.

Kelima unsur tersebut sebagian besar sudah tercakup dan terakomodir dalam kegiatan Safety Patrol, Latihan Kedaruratan dan kegiatan SMK3 lainnya.

Bulan Februari yang diperingati sebagai bulan K3 dijadikan momentum untuk sosialisasi, Focus Group Discussin, Seminar, bahkan certes-cermat terkait dengan keselamatan dan kesehatan kerja. Seluruh komunikasi dalam kegiatan tersebut diatas menggunakan komunikasi verbal.

Komunikasi Non Verbal dibuat dan dilakukan terkait dengan kegiatan SMK3 adalah dipasang rambu-rambu keselamatan, jalur evakuasi, simbol dan tanda titik kumpul bila terjadi kedaruratan. Disamping itu peringatan-peringatan potensi bahaya, dekat hidran dipasang petunjuk bagaimana menggunakan hidran atau apar bila terjadi kondisi darurat. Disediakan tangga darurat dan lambang dan simbol tangga darurat.

Komitmen yang merupakan kesungguhan dalam melaksanakan budaya keselamatan terus dikomunikasikan melalui berbagai strategi dalam kegiatan. Untuk melihat konsep komitmen dalam menegakkan budaya keselamat dapat dilihat pada gambar dibawah ini yaitu tingkat pengambil kebijakan, manajer dan individu.

Komitmen tingkat pengambil kebijakan terkait dengan pernyataan kebijakan keselamatan, struktur manajemen, sumber daya, dan pengaturan sendiri. Untuk komitmen level manajer terkait dengan tanggungjawab, kendali praktek keselamatan, kualifikasi dan pelatihan, penilaian. Sementara itu komitmen tingkat individu meliputi sikap mempertanyakan, pendekatan yang ketat/waspada dan komunikasi.

Tabel 3 Perbandingan nilai karakteristik Budkes Nilai, tahun 2017 dan 2018

Karakteristik Budaya Keselamatan	Nilai 2017	Nilai 2018
Keselamatan sebagai nilai yang diakui dan dipahami	698	811,75
Adanya kepemimpinan dalam keselamatan	665	789,99
Adanya akuntabilitas dalam keselamatan	681	770,88
Keselamatan terintegrasi dalam setiap kegiatan	681	776,40
Keselamatan berkembang dari proses pembelajaran	682	794,19
<b>Nilai Survey Budkes Satker</b>	<b>682,00</b>	<b>791,00</b>

2 karakteristik yang paling tinggi dalam nilainya adalah Keselamatan Sebagai Nilai yang Diakui dan Dipahami dan Adanya Kepemimpinan dalam Keselamatan. Secara keseluruhan karyawan menyakini bahwa Keselamatan adalah nilai yang diakui konsep ini mudah diikuti dan sebagian besar karyawan menyadari bahwa Keselamatan berkembang dari proses

pembelajara. Peran penting lainnya adalah role model pimpinan yang sangat peduli pada unsur budaya keselamatan dan seluruh aspek yang menyangkut budkes.

Sementara itu karyawan kurang memahami kegiatan akuntabilitas terkait dengan keselamatan karena itu nilainya paling rendah. Mungkin ada persepsi yang menganggap bahwa keselamatan bagian biasa dari keseharian dan kurang menyadari apa harus terukur dan hasilnya senantiasa harus dipantau. Untuk menambahkan dan menyuburkan spirit seluruh pegawai dan pimpinan bahwa kegiatan dan upaya untuk meningkatkan nilai atribut ini harus menjadi perhatian yang serius.

## KESIMPULAN

Seluruh saluran komunikasi baik vertikal, horisontal, diagonal atau komunikasi verbal dan non verbal harus dilakukan dengan baik, berkesinambungan dan mengedepankan komitmen adalah kondisi ideal dalam mengimplementasikan budaya keselamatan di PDK. Bila seluruh saluran komunikasi tidak difungsikan dengan baik maka apresiasi karyawan dan nilai budaya keselamatan akan meluruh dan bisa saja menurun bila tidak diiringi dengan komitmen dari 3 unsur manajerial yaitu pengambil kebijakan, manajer dan individu. Dalam survei yang dilakukan *self-assesement* PDK dengan memfungsikan seluruh jenis komunikasi dengan baik maka hasil survei meningkat dari 682 menjadi 791,00 dengan kualifikasi baik. Namun demikian perlu dikaji lebih dalam terhadap identifikasi perbedaan terhadap tingkatan budkes yang ingin dicapai, analisis akar sebab dan tindakan perbaikan. Masih perlu dikaji lagi bagaimana menyusun dan menerapkan program perbaikan dan proses perubahan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih yang tak terhingga kami sampaikan pada Kepala Unit Jaminan Mutu PDK Duwi Susilowati yang telah membantu memberi masukan dan mengolah data. Ketua KPTF Heru Santosa, dan pimpinan Kasubbid Produksi Media dan Kepala Bidang PPM atas dorongan dan bimbingannya sehingga terwujud tulisan ini. Juga Kepala Pusat Diseminasi dan Kemitraan yang telah memberikan ijin penulis dalam mempresentasikan makalah ini. Semangat, dorongan dan spirit yang diberikan teman-teman pranata humas, semoga seluruh kebaikan yang telah Bapak/Ibu tanam saat ini tidak sia-sia.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. FURCHAN, "Pengantar Penelitian dalam Pendidikan" Pustaka Pelajar Offset, Jakarta (2004)
- [2] DESAK PUTU YULI KURNIATI, "Modul Komunikasi Verbal dan Non Verbal" Fakultas Kedokteran Universitas Udayana, Denpasar (2016)
- [3] JOHN M. ECHOLS, HASAN SHADILY, "Kamus Bahasa Inggris, An English-Indonesian Dictionary" PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta (2010)
- [4] HARDJANA, A. "Audit Komunikasi: teori dan praktek". PT. Grasindo, Jakarta (2000)
- [5] PRASUAD, "Budaya Keselamatan (Mengukur Budaya Keselamatan)", Pelatihan Audit Internal, Pusdiklat BATAN, Jakarta (2015)
- [6] PRASUAD, "Survey Budaya Keselamatan Berbasis Perka BATAN no 200/KA/X/2012" Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju- BATAN, Jakarta (2014)
- [7] RAHMAT, J., "Metode Penelitian Sosial", PT Remaja Rosdakarya, Bandung (2004)
- [8] RIKA FATMALA, "Pengaruh Lingkungan Kerja, Komunikasi Internal, dan Kerjasama Tim Terhadap Kinerja Pegawai di Dinas Kehutanan Provinsi Kepulauan Bangka Belitung" Skripsi Universitas Bangka Belitung, Babel (2017)
- [9] SUROKIM, "Riset Penelitian Komunikasi: strategi praktis bagi peneliti pemula", Prodi Komunikasi Fakultas Ilmu Sosial & Ilmu Budaya Universitas Trunojoyo Madura, Elmatara, Yogyakarta (2016)
- [10] WINI MULYANI, "Implementasi Komunikasi Verbal dan Non Verbal Dalam Proses Menghafal Juz Amma Pada Pendidikan Anak" Skripsi Prodi Komunikasi dan Penyiaran Islam UIN Jakarta, Jakarta (2011)

## **STRATEGI PENINGKATAN KESIAPAN MASYARAKAT KALIMANTAN BARAT TERHADAP PENDIRIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR**

**Nafsiatun, Priyo Saptomo**

*Fakultas Hukum, Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Dr. Hadari Nawawi, Pontianak, 78124  
email: nafsiatun@yahoo.co.id*

### **ABSTRAK**

**STRATEGI PENINGKATAN KESIAPAN MASYARAKAT KALIMANTAN BARAT TERHADAP PENDIRIAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR.** Pembangunan PLTN di Provinsi Kalimantan Barat merupakan salah satu alternatif diversifikasi sumber energi. PLTN telah memberikan citra menakutkan jika terjadi kecelakaan. Masyarakat memerlukan informasi yang benar tentang PLTN terutama antisipasi terhadap kebocoran. Penelitian ini bertujuan mengetahui respon masyarakat tentang kesiapannya menghadapi pendirian PLTN. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif dengan daerah sampel meliputi Kabupaten Bengkayang, Landak, Sanggau, Sambas, Mempawah dan Singkawang dengan responden masing-masing 50 orang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa lebih dari 95% masyarakat menginginkan sosialisasi dan lebih dari 87% masyarakat belum menerima sosialisasi tentang PLTN. Langkah strategis untuk meningkatkan kesiapan masyarakat Provinsi Kalimantan Barat menghadapi PLTN yaitu melalui rekayasa sosial yang didahului dengan komunikasi 2 arah.

Kata kunci: PLTN, Kalimantan Barat, strategi peningkatan, kesiapan masyarakat

### **ABSTRACT**

**STRATEGY FOR INCREASING COMMUNITY READINESS OF WEST KALIMANTAN ON ESTABLISHMENT NUCLEAR POWER PLANT.** The construction of a nuclear power plant in West Kalimantan Province is an alternative source of energy diversification. NPP has given a scary image in the event of an accident. The community needs correct information about nuclear power plants especially in anticipation of leakages. This study aims to determine the response of the public about its readiness to face the establishment of nuclear power plants. This research is a descriptive study with sample areas covering Bengkayang, Landak, Sanggau, Sambas, Mempawah and Singkawang districts with 50 respondents each. The results showed that more than 95% of the people wanted socialization and more than 87% of the people had not received information about the NPP. The strategic step to increase the readiness of the people of West Kalimantan Province to face the NPP is through social engineering that is preceded by 2-way communication.

Keyword: Nuclear Power Plant, West Kalimantan, strategy for increasing, community readiness

### **PENDAHULUAN**

Provinsi Kalimantan Barat merupakan salah satu provinsi yang mengalami kekurangan energi untuk kebutuhan industri, rumah tangga, pendidikan dan lain-lain. Berbagai upaya dilakukan untuk pemenuhan energi ini, antara lain melalui pembelian listrik ke negeri jiran Malaysia. Namun tingkat kebutuhan energi di Kalimantan Barat terus meningkat seiring dengan perkembangan industri yang mengolah sumber daya alam dengan tingkat kebutuhan energi tinggi. Oleh karena itu usulan pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Kalimantan Barat menjadi wacana yang meluas dan diperbincangkan dalam berbagai seminar, diskusi dan pertemuan ilmiah lainnya..

Kalimantan Barat menjadi salah satu pilihan lokasi pendirian PLTN dilihat dari sudut pandang letak geografis, kecilnya resiko akibat gempa bumi, dan populasi penduduk yang rendah tetapi luas wilayahnya sangat luas (dua setengah kali luas pulau Jawa [1]). Selain itu Kalimantan Barat memiliki cadangan uranium dengan jumlah yang paling besar di Indonesia yang mampu menjadi jaminan keberlanjutan PLTN.

Pembangunan PLTN merupakan suatu alternatif yang perlu dipikirkan dan dikaji secara mendalam oleh semua pihak karena berbagai dampak yang ditimbulkan baik positif maupun

negatif. Wacana pendirian PLTN di Gunung Muria, Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah yang direncanakan beroperasi tahun 2016 menjadi batal karena kuatnya resistensi masyarakat [2]. Penguatan diversifikasi pembangkit listrik mempunyai alasan yang kuat karena pertumbuhan penjualan listrik secara nasional mencapai 7,1 % dalam kurun waktu 2009-2014. Sementara itu kenaikan ini tidak diimbangi dengan penambahan kapasitas pembangkit yang hanya mencapai 5,2% per tahun [2]. Melihat tingkat konsumsi energi saat ini maka tuntutan mewujudkan teknologi baru bagi sumber energi makin menguat seiring makin menipisnya cadangan energi fosil. Kondisi ini memperkuat upaya realisasi pendirian PLTN di Indonesia. Namun pendirian ini akan memerlukan kajian yang luas salah satunya dari sudut pandang sosial, budaya dan lingkungan [3]. Provinsi Kalimantan Barat sebagai calon kuat lokasi pendirian PLTN mempunyai sosial, budaya dan lingkungan yang berbeda dengan calon lokasi PLTN sebelumnya yaitu Kabupaten Jepara, Provinsi Jawa Tengah. Jika memang pendirian PLTN ini telah disetujui dan disepakati sebagai salah satu alternatif diversifikasi pembangkit listrik di Indonesia maka kesiapan masyarakat terdampak PLTN harus ditingkatkan secara bertahap dan baik.

## TEORI

Pewacanaan kembali pendirian PLTN dapat dilihat dalam kerangka proses penentuan agenda kebijakan (*agenda-setting*) oleh para penentu kebijakan. Proses ini adalah pengakuan pemerintah terhadap suatu masalah publik yang perlu mendapatkan respon. Penentuan agenda adalah suatu proses melalui tuntutan dari berbagai kelompok masyarakat yang diterjemahkan dalam menu yang saling bersaing untuk mendapatkan perhatian serius dari para pengambil keputusan. Namun demikian secara empiris proses penentuan agenda tersebut sering muncul secara *top down* [2]. Implementasi kebijakan yang bersifat *top down* tidak mudah dilakukan. Hal ini terjadi karena administratur cenderung memerintah. Model ini sering disebut sebagai pendekatan rasional yang sifatnya *top down*. Gagasan ini dikembangkan oleh sejumlah analis seperti Andrew Dunsire, Christoper Hood dan Lewis Gunn. Kondisi ini tidak tepat dilakukan pada saat ini yang telah mencapai babak demokrasi dengan terbiasanya semua pihak dalam suatu negara untuk saling berkomunikasi. Komunikasi penting dalam suatu penyelesaian masalah. Pemerintah, pengusaha dan masyarakat yang merupakan komponen dalam suatu perkembangan ekonomi suatu negara perlu saling berkomunikasi untuk menghasilkan keputusan yang tepat [4]. Komunikasi menjadi proses untuk menyampaikan pendapat sehingga semua pihak mampu mengetahui, mengerti dan memahami. Oleh karena itu diperlukan komunikasi yang tepat bahasa, waktu dan sasaran.

### Teori Komunikasi

Beberapa pandangan dalam teori komunikasi menunjukkan bahwa pemahaman interaksi sangat penting. Pandangan perspektif mekanistik dalam teori komunikasi mengungkapkan setiap komponen mentransformasikan fungsinya masing-masing dalam suatu garis linier dalam gerakan yang sekuensial. Proses komunikasi dapat dipandang sebagai suatu serial dari rangkaian pelbagai objek yang bersifat sebab-akibat. Langkah yang paling efektif untuk mengkaji suatu objek adalah mengisolasi objek itu, kemudian meneliti setiap komponen lainnya berfungsi atau tidak. Adapun ruang lingkupnya yaitu studi komunikasi berpusat pada saluran dan peristiwa, atau fungsi-fungsi yang terjadi akibat saluran itu. Pengaruh saluran terhadap komunikasi, karakteristik sumber dan transmisi, dan sebagainya. Sementara pandangan perspektif psikologis menjelaskan subjektivitas manusia mempengaruhi stimulus yang mereka terima dan hasilkan. Setiap orang dapat memodifikasi stimulus yang mereka terima. Persepsi yang datang bersama stimulus diterima secara selektif, karena organisme membuat pilihan terhadap apa yang perlu direpson. Pandangan perspektif interaksionis menekankan kepada tindakan manusia dalam masyarakat. Memahami diri sendiri dimulai dari orang lain. Individu dapat dipahami melalui kegiatan interaksi dengan sesamanya dalam masyarakat. Komunikasi terjadi melalui pertukaran simbol yang berkaitan satu sama lain. Hubungan sosial terbentuk melalui proses komunikasi. Pandangan perspektif pragmatis menjelaskan pertukaran pesan yang komunikatif bukan pada individu, melainkan pada perilaku individu yang berinteraksi. Perilaku individu dihasilkan oleh perilaku orang lain. Dalam memahami komunikasi sebagai sistem, harus meneliti sistem perilaku [5]. Berdasarkan berbagai pandangan tersebut maka pemilihan metode komunikasi yang tepat menjadi parameter keberhasilannya.

### Konflik dalam Perspektif Komunikasi

Fungsi sosial masyarakat berkaitan erat dengan fakta-fakta sosial yang terjadi, fakta-fakta sosial terlihat dalam berbagai bentuk hubungan, baik individu, kelompok, maupun masyarakat. Fakta sosial terjadi dalam dua bentuk, yaitu: (1) dalam bentuk material yang memperlihatkan bagian dari dunia nyata (*external world*) contohnya arsitektur dan norma-norma hukum; (2) dalam bentuk nonmaterial, memperlihatkan sesuatu yang dianggap nyata. Fakta sosial jenis ini merupakan fenomena yang bersifat intersubjektif yang hanya dapat muncul dari dalam keadaan manusia contohnya, egoisme, altruisme, dan opine.

Keinginan-keinginan dalam kelompok masyarakat, bervariasi sesuai dengan kebutuhan, kebiasaan, serta perilaku dalam kehidupan individu, kelompok, dan masyarakat yang bersangkutan. Keinginan kelompok masyarakat yang harus dikemukakan terdiri atas: (1) keinginan dan tujuan suatu kelompok yang telah dibentuk oleh anggotanya dapat saja berbeda dengan kelompok lain; (2) keinginan yang sifatnya tidak selalu nyata sehingga fungsi kelompok itu tidak nyata; (3) keinginan yang diperlukan suatu kelompok dapat saja berbeda dengan keinginan kelompok yang dibentuk pada waktu yang sama. Keinginan manusia sebagai anggota masyarakat dapat berbeda berdasarkan pada masalah, pemaknaan komunikasi dalam hubungan sosial budaya masyarakat. Makna-makna tersebut dalam penafsirannya erat kaitannya dengan keinginan yang ada di masyarakat yang berbeda-beda. Akibat dari pendekatan pemenuhan keinginan dan pemaknaan yang berbeda-beda, kehidupan bersama dalam kehidupan sosial masyarakat sering terjadi penekanan. Hal ini mengakibatkan yang kuat menekan yang lemah [6]. Jika kondisi ini terjadi maka konflik akan muncul sebagai akibat terhambatnya jalur komunikasi. Oleh karena itu diperlukan kondisi yang tepat waktu dengan tepat bahasa komunikasi dalam penyampaian suatu gagasan atau program.

### METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian deskripsi. Pengumpulan data dilakukan secara studi literatur dan survei di Kabupaten Bengkayang, Provinsi Kalimantan Barat yang secara wacana menjadi calon lokasi PLTN dan beberapa daerah di sekitar Kabupaten Bengkayang yaitu Kabupaten Mempawah, Sambas, Landak, Sanggau dan Kota Singkawang. Setiap kabupaten/kota kuisisioner diberikan kepada 50 responden. Penelitian dilakukan dari bulan Juli-September 2019. Responden dilakukan secara acak sehingga bisa diketahui kondisi yang sebenarnya.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menitikberatkan pada respon masyarakat di Kabupaten Bengkayang dan sekitarnya terhadap rencana pendirian PLTN. Respon masyarakat ini dibatasi hanya pada masalah sosial, budaya dan lingkungan. Hal ini dilakukan karena masyarakat memerlukan informasi yang jelas mengenai PLTN dan penentu kebijakan memahami kondisi yang ada di masyarakat saat ini. Berbagai informasi tentang PLTN telah diperoleh masyarakat melalui berbagai media massa. Informasi ini akan mempengaruhi cara pandang dan pola pikir yang menimbulkan respon terhadap keberadaan PLTN di Provinsi Kalimantan Barat. Kondisi sosial masyarakat di Kabupaten Bengkayang dan sekitarnya dilihat dari parameter tingkat pendidikan, kesehatan, dan pendapatan. Berdasarkan parameter tersebut kemudian diberikan pertanyaan mengenai perlu tidak sosialisasi PLTN. Kondisi budaya mencakup keterlibatan tokoh-tokoh masyarakat dalam melakukan pendekatan komunikasi sosialisasi. Kondisi lingkungan terkait dengan kesiapan menghadapi efek buruk dari keberadaan PLTN. Karakteristik responden diperoleh berdasarkan data kuisisioner. Adapun karakteristik responden dapat terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Responden

No	Karakteristik Responden	Parameter	Jumlah
1.	Umur	15-30	61%
		31-60	39%
2.	Jenis Kelamin	Perempuan	47%
		Laki-Laki	53%
3.	Pekerjaan	PNS	45%
		Swasta	65%

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa responden pada usia produktif yaitu 15-30 tahun lebih dominan. Pekerjaannya sebagian besar dalam bidang swasta. Sementara jenis kelamin didominasi oleh laki-laki.

Tabel 2. Permintaan sosialisasi pendirian PLTN

No	Kabupaten/Kota	Respon Masyarakat
1	Bengkayang	100%
2	Landak	100%
3	Mempawah	100%
4	Sambas	98%
5	Sanggau	95%
6	Singkawang	99%

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa daerah-daerah dengan jarak yang dekat menunjukkan masyarakatnya memerlukan sosialisasi tentang pendirian PLTN ini. Hal ini wajar terjadi karena dampak dari PLTN ini telah diketahui masyarakat secara luas walaupun secara teknologi tingkat keselamatannya telah dilakukan secara berlapis [7]. Berdasarkan kuisisioner selanjutnya apakah pernah diberikan sosialisasi sebelumnya, hasil kuisisioner ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Jumlah responden yang belum memperoleh sosialisasi pendirian PLTN

No	Kabupaten/Kota	Respon Masyarakat
1	Bengkayang	87%
2	Landak	98%
3	Mempawah	100%
4	Sambas	100%
5	Sanggau	100%
6	Singkawang	100%

Terlihat pada Tabel 3 bahwa sosialisasi harus segera dilakukan untuk memberikan informasi yang benar kepada masyarakat mengenai pendirian PLTN di Provinsi Kalimantan Barat. Masyarakat sekitar calon lokasi PLTN di Provinsi Kalimantan Barat selama ini memperoleh informasi rencana pendirian PLTN di Kalimantan Barat berdasarkan berita di televisi dan koran. Persepsi masyarakat itu sangat penting karena masyarakat akan mendapatkan dampak langsung dari keberadaan PLTN ini [8]. Masyarakat secara umum masih mengkhawatirkan keberadaan PLTN di lingkungan mereka tinggal. Menurut pandangan *Torodo*, pembangunan merupakan suatu proses multidimensial yang meliputi perubahan-perubahan struktur sosial, sikap masyarakat, peningkatan pertumbuhan ekonomi dan pemberantasan kemiskinan absolut. Sikap masyarakat harus diperhatikan sebagai bentuk komunikasi yang baik [9].

Responden juga memberikan pendapatnya mengenai perlunya tokoh-tokoh masyarakat dilibatkan dalam pendekatan sosialisasi pendirian PLTN dengan pendekatan budaya. Selain itu masyarakat perlu diberikan informasi mengenai efek buruk PLTN secara mendalam agar tingkat kesiapan menghadapinya menjadi lebih baik.

Tabel 4. Perlunya keterlibatan tokoh masyarakat secara pendekatan budaya dalam sosialisasi pendirian PLTN

No	Kabupaten/Kota	Respon Masyarakat
1	Bengkayang	100%
2	Landak	100%
3	Mempawah	100%
4	Sambas	100%
5	Sanggau	100%
6	Singkawang	100%

Tabel 5. Perlunya informasi efek buruk terhadap lingkungan akibat adanya PLTN

No	Kabupaten/Kota	Respon Masyarakat
1	Bengkayang	100%
2	Landak	100%
3	Mempawah	100%
4	Sambas	100%
5	Sanggau	100%
6	Singkawang	100%

Berdasarkan kondisi masyarakat Kabupaten Bengkayang dan kabupaten di sekitarnya terlihat bahwa belum ada kesiapan masyarakat dalam menghadapi pendirian PLTN di Provinsi Kalimantan Barat. Hal terbaik yang perlu dilakukan untuk meningkatkan kesiapan masyarakat Provinsi Kalimantan Barat menghadapi pendirian PLTN adalah dengan strategi rekayasa sosial yang didahului dengan komunikasi 2 arah antara masyarakat dan penentu kebijakan [10,11]. Hal ini penting dilakukan agar implementasi kebijakan bisa berjalan dengan baik.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa pendirian PLTN di Provinsi Kalimantan Barat harus memperhatikan faktor sosial, budaya dan lingkungan masyarakat Kalimantan Barat. Langkah strategis untuk meningkatkan kesiapan masyarakat Kalimantan Barat terhadap PLTN melalui rekayasa sosial yang didahului dengan komunikasi 2 arah antara masyarakat dan penentu kebijakan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada masyarakat di Kabupaten Bengkayang, Mempawah, Landak, Sanggau, Sambas dan Kota Singkawang serta Universitas Tanjungpura yang telah membantu dalam perijinan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] SAHPUTRA, R. dan RFAT, M., "Studi Lokasi untuk Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir Berbasis Sistem Informasi Geografis di Kalimantan Barat", *Prosiding Semirata Bidang Teknologi Informasi dan Multi Disiplin, Universitas Tanjungpura*, 234-243 (2005).
- [2] HARIYADI, "Agenda-Setting Pembangunan PLTN dan Pencapaian Ketahanan Listrik (Studi di Jepara dan Pangkal Pinang)", *Jurnal Ekonomi dan Kebijakan Publik*, 7 (2) : 127-142 (2016).
- [3] SETIABUDI, B., "Dampak Pembangunan PLTN Terhadap Perubahan Tata Ruang Kabupaten Jepara", *Gema Teknologi*, 16 (1) : 11-15 (2010).
- [4] NAFSIATUN, TRIATMODJO, M., dan ISMAILI, N., "Model Penanganan Dampak Pertambangan Emas Terhadap Lingkungan dan Masyarakat di Provinsi Kalimantan Barat", Disertasi Fakultas Hukum Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (2016).
- [5] SIKUMBANG, A.T., "Teori Komunikasi (Pendekatan, Kerangka Analisis dan Perspektif)", *Analytica Islamica*, 6 (1) : 77-84 (2017).
- [6] USMAN, R., "Konflik dalam Perspektif Komunikasi : Suatu Tinjauan Teoritis", *Mediator*, 2 (1) : 31-41 (2001).
- [7] HARJANTO, N.T., "Dampak Lingkungan Pusat Listrik Tenaga Fosil dan Prospek PLTN sebagai Sumber Energi Listrik Nasional", *Jurnal Batan*, 1(1) : 39-50 (2008).
- [8] TRI, M.A.T., DWI, R.H., SUTJIPTO dan MUDJIONO, "Penerimaan Masyarakat Jepara Terhadap PLTN", *Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir III*, 193-198 (2010).
- [9] MUDJIONO, ALIMAH, S., SSUSIATI, H., IRAWAN, D dan BUSTOMI, M., "Penerimaan Masyarakat Sekitar Puspitek Serpong Terhadap Rencana Pembangunan Reaktor Daya Eksperimental", *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, 20 (2): 105-110 (2018).
- [10] PRASTIWI, E.A., SOESILOWATI, E., dan SETYOWATI, D.L., "Strategi Pendekatan Sosial dalam Proses Rencana Pembangunan PLTU Batang", *Journal of Educational Social Studies*, 5(1) (2016).

- [11]NAFSIATUN, MINTARSIH, E., dan SAPTOMO, P., "Strategi Peningkatan Kesiapan Modal Sosial Masyarakat Kalimantan Barat dalam Menghadapi Eksplorasi Bahan Tambang untuk Pembangunan yang Berkelanjutan", Prosiding Seminar Nasional Seri 7 Menuju Masyarakat Madani dan Lestari, Universitas Islam Indonesia (2017).

**ANALISIS KELAYAKAN PLTN BERBASIS ZONASI RENCANA TATA RUANG WILAYAH  
KALIMANTAN BARAT TAHUN 2014-2034**

**Nur Hasanah<sup>1</sup>, Hilary Reinhart<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> BATAN-PKSEN, Kuningan Barat Mampang Prapatan, Jakarta 12710

<sup>2</sup> Sekolah Pasca Sarjana UGM – Ilmu Lingkungan, Sleman, Yogyakarta 55288  
email: nur.hasanah@batan.go.id

**ABSTRAK**

**ANALISIS KELAYAKAN PLTN BERBASIS ZONASI RENCANA TATA RUANG WILAYAH KALIMANTAN BARAT TAHUN 2014-2034.** Sumber energi utama yang menopang aktivitas harian dan kegiatan ekonomi berasal dari energi fosil, yang mana cadangannya semakin menipis serta proses ekstraksi hingga pemanfaatannya mengancam kerusakan lingkungan, sehingga diperlukan transisi penyediaan energi dari energi fosil menuju energi baru dan terbarukan (EBT). Transisi ini membutuhkan upaya besar dalam hal pembuatan kebijakan dan perencanaan energi. Tantangan tersebut menjadi salah satu tantangan yang dihadapi oleh Indonesia, contoh kasus analisis kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Kalimantan Barat. Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif-deskriptif menggunakan metode analisis regional untuk menganalisis pola dan struktur ruang yang ada di Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) provinsi Kalimantan Barat tahun 2014-2034 serta sektor-sektor yang terkait langsung dengan kebutuhan energi seperti industri-manufaktur serta transportasi. Kebijakan pembangunan PLTN harus dapat menjawab tuntutan kebutuhan sektor-sektor yang: (1) membutuhkan listrik dalam volume besar; dan (2) sektor yang berkontribusi di Pendapatan Domestik Regional Bruto (PDRB). Data realisasi daya listrik yang terjual di Kalimantan Barat menunjukkan bahwa sektor rumah tangga mendominasi permintaan dan konsumsi listrik sebesar 65%. Sementara itu sektor yang memiliki kontribusi terbesar dalam postur PDRB Kalimantan Barat adalah sektor pertanian, kehutanan dan perikanan sebesar 22,8%. Mengacu bahwa kebijakan di daerah maupun nasional harus dilakukan secara sinkron dan dilakukan secara tematik, integratif, dan spasial. Diperoleh hasil bahwa dalam aspek keruangan, calon lokasi PLTN yang berada di Pantai Gosong, Kabupaten Bengkayang dapat memenuhi Peraturan daerah provinsi Kalimantan Barat nomor 10 tahun 2014 tentang RTRW provinsi Kalimantan Barat tahun 2014 – 2034.

Kata kunci: Energi, EBT, PLTN, kebijakan energi, perencanaan energi, RTRW, PDRB, Kalimantan Barat.

**ABSTRACT**

**NUCLEAR POWER PLANT FEASIBILITY STUDY BASED ON ZONATION OF 2014-2034 WEST KALIMANTAN'S URBAN PLANNING.** The main energy source that supports daily activities and economic activities comes from fossil energy, which is increasingly depleting reserves, extraction processes and their utilization threatens environmental damage, so that the transition of energy supply from fossil energy to new and renewable energy (EBT) is needed. This transition requires great effort in terms of policymaking and energy planning. This challenge is one of the challenges faced by Indonesia, an example of a case analysis of the feasibility analysis of a Nuclear Power Plant (NPP) in West Kalimantan. This research is a qualitative-descriptive study using regional analysis methods to analyze spatial patterns and structures in the 2014-2034 West Kalimantan's Urban Planning (RTRW) as well as sectors directly related to energy needs such as industry-manufacturing and transportation. The NPP development policy must be able to answer the demands of the sectors that: (1) require large volumes of electricity; and (2) sectors that contribute to Gross Regional Domestic Revenue (GRDP). Data on the realization of electric power sold in West Kalimantan shows that the household sector dominates electricity demand and consumption by 65%. Meanwhile, the sectors that had the biggest contribution in West Kalimantan's GRDP posture were the agriculture, forestry and fisheries sectors by 22.8%. Referring to that policies at the regional and national levels must be carried out synchronously and carried out thematically, integratively, and spatially. The results obtained are that in the spatial aspect, the prospective NPP location located in Gosong Beach, Bengkayang Regency can meet the West Kalimantan provincial regulation number 10 of 2014 concerning the RTRW of West Kalimantan province in 2014 - 2034.

Keyword: Energy, New and renewable energy, NPP, energy policy, energy planning, urban planning, GRDP, West Kalimantan

## PENDAHULUAN

Saat ini, pertumbuhan dan perkembangan populasi di dunia pada umumnya dan Indonesia pada khususnya menuntut terpenuhinya kebutuhan mendasar untuk mendukung perikehidupan. Salah satu kebutuhan mendasar tersebut adalah energi yang digunakan untuk menggerakkan aktivitas harian dan kegiatan ekonomi yang ditujukan untuk keberlanjutan dan kelangsungan hidup masyarakat dan individu perseorangan. Seiring semakin meningkatnya permintaan masyarakat pada energi yang handal (*reliable*), layak (*feasible*) dan terjangkau, diperlukan sumber-sumber energi baru atau terbarukan untuk memenuhinya.

Saat ini sumber energi utama yang menopang dunia berasal dari energi fosil seperti minyak bumi, gas, dan batubara. Pemanfaatan dan eksploitasi sumber energi fosil tersebut bukan tanpa permasalahan. Cadangannya yang semakin menipis serta ancaman kerusakan lingkungan yang berasal dari proses ekstraksi hingga pemanfaatannya melahirkan permasalahan lain yang justru dapat mengganggu perikehidupan dan kualitas hidup masyarakat. Oleh sebab itu, diperlukan energi alternatif yang mampu menggantikan energi fosil seperti energi nuklir yang kini pemanfaatannya semakin ditingkatkan. Tantangan tersebut yang saat ini juga menjadi salah satu tantangan yang dihadapi oleh Indonesia.

Indonesia sebagai negara yang berkembang pesat kini menjadi kekuatan ekonomi dunia. Sektor-sektor yang berkontribusi besar pada perekonomian Indonesia antara lain adalah sektor pertanian, manufaktur, dan pariwisata. Untuk menyokong geliat sektor tersebut diperlukan kapasitas energi yang mumpuni. Di atas kertas, untuk memenuhi kebutuhan tersebut, Indonesia mencanangkan kapasitas sebesar 35.000 MW dan sebagian besar diantaranya ditopang oleh bahan bakar fosil.

Kebijakan tersebut berimplikasi secara tata ruang. Kondisi geografis Indonesia yang berbentuk kepulauan dengan luas area yang membentang panjang sepanjang lebih dari 5000 km membutuhkan perencanaan tata ruang yang tepat untuk memastikan kebutuhan energi terdistribusi secara merata dan dapat memenuhi kebutuhan-kebutuhan setempat di setiap daerah. Salah satu strateginya adalah dengan konsep zonasi dan pembuatan pusat-pusat kegiatan ekonomi atau industri. Salah satu daerah yang ditargetkan menjadi penyokong industri tersebut adalah Provinsi Kalimantan Barat.

Implementasi kebijakan berbasis tata ruang di Indonesia dikenal sebagai Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) dimana setiap kegiatan, rencana, dan program (KRP), harus disusun dan dialokasikan pada lokasi tertentu yang sesuai dengan peruntukan KRP tersebut. Penelitian ini mencoba menganalisis dan menelaah kebijakan energi nuklir di Kalimantan Barat dengan menjawab pertanyaan seperti apa RTRW Provinsi Kalimantan Barat mendukung rencana PLTN? Dan seperti apa posisi PLTN di dalam RTRW Provinsi Kalimantan Barat?

## TEORI

Melalui UU nomor 30 tahun 2007 tentang Energi, Pemerintah mengamanatkan Dewan Energi Nasional (DEN) menyusun Kebijakan Energi Nasional (KEN). KEN ditetapkan melalui PP nomor 79 tahun 2014, dan dijabarkan secara lebih rinci dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) yang ditetapkan melalui Peraturan Presiden. Selanjutnya RUEN diturunkan ke dalam Rencana Umum Energi Daerah Provinsi (RUED-P) melalui Peraturan Daerah. RUED-P dimaksudkan sebagai komitmen dan panduan bagi pemerintah daerah dalam melaksanakan berbagai kegiatan terkait energi di daerah, sebagai modal pembangunan daerah serta kontribusi daerah dalam pencapaian target-target energi nasional. Merujuk pada Peraturan Presiden nomor 1 tahun 2014, elemen – elemen penting yang terkandung di dalam RUED-P antara lain: proyeksi kebutuhan dan pasokan energi daerah, identifikasi permasalahan energi di daerah, potensi energi di daerah, program energi daerah, dan sumber pendanaan energi di daerah. [1]

Saat ini, sebagian besar dari provinsi di Indonesia, termasuk Kalimantan Barat belum memiliki dokumen RUED-P, sehingga diperlukan upaya mendorong pemerintah daerah untuk menyusun RUED-P. Secara sederhana, RUED-P merupakan dokumen perencanaan energi. Perencanaan energi pada dasarnya membutuhkan kajian tata ruang atau aspek-aspek spasial [2]. Aspek tata ruang diperlukan untuk mengetahui kedudukan suatu pembangkit tenaga listrik terhadap kebutuhan energi maupun terhadap potensi-postensi

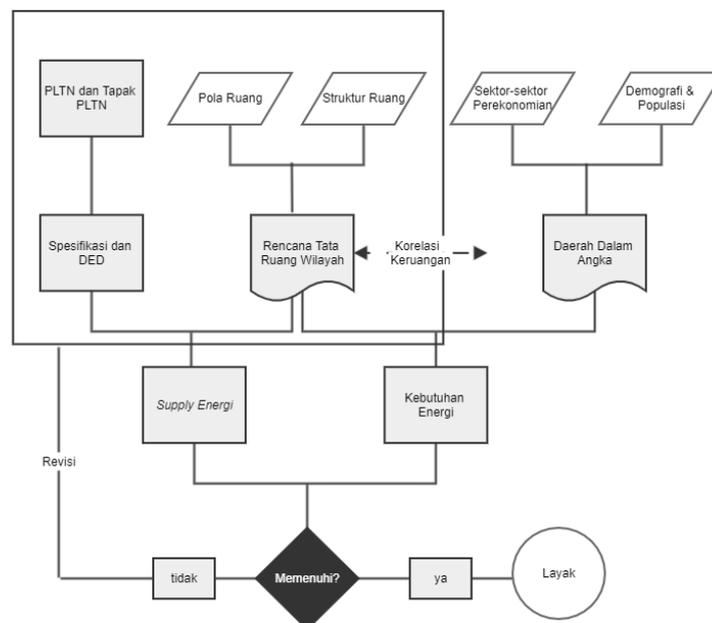
sumber energi tersebut. Dengan mengetahui hal tersebut maka perencanaan energi dapat menjadi lebih efisien dan tepat guna serta mendukung agenda-agenda pembangunan berkelanjutan [3]. Selain untuk tujuan efisiensi, analisis tata ruang juga diperlukan untuk memberikan gambaran mengenai bahaya (*hazard*) dan mendukung aspek keselamatan (*safety*) serta keamanan (*security*) [4].

Peraturan daerah provinsi Kalimantan Barat nomor 10 tahun 2014 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) provinsi Kalimantan Barat tahun 2014 – 2034 pasal 22 ayat (7) menyatakan bahwa pengembangan energi uap, energi air, energi mikro hidro, energi surya, dan nuklir yang berpotensi berada di dalam kawasan hutan dilakukan sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku [5]. Pengaturan zonasi untuk struktur ruang dan pola ruang pada peraturan tersebut dianalisis secara spasial untuk meninjau kedudukan potensi calon tapak PLTN yang telah dicanangkan.

## METODOLOGI

Penelitian ini merupakan penelitian kualitatif-deskriptif dimana penelitian menggunakan data-data untuk mendeskripsikan suatu permasalahan [6]. Metode yang digunakan adalah metode analisis regional [7] yang umum digunakan untuk menganalisis kondisi suatu wilayah dan berbagai sektor yang ada didalamnya. Analisis dilakukan terhadap pola dan struktur ruang yang ada di RTRW Provinsi Kalimantan Barat serta sektor-sektor yang terkait langsung dengan kebutuhan energi seperti industri-manufaktur serta transportasi. Untuk itu pola dan struktur ruang dianalisis menggunakan pendekatan spasial berbasis kartografi atau Sistem Informasi Geografis.

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini sebagian besar merupakan data sekunder berupa data Pendapatan Domestik Regional Bruto (PDRB) sebagai gambaran sektor-sektor yang berperan di dalam kegiatan ekonomi Provinsi Kalimantan Barat sekaligus memberikan gambaran bagaimana permintaan dan kebutuhan terhadap energi dan diperoleh melalui dokumen Badan Pusat Statistik di dalam Daerah Dalam Angka. Selain itu, data yang dibutuhkan adalah kebijakan berupa RTRW. data tersebut kemudian diolah melalui studi literatur dan *desk study*. Sebagai bahan diskusi dilakukan analisis pasokan-permintaan dimana permintaan yang ada merupakan kebutuhan energi yang didapat dari sektor-sektor kegiatan ekonomi dan pasokan berupa rencana pembangunan PLTN.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

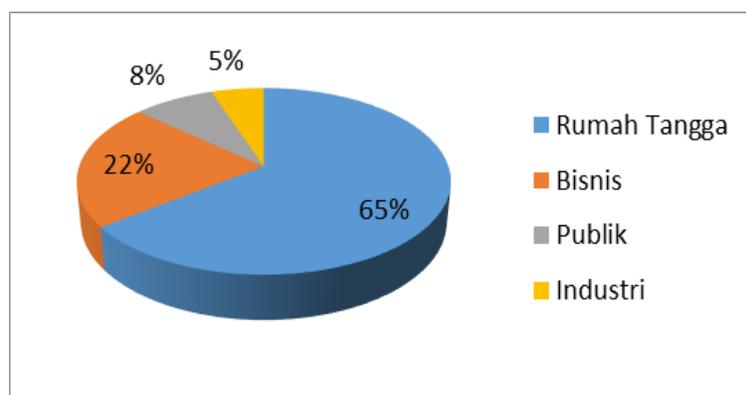
Kebijakan energi nasional dimaksudkan untuk mendukung pembangunan baik pada tingkat nasional maupun regional. Hal tersebut sejalan dengan arahan utama dalam Peraturan Pemerintah nomor 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional pasal 5 yang mengamanatkan bahwa Kebijakan utama energi salah satunya adalah mendukung pembangunan nasional berkelanjutan [8]. Salah satu upaya dalam mengejawantahkan

Kebijakan Energi Nasional tersebut adalah dengan mencanangkan target penyediaan listrik sebesar 35.000 MW. Capaian tersebut memerlukan bauran energi antara sumber energi fosil, energi baru, dan energi terbarukan. Salah satu sumber energi yang kini tengah digiatkan adalah tenaga nuklir di Provinsi Kalimantan Barat. Kebijakan atau program pembangunan PLTN tersebut harus dapat menjawab tuntutan kebutuhan sektor-sektor yang: (1) membutuhkan listrik dalam volume besar; dan (2) sektor yang berkontribusi di PDRB. Hal tersebut dikarenakan listrik keluaran PLTN relatif besar dan stabil

Kebutuhan akan tenaga listrik di Provinsi Kalimantan Barat secara umum terpusat pada sektor rumah tangga, bisnis, dan industri. Data dari RUPTL-PLN menunjukkan bahwa pada tahun 2017 sektor yang memiliki penjualan tertinggi adalah sektor rumah tangga. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2 berikut.

Tabel 1. Realisasi Penjualan Listrik pada tahun 2017 [9]

No	Sektor	Penjualan (GWh)	Prosentase
1	Rumah Tangga	1.496	65%
2	Bisnis	505	22%
3	Publik	189	8%
4	Industri	123	5%
Total		2.313	



Gambar 2. Prosentase Sektor Penjualan Listrik Provinsi Kalimantan Barat (Analisis, 2019)

Gambar 2 menunjukkan 65% daya listrik yang terjual oleh PLN diserap oleh sektor rumah tangga sementara 22% diserap bisnis, 8% diserap publik dan hanya 5% yang diserap industri. Data realisasi daya listrik yang terjual tersebut dapat menjadi gambaran sektor apa yang memiliki permintaan dan konsumsi listrik di Provinsi Kalimantan Barat.

Sementara itu dari sektor ekonomi, sektor yang memiliki kontribusi terbesar dalam postur PDRB adalah sektor pertanian, kehutanan dan perikanan [10]. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. PDRB Menurut Lapangan Usaha [10]

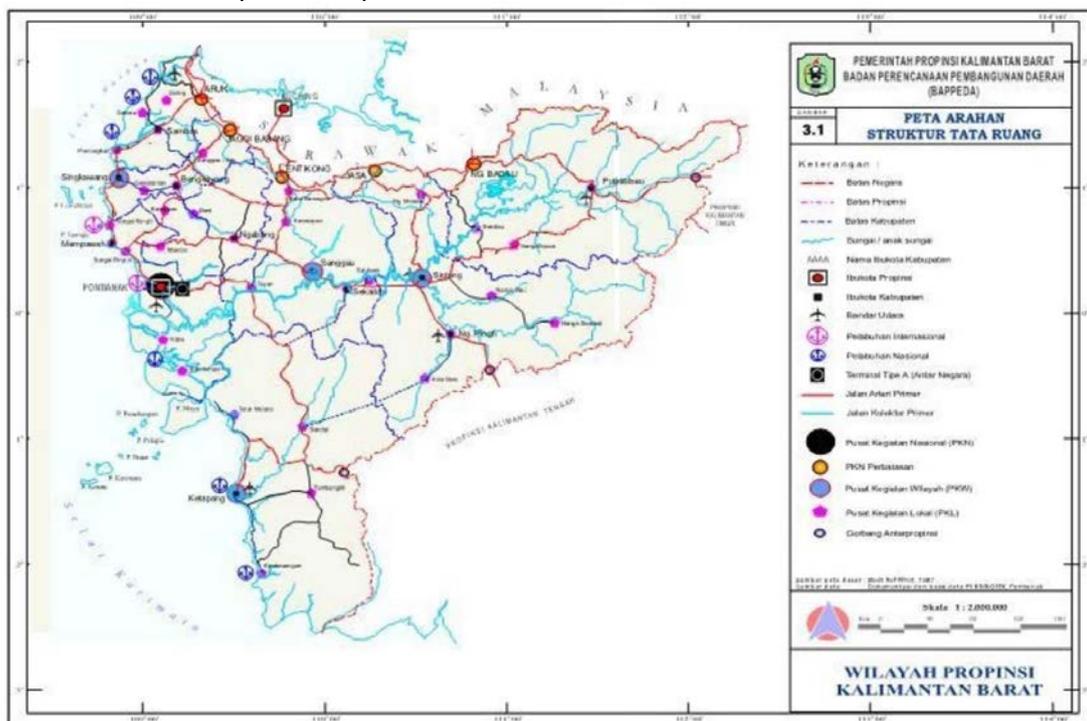
No	Sektor	Besaran (juta rupiah)	Prosentase
1	Pertanian, Kehutanan dan Perikanan	28,353,271.40	22.8%
2	Industri Pengolahan	20,093,405.60	16.2%
3	Perdagangan Besar dan Eceran, dan Reparasi Mobil dan Sepeda Motor	18,516,434.50	14.9%
4	Konstruksi	14,033,227.20	11.3%
5	Informasi dan Komunikasi	6,297,482.70	5.1%

Berdasarkan Tabel 2 tersebut dapat diketahui sektor pertanian, kehutanan, dan perikanan menyumbang hampir 23% pendapatan daerah diikuti dengan industri pengolahan, perdagangan, konstruksi, serta sektor informasi dan komunikasi. Sementara itu sektor pembelian listrik berkontribusi hanya sebesar 0.1% terhadap PDRB.

Uraian data pada Tabel 2 menunjukkan sektor-sektor yang patut dipertahankan keberlanjutannya dan ditingkatkan volumenya serta kapasitasnya. Salah satu syarat untuk peningkatan sektor-sektor dalam PDRB adalah dengan memberikan porsi energi dalam bentuk kelistrikan untuk menggerakkan infrastruktur maupun struktur-struktur pendukung yang ada di dalam sektor tersebut.

### Analisis Spasial

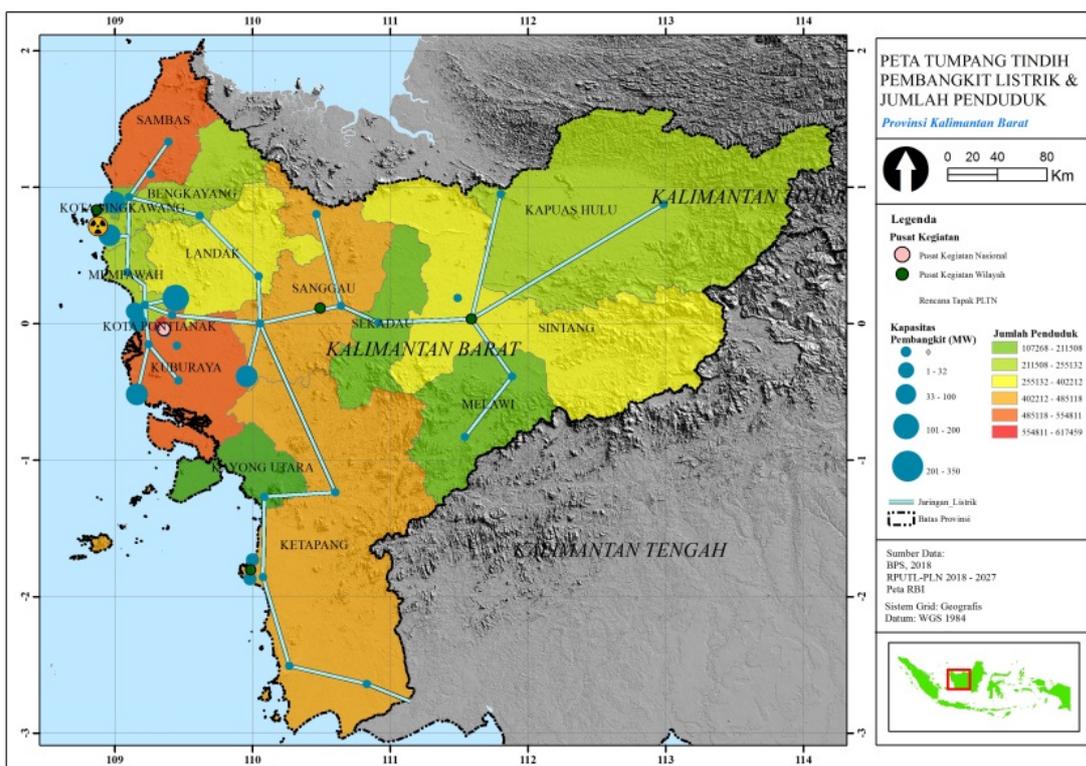
Dalam penelitian ini, elemen tata ruang PLTN dianalisis pada kedudukannya terhadap struktur ruang dalam RTRW Provinsi Kalimantan Barat. Sebagai tambahan, untuk mendapatkan gambaran mengenai proyeksi tata ruang energi, persebaran pembangkit-pembangkit listrik tersedia dan rencana juga ditambahkan dan dilihat lokasinya terhadap pusat-pusat pertumbuhan dan permintaan dari masyarakat. Struktur ruang Provinsi Kalimantan Barat dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Struktur Ruang Provinsi Kalimantan Barat [11]

Dari peta tersebut dapat diketahui bahwa terdapat Pusat-pusat Kegiatan yang terdiri atas: (1) Pusat Kegiatan Nasional, (2) Pusat Kegiatan Wilayah, (3) Pusat Kegiatan Lokal, dan (4) Pusat Kegiatan Perbatasan. Pusat-pusat kegiatan tersebut merupakan lokasi-lokasi yang membutuhkan energi untuk menopang berbagai aktivitas yang ada di dalamnya dan di sekitarnya. Selain pusat-pusat kegiatan, di dalam RTRW juga terdapat kawasan andalan yang ditunjukkan sebagai sentra multisektor yang terdiri atas kawasan andalan Singkawang, Pontianak, Ketapang, Sanggau, dan Kapuas Hulu.

Untuk gambaran persebaran pembangkit listrik sebagai pasokan energi dan pusat kegiatan sebagai permintaan dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Peta Overlay Pembangkit Listrik (pasokan) dengan Jumlah Penduduk per Kabupaten (permintaan) (Analisis, 2019)

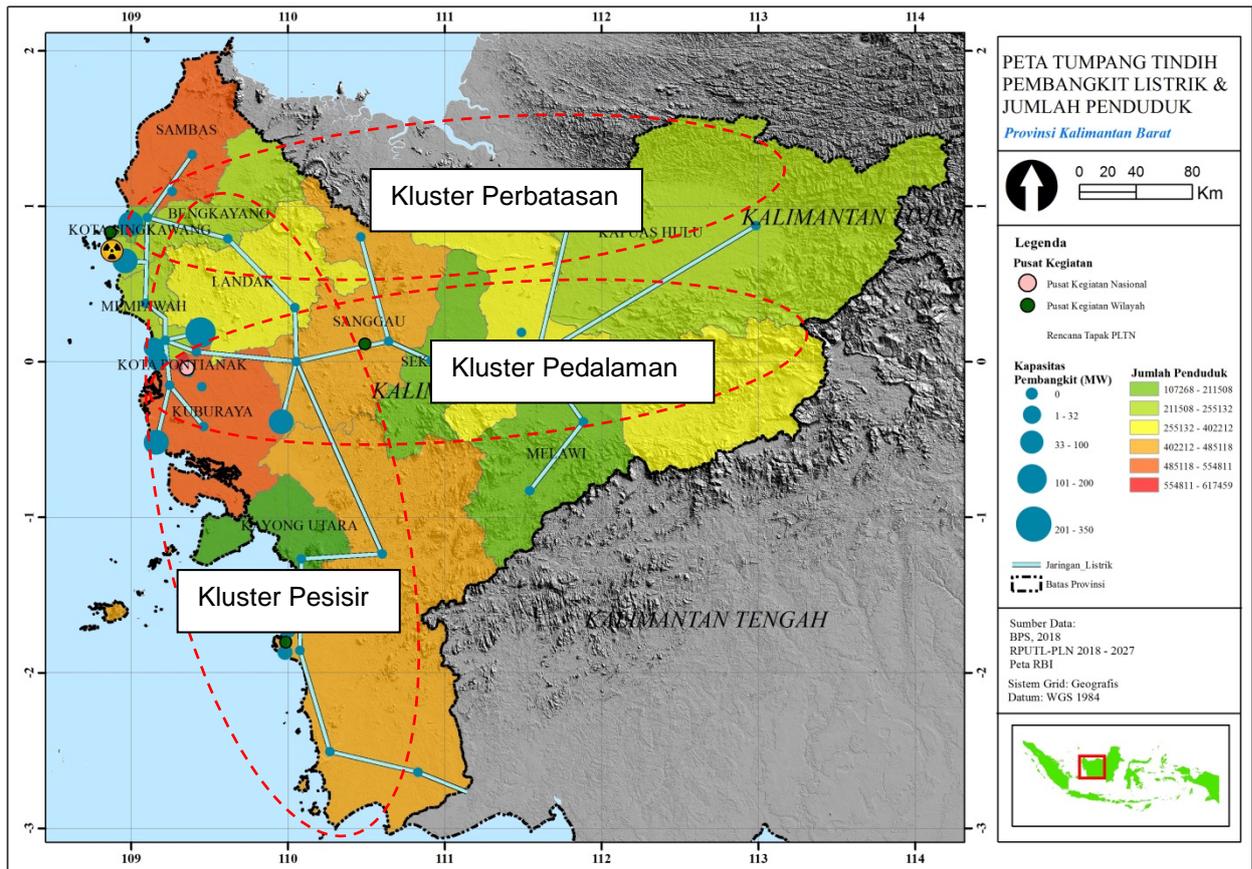
Berdasarkan peta tumpang tindih tersebut dapat dilihat bahwa rencana pengembangan pembangkit tenaga listrik dengan skala besar umumnya terpusat di sepanjang pesisir dan secara khusus berada di Kota Pontianak dan Kota Singkawang. Hal tersebut sejalan dengan sebaran penduduk dimana penduduk di kawasan pesisir memiliki jumlah relatif lebih besar dibandingkan dengan penduduk di Kawasan dataran.

Calon lokasi PLTN yang berada di Pantai Gosong Kabupaten Bengkayang diharapkan dapat mendukung tumbuh kembang kawasan pemukiman dan industri pengolahan yang berada di Singkawang hingga Pontianak. Keberadaan PLTN di dekat Kota Singkawang menjadi nilai tambah sebab Kota Singkawang memiliki permintaan listrik yang cukup besar. Selain itu, selain digunakan untuk menggerakkan Kota Singkawang dan Pontianak, keberadaan PLTN yang terletak di sisi utara diharapkan dapat meningkatkan pasokan listrik untuk pusat-pusat kegiatan perbatasan yang tersebar merata di sepanjang perbatasan Indonesia-Serawak seperti Jagoi Babang dan Entikong.

Selain itu, melihat sebaran rencana jalur transmisi, dapat dilihat bahwa sistem jaringan terbagi atas tiga kluster yakni kluster pesisir, kluster pedalaman, dan kluster perbatasan. Masing-masing kluster tersebut memiliki kebutuhan dan pemanfaatan listrik yang berbeda-beda tergantung kepada karakteristik wilayah. Secara ringkas, karakteristik tiap kluster dapat dilihat pada Tabel 3. Sebaran kluster dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 3. Pembagian Kluster Kebutuhan dan Pemanfaatan Listrik (Analisis, 2019)

No.	Kluster	Kebutuhan dan Pemanfaatan Listrik
1.	Pesisir	Pemukiman, Rumah Tangga, Jasa, Industri Pengolahan, Transportasi
2.	Pedalaman	Pariwisata, Perkebunan, Kehutanan
3.	Perbatasan	Pemukiman, Produksi Energi untuk Ekspor



Gambar 5. Sebaran Kluster Kebutuhan dan Pemanfaatan Listrik (Analisis, 2019)

Selain aspek teoritis, secara politis, PLTN merupakan suatu infrastruktur yang pengadaan serta penyelenggaraannya tidak terlepas dari kerangka kebijakan, rencana, atau program. Sebagai suatu kebijakan maka sudah selayaknya PLTN terkait dan saling mendukung serta terkait dengan kebijakan lainnya. Dalam konteks tata ruang, kebijakan yang diacu adalah Rencana Tata Ruang Wilayah. PLTN harus kontekstual dalam RTRW agar sesuai dengan penataan struktur dan pola ruang. Selain itu, mengacu kepada Peraturan Pemerintah Nomor 17 Tahun 2017 disebutkan bahwa suatu kebijakan di daerah maupun nasional harus dilakukan secara sinkron dan dilakukan secara tematik, integratif, dan spasial [12]. Hal tersebut ditujukan agar setiap kebijakan benar-benar kontekstual dan mampu menjawab permasalahan masa kini yang sifatnya multidimensi.

Secara tata ruang dan mengacu kepada RTRW, calon lokasi PLTN yang berada di Pantai Gosong, Kabupaten Bengkayang memberikan sejumlah keuntungan seperti: (1) dekat dengan pusat pemukiman seperti Kota Singkawang dan Pontianak; (2) dekat dengan pusat industri; (3) memiliki akses langsung ke perbatasan. Khusus poin ketiga, perbatasan menjadi salah satu perhatian khusus pada pemerintahan Presiden Joko Widodo seperti yang tertuang di Nawacita poin ketiga yakni "Membangun Indonesia dari pinggiran dengan memperkuat daerah-daerah dan desa dalam kerangka negara kesatuan". Selain itu, secara akses, keberadaan PLTN di lokasi tersebut juga dapat menjangkau daerah-daerah yang masuk ke dalam kluster pesisir dan kluster pedalaman dimana, secara sektoral, terdapat dua sektor terbesar bagi PDRB yakni sektor industri pengolahan dan perkebunan dan kehutanan.

## KESIMPULAN

Dalam aspek keruangan, calon lokasi PLTN yang berada di Pantai Gosong, Kabupaten Bengkayang dapat memenuhi Peraturan daerah provinsi Kalimantan Barat nomor 10 tahun 2014 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah provinsi Kalimantan Barat tahun 2014 – 2034. Dalam aspek perencanaan energi, calon lokasi PLTN tersebut dapat memenuhi kebutuhan energi pada berbagai sektor pelanggan listrik dan lapangan usaha

penyumbang Produk Domestik Regional Bruto yang ada dalam kluster-kluster energi di Provinsi Kalimantan Barat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Kepala Bidang dan rekan kerja Kajian Infrastruktur, Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional yang telah memberikan saran dan kritikan untuk perbaikan makalah ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Esdm and K. Bappenas, "Pedoman Teknis Permodelan Rencana Umum Energi Daerah (RUED) Provinsi," 2017.
- [2] Q. Wang, M. M. M. Ikiugu, and I. Kinoshita, "A GIS-Based Approach in Support of Spatial Planning for Renewable Energy: A Case Study of Fukushima, Japan," pp. 2087–2117, 2014.
- [3] G. Stoeglehner, G. Neugebauer, S. Erker, and M. Narodoslowsky, *Integrated Spatial and Energy Planning*. Cham: Springer International Publishing, 2016.
- [4] M. Nahavandchi and J. Balist, "Nuclear power plant locating by WLC & GIS ( case study : Iran , hormozgan province )," no. December, 2015.
- [5] P. P. Kalimantan Barat, *PERATURAN DAERAH PROVINSI KALIMANTAN BARAT NOMOR 10 TAHUN 2014*. 2014.
- [6] L. J. Moleong, *Metodologi Penelitian Kualitatif*. Remaja Rosdakarya, 2017.
- [7] L. Muta'ali, *Teknik Analisis Regional untuk Perencanaan Wilayah, Tata Ruang, dan Lingkungan*. Yogyakarta: Badan Penerbit Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, 2015.
- [8] P. Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah No.79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi*. 2014.
- [9] PT. Perusahaan Listrik Negara, "Rencana usaha penyediaan tenaga listrik," *Rencana Usaha Penyediaan Tenaga List.*, pp. 2019–2028, 2019.
- [10] B. P. K. Barat, *Provinsi Kalimantan Barat dalam Angka*. BPS Provinsi Kalimantan Barat, 2018.
- [11] Direktorat Jenderal Tata Ruang Kementerian ATR/BPN, "GISTARU (Geographic Information System Tata Ruang)." [Online]. Available: <http://gistaru.atrbpn.go.id/rtronline/>.
- [12] P. Republik Indonesia, *Peraturan Pemerintah no.17 tahun 2017 tentang Sinkronisasi Proses Perencanaan dan Penganggaran Pembangunan Nasional*. 2017.

#### DISKUSI/TANYA JAWAB :

##### 1. PERTANYAAN (Rr. Arum Puni Rijanti - BATAN):

Kenapa data yang digunakan RUPTL 2017 padahal sudah ada RUPTL terbaru yang 2019

##### JAWABAN :

Karena data sektor perekonomian, demografi dan populasi provinsi Kalimantan Barat yang terbaru tersedia untuk tahun 2017, sedangkan data tersebut dibandingkan dengan data sektor pelanggan realisasi penjualan listrik di Kalimantan Barat yang ada di RUPTL, maka digunakan data pada waktu yang sama, yaitu 2017.

##### 2. PERTANYAAN (Harini W - BATAN):

Berbagai sektor yang disimpulkan itu apa aja ?

##### JAWABAN :

1. Sektor pelanggan listrik, yaitu rumah tangga, bisnis, publik dan industri
2. Sektor lapangan usaha penyumbang PDRB, yaitu pertanian, kehutanan, perikanan; industri pengolahan; perdagangan besar dan eceran, serta reparasi mobil dan motor; konstruksi; informasi dan komunikasi

---

# KELOMPOK E

---



## STUDI POTENSI KONVERSI SAMPAH ORGANIK RUMAH MAKAN MENJADI BIOGAS DI KOTA PONTIANAK

Sri Rezeki, Wivina Diah Ivontianti, Kristina Anggi Pudan Sitorus  
Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Pontianak, 78124  
email: sri\_rezeki.0561@yahoo.com

### ABSTRAK

**STUDI POTENSI KONVERSI SAMPAH ORGANIK RUMAH MAKAN MENJADI BIOGAS DI KOTA PONTIANAK.** Biogas memiliki potensi yang sama dengan natural gas yaitu dapat digunakan sebagai bahan bakar rumah tangga. Penerapan teknologi biogas dapat menekan laju emisi gas rumah kaca sekaligus menjadi salah satu solusi untuk memenuhi bahan bakar untuk memasak pada rumah makan di Kota Pontianak. Pada penelitian ini dilakukan studi potensi sampah organik rumah makan menjadi biogas di Kota Pontianak. Penelitian ini diawali dengan menghitung jumlah sampah organik rumah makan di Kota Pontianak dan menghitung potensi biogas yang dapat dihasilkan dari sampah organik tersebut. Setelah itu, dilakukan penghitungan volume digester biogas yang dibutuhkan untuk mengolah sampah organik tersebut. Kemudian dilakukan analisis ekonomi untuk mengetahui layak atau tidaknya digester biogas ini didirikan. Dari hasil penelitian diperoleh jumlah sampah organik di Kota Pontianak sebesar 43,56 kg/hari dan dapat menghasilkan biogas sebesar 7,41 m<sup>3</sup>/hari. Digester yang dibutuhkan untuk memproduksi berukuran 1.000 L. Dari analisis ekonomi, pemanfaatan sampah organik menjadi biogas sebagai bahan bakar alternatif pengganti LPG sangat menguntungkan dan layak untuk didirikan, dimana *profit on sales* sebesar 37,82 %, *return on investment* sebesar 76,40 %, *pay out time* selama 14 bulan, dan *break event point* sebesar 28,23%.

Kata kunci : sampah organik, rumah makan, biogas, analisis finansial.

### ABSTRACT

**FEASIBILITY STUDY OF BIOGAS PRODUCTION FROM RESTAURANTS ORGANIC WASTE IN PONTIANAK CITY.** Biogas has the same potential as natural gas which can be used as the household fuel. The application of biogas technology can reduce the rate of greenhouse gas emissions as well as being one of the solutions to produce the fuel for cooking in the restaurants. In this research, the study on organic restaurant waste to become biogas in Pontianak City. This research was started by calculating the amount of organic restaurant waste in Pontianak and calculating the potential of biogas that could be produced from organic waste. Afterwards, the volume of biogas digester volume was calculated to process the organic waste. Then, an economic analysis was carried out to determine the feasibility of biogas digester. The results was obtained the amount of restaurants organic waste in Pontianak City was 43.56 kg/day and were able to produce biogas 7.408 m<sup>3</sup>/day. Digester which was needed to produce biogas was 1,000 L. From economic analysis, the conversion of restaurants organic waste into biogas as an alternative fuel for LPG was very profitable and feasible to be established, where the *profit on sales* was 37.82%, *return on investment* was 76.40%, *pay out time* for 14 months, and *break event point* was 28.23%.

Keyword: organic waste, restaurant, biogas, financial analysis

### PENDAHULUAN

Industri kuliner merupakan industri yang tumbuh subur di Kota Pontianak. Banyaknya rumah makan yang ada di Kota Pontianak mengakibatkan semakin besar sampah yang dihasilkan. Sampah rumah makan merupakan sampah yang berasal dari dapur, seperti bagian dari sayuran yang tidak termasak, minyak goreng bekas, atau sisa makanan yang tidak habis dikonsumsi pengunjung. Apabila sampah rumah makan ini dibuang ke lingkungan, tentunya dapat menimbulkan dampak negatif. Sampah rumah makan ini harus ditangani dengan baik, salah satunya dengan cara dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan biogas.

Biogas dihasilkan dari penguraian sampah organik secara anaerobik yang dilakukan oleh mikroorganisme. Biogas memiliki potensi yang sama dengan *natural gas* yaitu dapat

digunakan sebagai bahan bakar kendaraan maupun bahan bakar rumah tangga. Penerapan teknologi biogas dapat menekan laju emisi gas rumah kaca sehingga sampah organik yang digunakan sebagai bahan baku lebih bermanfaat dan ramah lingkungan (Insyde, 2012).

Dari uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: bagaimana potensi sampah organik rumah makan di Kota Pontianak terhadap produksi biogas dan bagaimana kelayakan finansial pemanfaatan sampah organik rumah makan di Kota Pontianak sebagai penghasil biogas.

Pada penelitian ini dilakukan studi kelayakan pemanfaatan biogas dari sampah organik rumah makan di kota Pontianak dengan melakukan kajian terlebih dahulu mengenai potensi sampah organik, merancang *digester* yang digunakan dan menghitung aspek kelayakan ekonominya. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar potensi sampah organik rumah makan sebagai penghasil biogas di Kota Pontianak dan melakukan analisis ekonomi pada pemanfaatan sampah organik rumah makan sebagai penghasil biogas di Kota Pontianak.

## POKOK BAHASAN

Terdapat beberapa jenis reaktor biogas, diantaranya adalah reaktor jenis kubah tetap (*fixed-dome*), reaktor terapung (*floating drum*), reaktor jenis balon, horizontal, lubang tanah, dan *ferrocement*. Dari keenam jenis reaktor biogas tersebut yang banyak digunakan adalah jenis kubah tetap (*fixed-dome*) dan jenis *drum* mengambang (*floating drum*) (Manoppo, 2011).

Reaktor kubah tetap memiliki dua bagian yaitu *digester* sebagai tempat fermentasi material biogas dan sebagai rumah bagi bakteri, baik bakteri pembentuk asam ataupun bakteri pembentuk gas metana. Bagian ini dapat dibuat dengan kedalaman tertentu menggunakan batu, batu bata atau beton. Bagian yang kedua adalah kubah tetap (*fixed-dome*) yang bentuknya menyerupai kubah dan merupakan pengumpul gas yang tidak bergerak (*fixed*). Gas yang dihasilkan dari sampah organik pada *digester* akan mengalir dan disimpan di bagian kubah. Keuntungan dari reaktor ini adalah biaya konstruksi lebih murah daripada menggunakan reaktor terapung karena tidak memiliki bagian yang bergerak menggunakan besi yang tentunya harganya relatif lebih mahal sehingga perawatannya lebih mudah. Sedangkan kerugian dari reaktor ini adalah seringnya terjadi kehilangan gas pada bagian kubah karena konstruksi tetapnya (Suminto, dkk., 2013).

Kelayakan ekonomi merupakan salah satu aspek penting untuk menentukan apakah sebuah teknologi layak dan tidaknya untuk diterapkan (Irsyad, 2016). Berikut jenis-jenis analisis ekonomi yang digunakan:

### a. Profit on Sales (POS)

POS adalah persen keuntungan penjualan produk terhadap harga jual produk itu sendiri.

$$POS = \frac{\text{profit}}{\text{hasil penjualan}} \times 100\% \quad (1)$$

### b. Return on Investment (ROI)

ROI adalah tingkat pengembalian modal dari pabrik ini. dimana untuk pabrik yang tergolong *high risk*.

$$ROI = \frac{\text{profit}}{FCI} \times 100\% \quad (2)$$

### c. Pay Out Time (POT)

POT adalah jumlah tahun yang diperlukan untuk mengembalikan *Fixed Capital Investment* berdasarkan profit yang diperoleh. Besarnya POT untuk pabrik yang beresiko tinggi sebelum pajak adalah maksimal 2 tahun.

$$POT = \frac{FCI}{\text{profit} + \text{depresiasi}} \quad (3)$$

dimana:

FCI = *fixed capital investment*

### d. Break Event Point (BEP)

BEP adalah titik impas. suatu keadaan dimana besarnya kapasitas produksi dapat menutupi biaya keseluruhan.

$$BEP = \frac{FC}{P-VC} \times 100\% \quad (4)$$

dimana:

FC = *fixed manufacturing cost*

VC = *variable cost*

## METODOLOGI

### Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah meteran, plastik, bak 500 L, tanur, cawan petri, pisau, oven, spatula dan *aluminium foil*. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah organik dari rumah makan di Kota Pontianak.

### Prosedur Kerja

#### 1. Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan

Pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dilakukan menggunakan metode SNI 19-3964-1994. Untuk mengetahui jumlah potensi sampah organik, terlebih dahulu harus diketahui persentase komposisi sampah organik. Persentase komposisi sampah dapat diperoleh dengan menggunakan metode *sampling*, yaitu mengambil sebagian sampah untuk dijadikan sebagai contoh. Lokasi pengambilan contoh akan dilakukan terhadap 12 rumah makan di Kota Pontianak. Penentuan jumlah contoh yang diambil dapat diperoleh dari persamaan berikut (Badan Standarisasi Nasional, 1994):

$$S = Cd x \frac{\sqrt{\text{jumlah penduduk}}}{6.000} = 1 x \frac{\sqrt{618.000}}{6.000} = 12 \text{ rumah makan}$$

dimana:

S = jumlah contoh rumah makan

Cd = 1

Setelah itu, lokasi pengambilan sampel ditentukan. Kemudian kantong plastik yang sudah diberi tanda dibagikan kepada sumber sampah 1 hari sebelum dikumpulkan. Selanjutnya volume sampah (Vs) dan berat sampah (Bs) diukur dan dicatat.

#### 2. Perhitungan Potensi Biogas

Sampah organik diambil 2 g, kemudian dicacah dan ditimbang. Dikeringkan di oven pada suhu 100-105°C selama 3-5 jam. Setelah itu, sampah organik kering yang diperoleh ditaruh pada desikator, ditimbang dan dimasukkan ke dalam oven kembali. Setelah dikeringkan, massa sampah organik kering ditimbang sehingga diperoleh *total solid* (TS). Selanjutnya sampah organik tersebut digunakan untuk menghitung *volatile solid* (VS). Sampah organik kering dimasukkan ke dalam tanur pada suhu 600°C selama 40 menit. Kemudian sampah organik kering tersebut dimasukkan pada desikator selanjutnya ditimbang sehingga diperoleh VS. Masing-masing TS dan VS selama 5 hari dicatat dan dihitung rata-ratanya<sup>[2]</sup>.

#### 3. Perhitungan Jumlah Biogas dan Gas Metana

Secara lengkap parameter nilai persentase rata-rata penyusutan sampah padat organik menjadi produksi biogas serta gas metana dapat dituliskan kembali dalam bentuk persamaan sebagai berikut (McDonald, dkk.,2008):

$$Vb = 0,676 x VS \quad (5)$$

$$Vgm = 60\% x Vb \quad (6)$$

dimana:

VS = *volatile solid* (kg)

Vb = volume biogas (m<sup>3</sup>/kg VS)

Vgm = volume gas metana (m<sup>3</sup>)

#### 4. Perhitungan Volume *Digester*

*Digester* yang akan digunakan adalah *fixed dome type*. Perencanaan ukuran volume *digester* biogas dilihat dari jumlah sampah organik harian, perbandingan komposisi campuran air dan sampah organik, waktu digestifikasi dan jumlah volume biogas yang dihasilkan. Volume dihitung dengan persamaan berikut.

$$V = \frac{m}{\rho} x HRT \quad (7)$$

dimana:

V = volume digester ( $m^3$ )

m = massa umpan (kg/jam)

$\rho$  = massa jenis umpan ( $kg/m^3$ )

HRT = *hydraulic retention time* atau waktu tinggal (jam)

Setelah diketahui ukuran volume bagian-bagian digester, maka dapat ditentukan ukuran digester secara dimensi geometriikal.

### 5. Analisis Ekonomi

Dalam rangka menilai apakah suatu proyek dapat diterima atau tidak, dapat digunakan teknik analisis kelayakan ekonomi. Analisis utama dilakukan terhadap:

- Profit on Sales* (POS)
- Return on Investment* (ROI)
- Pay Out Time* (POT)
- Break Event Point* (BEP)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Jenis sampah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampah rumah makan di Kota Pontianak. Untuk mengetahui jumlah sampah organik rumah makan, pengambilan dan pengukuran contoh timbulan sampah rumah makan dilakukan menggunakan metode SNI 19-3964-1994. Contoh rumah makan yang diambil sebanyak 12 rumah makan. Hasil sampling rumah makan yang diperoleh di kota Pontianak sebagai berikut:

Tabel 1. Jumlah Sampah Rumah Makan di Kota Pontianak

No.	Kecamatan	Organik (kg)	Anorganik (kg)
1	Pontianak Selatan	57,423	4,854
2	Pontianak Utara	30,685	5,023
3	Pontianak Barat	24,548	4,018
4	Pontianak Timur	64,421	6,067
5	Pontianak Tenggara	28,230	4,621
6	Pontianak Kota	61,370	10,046
	Total	261,347	34,630
	Rata-rata	43,558	6,105

Dari tabel di atas, rata-rata sampah organik dari tiap rumah makan di Kota Pontianak adalah sebanyak 43,558 kg/hari. Dengan rata-rata tersebut dapat diperoleh potensi biogas dengan melakukan analisis TS dan VS sebagai berikut:

TS =  $54,25\% \times P_o = 54,25\% \times 43,558 \text{ kg/hari} = 23,63 \text{ kg}$

VS =  $46,38\% \times TS = 46,38\% \times 23,630 \text{ kg} = 10,96 \text{ kg}$

Vb =  $0,676 \times VS = 0,676 \times 10,959 \text{ kg} = 7,41 \text{ m}^3$

Dari *sampling* sampah tersebut, diketahui rata-rata sampah organik tiap rumah makan di Kota Pontianak yaitu 23,630 kg/hari dengan potensi biogas yang dihasilkan sebesar 7,41  $m^3/kg$  VS/ hari.

Digester yang digunakan adalah *fixed dome reactor* dengan rata-rata sampah organik harian yang dihasilkan tiap rumah makan di kota Pontianak adalah 43,558 kg. Sedangkan komposisi campuran air dan sampah organik adalah 1:1. Maka jumlah bahan baku adalah:

Bahan baku (Q) = jumlah sampah organik + jumlah air =  $43,558 \text{ kg} + 43,558 \text{ kg}$   
= 87,116 kg

Digester yang dipasang berada dalam kondisi *mesophilic* yaitu berkisar pada suhu 25-35°C, dengan waktu digestifikasi 7-20 hari (Reynaldi, 2016). Waktu digestifikasi yang pendek dapat mengurangi volume *digester* dan sebaliknya waktu digestifikasi yang panjang dapat menambah volume *digester*. Dengan menentukan waktu digestifikasi selama 20 hari, maka dapat dihitung volume kerja *digester* yaitu 921,6 liter. Oleh sebab itu digunakan tangki PVC berukuran 1.000 Liter dengan diameter 1,06 m dan tinggi 1,27 m.

*Digester* anaerob yang mampu menghasilkan sumber energi biogas sebesar 7,41 m<sup>3</sup>/hari ini akan dimanfaatkan sebagai bahan bakar untuk memasak di rumah makan tersebut. Selain itu sisa dari fermentasi anaerobik (*sludge*) dimanfaatkan sebagai pupuk kompos yang kemudian akan dijual ke pihak ketiga.

Pada perancangan pembangunan *digester* biogas untuk rumah makan ini dilakukan evaluasi atau penilaian investasi dengan maksud untuk mengetahui apakah hal ini menguntungkan dari segi ekonomi atau tidak. Bagian terpenting dari perancangan ini adalah estimasi harga dari alat-alat, karena harga digunakan sebagai dasar untuk estimasi analisis ekonomi. Analisis ekonomi dipakai untuk mendapatkan perkiraan atau estimasi tentang kelayakan investasi modal dalam kegiatan produksi dengan meninjau kebutuhan modal investasi, besarnya laba yang akan diperoleh, lamanya modal investasi dapat dikembalikan dalam titik impas. Selain itu, analisis ekonomi juga dimaksudkan untuk mengetahui apakah yang akan didirikan dapat menguntungkan atau tidak jika didirikan.

Untuk itu pada perancangan *digester* biogas ini dilakukan analisis kelayakan investasi modal meliputi: *Profit on Sales* (POS), *Return on Investment* (ROI), *Pay Out Time* (POT), dan *Break Event Point* (BEP). Untuk meninjau faktor-faktor tersebut perlu diadakan penaksiran terhadap beberapa faktor, yaitu:

1. Penaksiran modal industri (*Total Capital Investment*)

*Capital Investment* adalah banyaknya pengeluaran – pengeluaran yang diperlukan untuk fasilitas – fasilitas produksi dan untuk menjalankannya. Berikut hasil perhitungan *total capital investment*:

Tabel 2. Penaksiran Modal (*Total Capital Investment*)

No	Keterangan	Harga (Rp)
1	Harga pembelian peralatan	8.820.840
2	Instalasi alat – alat	640.000
3	Perbaikan lahan	694.720
<b>Fixed Capital Investment (FCI)</b>		<b>10.155.560</b>

2. Penentuan biaya produksi total (*Total Production Costs*) terdiri dari :

- a. Biaya pengeluaran (*Manufacturing Costs*)
- b. Biaya pengeluaran umum (*General Expense*)

Tabel 3. Biaya Produksi Total (*Total Production Cost*)

No.	Jenis	Harga (Rp)
1	Gaji Pegawai	9.600.000
2	<i>Maintenance</i>	406.222
<b>Direct Manufacturing Cost</b>		<b>9.806.222</b>
3	Depresiasi	812.445
<b>Fixed Manufacturing Cost</b>		<b>812.445</b>
<b>Total Production Cost</b>		<b>10.818.667</b>

3. Total pendapatan penjualan produk pupuk kompos dan biogas pengganti LPG

Penjualan selama 1 tahun:

Pupuk kompos	= Rp 8.293.712,00
Biogas pengganti LPG	= Rp 12.223.200,00
Total penjualan	= Rp 20.516.912,00
Biaya produksi total	= Rp 10.818.667,00
Keuntungan sebelum pajak	= Rp 9.698.245,00
Pajak 20 % dari keuntungan	= Rp 1.939.649,00
Keuntungan setelah pajak	= Rp 7.758.596,00

Maka diperoleh:

a. *Profit on sales* (POS)

POS sebelum pajak = 47,270%

POS setelah pajak = 37,820%

b. *Return on Investment* (ROI)

ROI sebelum pajak = 95,50%

ROI setelah pajak = 76,40%

c. *Pay Out Time* (POT)

POT sebelum pajak = 1 tahun = 12 bulan

POT setelah pajak = 1,2 tahun = 14 bulan

d. *Break Event Point* (BEP)

BEP = 28,230%

Untuk nilai hasil penjualan biogas merupakan nilai dari perhitungan penggantian LPG menjadi biogas (biogas tidak dikomersilkan). Oleh sebab itu, berdasarkan perhitungan analisis kelayakan tersebut, dapat disimpulkan bahwa perancangan digester rumah makan di Kota Pontianak layak dipertimbangkan untuk direalisasikan pembangunannya dan sangat menguntungkan.

### KESIMPULAN

Melalui proses fermentasi anaerobik, sampah organik rumah makan dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku produksi biogas. Biogas tersebut dimanfaatkan menjadi bahan bakar alternatif pengganti LPG untuk memasak. Dari hasil analisis penelitian di atas, didapatkan beberapa kesimpulan mengenai pemanfaatan sampah organik rumah makan di Kota Pontianak antara lain:

1. Dengan rata-rata produksi sampah organik rumah makan sebesar 43,56 kg/hari menghasilkan biogas sebesar 7,41 m<sup>3</sup>/hari.
2. Dalam analisis ekonomi pemanfaatan sampah organik rumah makan di Kota Pontianak menjadi biogas sebagai bahan bakar alternatif pengganti LPG sangat menguntungkan dan layak untuk didirikan, dimana *profit on sales* sebesar 37,82%, *return on investment* sebesar 76,40%, *pay out time* selama 14 bulan, dan *break event point* sebesar 28,23%.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Standarisasi Nasional. 1994. Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan. SNI.19-3964-1994.
- [2] Badan Standarisasi Nasional. 2005. Air dan Limbah: Cara Uji Kadar Padatan Total Secara Gravimetri. SNI.06-6989.26-2005.
- [3] *Insyde*. 2012. *How does biogas work?* www.simgas.com. Akses: 25 Februari 2019.
- [4] Irsyad, Fadli dan Delvi Yanti. 2016. Evaluasi Tekno-Ekonomi Pemanfaatan Biogas Skala Rumah Tangga Sebagai Sumber Energi Alternatif Ramah Lingkungan. Jurnal Teknologi Pertanian Andalas Vol. 20, No.2. ISSN 1410-1920. Padang.
- [5] Manoppo, Fabian. J. 2011. Cara Cepat Membuat Biogas Dari Kotoran Hewan dan Sampah Dirumah. LSM Pendidikan Silo (NGO) & LSM Pemberdayaan Teknologi dan Perkotaan (NGO). <http://www.sulutiptek.com/energi-biogas-php.php>. Akses: 25 Februari 2019.
- [6] McDonald, Tanya., Gopal Achari, Abimbola Abiola. 2008. *Feasibility of Increased Biogas Production from The Co-Digestion of Agricultural, Municipal, and Agro-Industrial Wastes in Rural Communities*. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2008, 7(4): 263-273.

### DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. **PERTANYAAN (Susetyo Trijoko-PKSEN):**

Kapan penelitian ini dilakukan dan apakah hasil penelitian ini sudah di implementasikan oleh rumah makan penghasil sampah organik?

**JAWABAN:**

Penelitian dilakukan sampai akhir tahun 2018, sehingga belum di implementasikan oleh penghasil sampah (misal rumah makan)

**2. PERTANYAAN (Susetyo Trijoko-PKSEN):**

Apakah sudah ada investor yang mengembangkan mesin digester sehingga tersedia di pasaran?

**JAWABAN:**

Belum ada investor yang membuat alat (mesin) digester sampah, namun Pemkot Pontianak telah memiliki alat konversi sampah pasar menjadi biogas.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## ESTIMASI KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN DOSIS SUMBER BRAKITERAPI IRIDIUM-192 YANG DIHASILKAN REAKTOR PENELITIAN

Susetyo Trijoko<sup>1</sup> dan Assef Firmando Firmansyah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN) BATAN, Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan,  
Jakarta 12710

<sup>2</sup>Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) BATAN, Jalan Kuningan Barat,  
Mampang Prapatan, Jakarta 12710  
email: strijoko@batan.go.id

### ABSTRAK

**ESTIMASI KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN DOSIS SUMBER BRAKITERAPI IRIDIUM-192 YANG DIHASILKAN REAKTOR PENELITIAN.** Sumber pemancar gamma Ir-192 dihasilkan di dalam reaktor penelitian, dengan tembakan neutron pada target isotop stabil Ir-191 melalui reaksi (n,γ). Sumber Ir-192 berbentuk kawat yang telah dilapisi platinum digunakan untuk brakiterapi kanker (misalnya terapi kanker serviks). Brakiterapi yang artinya terapi jarak dekat, merupakan salah satu bentuk radioterapi dimana sumber radiasi berkekuatan tinggi diletakkan di dalam atau sangat dekat dengan tumor. Dosis sumber brakiterapi Ir-192 yang direkomendasikan oleh Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA) adalah dalam besaran laju kerma udara acuan (*reference air kerma rate - RAKR*) pada jarak 1 (satu) meter, dengan satuan Gy.m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup> dan ketidakpastian kurang dari ±5%. Pengukuran dosis sumber brakiterapi Ir-192 dilakukan di udara dengan menggunakan detektor ionisasi terapi yang dihubungkan dengan dosimeter dan memiliki faktor kalibrasi tertelusur ke satuan sistem internasional (SSI) melalui laboratorium dosimetri standar primer. Estimasi ketidakpastian hasil pengukuran dosis sumber brakiterapi Ir-192 dilakukan dengan memperhitungkan ketidakpastian yang berasal dari: faktor kalibrasi dari detektor ionisasi pada berkas Ir-192; *resolusi* bacaan dosimeter; kedapat-ulangan (*repeat*) bacaan; waktu pengukuran; suhu udara; tekanan udara; rekombinasi ion; koreksi atenuasi udara; koreksi hamburan radiasi; koreksi ketidak seragaman fluens elektron; dan perbedaan jarak pengukuran (pusat sumber radiasi ke pusat detektor). Makalah ini merupakan hasil tinjauan (review) terhadap beberapa makalah yang terpublikasi nasional maupun internasional dan informasi kalibrasi yang berasal dari laboratorium dosimetri Australia (ARPANSA), Cina (NIM), IAEA, Jepang (NMIJ), Korea Selatan (KRIS), Malaysia (MNA), dan Indonesia (PTKMR). Perhitungan estimasi ketidakpastian laju kerma udara acuan sumber brakiterapi Ir-192 yang dilakukan dengan menggunakan publikasi "*Guide to the Uncertainty in Measurement*" (GUM), ISO, menunjukkan bahwa laboratorium tersebut diatas dapat memberikan nilai ketidakpastian bentangan (k=2) dalam rentang dari ±2,61% sampai dengan ±3,43%.

Kata kunci: ketidakpastian, dosis, sumber brakiterapi, iridium-192, reaktor penelitian.

### ABSTRACT

**UNCERTAINTY ESTIMATION ON DOSE MEASUREMENT OF IRIDIUM-192 BRACHYTHERAPY SOURCE PRODUCED BY RESEARCH REACTOR.** Iridium-192 radionuclide gamma emitter is produced in a research reactor by neutron bombardment on target of Ir-191 stable isotope through (n,γ) nuclear reaction. It is, in the form of wire coated in platinum, used for brachytherapy applications (i.e servical cancer treatment). Brachytherapy meaning "close therapy" is a radiotherapy where radiation source is placed inside or very close to a tumor. Ir-192 brachytherapy source-strength recommended by International Atomic Energy Agency (IAEA) is reference air kerma rate (RAKR) at 1 (one) meter distance, stated in Gy.m<sup>2</sup>.s<sup>-1</sup>, and uncertainty of ±5%. Measurement of Ir-192 brachytherapy source-strength is done in air by using a therapy ionization detector that is connected to a dosimeter and has calibration factor traceable to international system unit through a primary standard dosimetry laboratory. Estimation on dose uncertainty of Ir-192 brachytherapy source was carried out by considering uncertainty contribution from: calibration factor of ionization detector in Ir-192 beam; resolution of dosimeter reading; repeatability; measurement time; air temperature; air pressure; ion recombination; air attenuation correction; radiation scattering correction; electron fluens inhomogeneity

correction; and difference in distance measurement (source center to detector center). This paper is a review of several paper published nationally and internationally. Information of calibration factor were taken from dosimetry laboratories of Australia (ARPANSA), China (NIM), IAEA, Japan (NMIJ), Korea (KRIS), Malaysia (MNA), and Indonesia (PTKMR). Calculation on estimation of reference air kerma rate for Ir-192 brachytherapy source performed by using "Guide to the Uncertainty in Measurement" (GUM-ISO) showed that those mentioned laboratories could give expanded uncertainty in the range of  $\pm 2,61\%$  to  $\pm 3,43\%$ .

Keyword: uncertainty, dose, brachytherapy source, iridium-192, research reactor.

## PENDAHULUAN

Kanker telah menjadi salah satu penyakit utama penyebab kematian di dunia. World Health Organization (WHO) menyebutkan lima besar jenis kanker yang ditemukan pada laki-laki di dunia, yaitu kanker paru-paru, prostat, kolorektum, kanker perut, dan kanker hati. Sedangkan pada perempuan yang terbanyak adalah kanker payudara, kolorektum, paru-paru, serviks, dan kanker perut. Angka kejadian kanker di wilayah Indonesia bagian barat lebih besar jika dibandingkan wilayah Indonesia tengah dan makin menurun hingga wilayah Indonesia timur. Pulau Jawa merupakan pulau dengan jumlah kanker paling tinggi. Sedangkan Jawa Tengah merupakan provinsi dengan kejadian kanker tertinggi. Kanker serviks uteri dan ovarium serta kanker payudara merupakan jenis kanker yang paling banyak ditemukan di Indonesia. Kanker serviks uteri merupakan kanker terbanyak penyebab kematian pada perempuan di negara berkembang<sup>[1]</sup>.

Prevalensi kanker di Indonesia berdasarkan data riskesdas tahun 2013 mencapai 1,4% atau sekitar 347.792 orang, dengan prevalensi terbesar yaitu kanker serviks sebesar 0,8% dan kanker payudara sebesar 0,5%. Radioterapi atau terapi radiasi tanpa bedah dan berperan penting untuk pengobatan kuratif kanker. Dari 10,9 juta orang yang didiagnosis menderita kanker di seluruh dunia setiap tahun, sekitar 50% memerlukan radioterapi dan 60% di antaranya dilakukan pengobatan kuratif. Radioterapi telah menjadi salah satu terapi yang penting dalam terapi kanker di Indonesia. Pemerintah Indonesia telah mendukung kemajuan teknologi ini dengan menerbitkan Permenkes Nomor 1427 Tahun 2006 tentang standar pelayanan radioterapi di rumah sakit dan Permenkes Nomor 81 Tahun 2013 tentang penyelenggaraan pekerjaan radiografer<sup>[2]</sup>.

Brakiterapi yang berasal dari bahasa Yunani dan berarti terapi jarak dekat, dimana sumber radiasi diletakkan di dalam atau sangat dekat dengan tumor, merupakan upaya upaya terapi kanker (misalnya terapi kanker serviks) untuk memperoleh rasio yang tinggi antara dosis jaringan tumor dengan jaringan normal. Terdapat dua jenis brakiterapi, yakni: (1) brakiterapi intrakavitari dimana sumber radiasi ditempatkan di dalam kavitas atau rongga tubuh yang berdekatan dengan tumor; dan (2) brakiterapi interstisial dimana sumber radiasi ditanam langsung di dalam jaringan tumor<sup>[3]</sup>. Untuk mendapatkan efektivitas brakiterapi, diperlukan pemahaman tentang dosimetri brakiterapi guna memberikan rasio terapeutik yang terbaik, sehingga bisa diperoleh pengendalian tumor (*tumor control*) yang baik dan kerusakan jaringan normal minimal. Pengetahuan tentang dosimetri dan ketidakpastian dosis brakiterapi secara baik diharapkan dapat meningkatkan pemanfaatan brakiterapi dengan seoptimal mungkin.

The British Commission on Radiation Units and Measurements (BCRU), the Netherlands Commission on Radiation Dosimetry (NCS), National Institute of Standards and Technology (NIST) USA, Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) dan Badan Tenaga Atom Internasional (IAEA)<sup>[4]</sup> merekomendasikan besaran untuk sumber gamma brakiterapi dalam laju kerma udara acuan (*RAKR*), sebagaimana yang didefinisikan oleh *Internasional Commission on Radiation Unit and Measurement (ICRU)*, yakni laju kerma di udara, pada jarak acuan 1 (satu) meter, dikoreksi hamburan dan atenuasi udara. Satuan SI laju kerma udara acuan adalah Gy/s, tetapi untuk maksud-maksud tertentu agar lebih sesuai dengan penggunaannya, digunakan satuan Gy/h untuk sumber-sumber brakiterapi LDR (*low dose rate*), dan dan satuan Gy/min ataupun mGy/s untuk sumber-sumber HDR (*high dose rate*). The Netherlands Commission on Radiation Dosimetry (NCS)<sup>[5]</sup> dan beberapa komisi dosimetri radiasi dari berbagai negara menyatakan bahwa untuk mencapai spesifikasi yang diinginkan dalam brakiterapi, maka ketidakpastian dosis brakiterapi harus kurang dari  $\pm 5\%$  (untuk 1SD). Sedangkan sertifikat kalibrasi yang dikeluarkan pembuat biasanya menyatakan kekuatan sumber brakiterapi dengan ketidakpastian total  $\pm 5\%$ . Beberapa pengukuran telah

dilaporkan dalam tingkat internasional, dengan penyimpangan lebih dari  $\pm 5\%$ <sup>[8]</sup>. Makalah ini disusun dengan berdasarkan pada studi literatur yang dipublikasikan secara internasional dan nasional, untuk mendapatkan nilai ketidakpastian pengukuran dosis brakiterapi sesuai dengan yang direkomendasikan oleh IAEA.

## METODE

Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR) – BATAN telah berhasil membuat sumber radiasi terbungkus Ir-192 untuk brakiterapi kanker serviks<sup>[6]</sup>. Radionuklida Ir-192 dibuat dari Ir-191 dengan reaksi penangkapan neutron ( $n,\gamma$ ) di reaktor nuklir sehingga dihasilkan radionuklida Ir-192. Bahan target dimasukkan ke dalam batang grafit dan dibungkus dengan aluminium foil yang berbentuk seperti kapsul. Kapsul aluminium yang sudah terisi target diaktivasi selama waktu tertentu dengan menggunakan *neutron termal* di reaktor penelitian G.A. Siwabessi di Pusat Reaktor Serba Guna Serpong. Waktu aktivasi yang diperlukan untuk mendapatkan Ir-192 dengan radioaktivitas sekitar 10 Ci dari target seberat 23,5 mg adalah 1019 jam, 463 jam dan 224 jam masing-masing untuk fluks neutron  $5 \times 10^{13}$ ,  $1 \times 10^{14}$  dan  $2 \times 10^{14}$   $\text{ns}^{-1}\text{cm}^{-2}$ , sedangkan untuk target 25,5 mg diperlukan waktu iradiasi 910 jam, 419 jam dan 203 jam untuk fluks neutron yang sama<sup>[7]</sup>.

Sumber Ir-192, yang memiliki waktu-paro sekitar 74 hari, saat ini sering digunakan dalam sistem brakiterapi laju dosis tinggi (HDR). Aktivitas sumber Ir-192 biasanya sekitar 10 curie, atau sekitar  $1,1337 \times 10^{-5}$   $\text{Gy}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$  kalau dinyatakan dalam satuan laju kerma udara acuan (*reference air kerma rate-RAKR*). Agar waktu penyinaran (*treatment*) pasien tidak terlalu lama, sumber Ir-192 biasanya perlu diganti 4 (empat) kali dalam setahun. Setiap kali penggantian sumber, perlu dilakukan kalibrasi, karena prosedur kalibrasi merupakan bagian utama dari program jaminan mutu sistem brakiterapi laju dosis tinggi<sup>[8]</sup>.

Spektrum energi foton Ir-192 (fraksi > 0.001) mencakup 18 garis energi gamma dalam rentang 61 – 885 keV. Dengan pertimbangan bahwa sekitar 88% kontribusi paparan radiasinya berasal dari 12 garis energi gamma yang di atas 296 keV dan dua garis sinar-X kuat pada 9,00 dan 9,44 keV dapat teratenuasi oleh kapsul sumber, maka energi rata-rata foton Ir-192 berada pada 397 keV<sup>[9,10]</sup>. Spektrum energi rata-rata foton Ir-192 tersebut berada pada celah (*gap*) rentang energi yang tidak memiliki ketertelusuran faktor kalibrasi secara langsung ke Laboratorium Dosimetri Standar Primer (*Primary Standard Dosimetry Laboratory – PSDL*).

Di laboratorium dosimetri standar sekunder (SSDL)<sup>[11]</sup>, faktor kalibrasi yang berasal dari laboratorium dosimetri standar primer (PSDL) atau BIPM ditransfer ke pengguna sumber brakiterapi di rumah sakit. Dalam halam IAEA bertindak sebagai penghubung (*link*) antara PSDL dan anggota jaringan SSDL, detektor ionisasi milik SSDL biasanya dikalibrasi di laboratorium dosimetri IAEA. Sehingga kalibrasi detektor ionisasi standar acuan milik SSDL tertelusur ke BIPM atau satu PSDL melalui IAEA. Detektor ionisasi tingkat terapi yang digunakan di rumah sakit di Indonesia biasanya dikalibrasi dengan membandingkan tanggapannya terhadap tanggapan dosimeter SSDL dalam berkas gamma dari pesawat teleterapi Co-60 dan dalam berkas sinar-X yang telah dimodifikasi untuk keperluan kalibrasi.

## Pengukuran Dosis Sumber Brakiterapi Ir-192 di Udara

Pengukuran sumber brakiterapi di udara merupakan metode alternatif untuk kalibrasi sumber brakiterapi Ir-192 dengan menggunakan detektor ionisasi terapi<sup>[12]</sup>. Faktor kalibrasi detektor ionisasi biasanya dinyatakan dalam kerma udara ( $N_K$ ) atau dosis serap air ( $N_D$ ), yang tertelusur ke satu laboratorium dosimetri standard. Berbagai tahapan yang dilalui di antara pelaksanaan kalibrasi detektor ionisasi dalam kerma udara di laboratorium dosimetri SSDL dan penentuan dosis serap air di rumah sakit-rumah sakit dengan menggunakan protokol dosimetri berbasis kerma udara, menimbulkan nilai ketidakpastian tertentu pada dosis serap air. Banyak tahapan diperlukan dalam rantai dosimetri, yang dimulai dari faktor kalibrasi kerma udara ( $N_K$ ) dalam berkas gamma Co-60 dan berakhir pada dosis serap air dalam berkas radioterapi di rumah sakit<sup>[8]</sup>. Detektor ionisasi terapi biasanya tersedia di bagian/fasilitas radioterapi rumah sakit. Detektor ionisasi harus memiliki ketebalan dinding yang dipersyaratkan (sekitar 0,31  $\text{g}/\text{cm}^2$ ) untuk mendapatkan kesetimbangan partikel bermuatan sumber Ir-192 yang memancarkan spectrum energi foton rentang 61 – 885 keV. Jika ketebalan dinding detektor berbeda dengan yang dipersyaratkan, koreksi harus diberlakukan terhadap hamburan dan pelemahan (atenuasi) foton<sup>[10]</sup>.

Saat ini, belum tersedia standard primer untuk sumber Ir-192 laju dosis tinggi (*high dose rate – HDR*). Selain itu, saat ini juga belum ada PSDL yang dapat memberikan faktor kalibrasi detektor ionisasi untuk energi gamma/foton Ir-192. Namun laboratorium SSDL, IAEA ataupun PSDL umumnya memiliki fasilitas untuk mengkalibrasi detektor ionisasi (misal jenis Farmer) pada energi foton sinar-X di bawah 397 keV dan sinar gamma di atas 397 keV. Sehingga ketertelusuran faktor kalibrasi detektor ionisasi ke standar primer dilakukan dengan mengkalibrasi detektor ionisasi dalam lapangan radiasi acuan pada sinar-X 250 kVp ( $\approx 131$  keV) dan sinar gamma Co-60. Kemudian detektor diberikan faktor kalibrasi untuk energi rata-rata foton Ir-192. Cara tersebut dilakukan di PSDL Jerman, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), yang mencakup evaluasi fungsi kalibrasi detektor ionisasi antara 20 keV dan Co-60, dan interpolasi berkas emisi Ir-192 dengan pembobotan probabilitas emisinya<sup>[4,8]</sup>.

Faktor kalibrasi kerma udara untuk Ir-192 ( $N_{K, Ir}$ ) merupakan besaran yang diperlukan untuk menentukan luaran kerma udara sumber brakiterapi Ir-192.  $N_{K, Ir}$  dapat diperoleh dari interpolasi pada dua energi gamma/foton seperti dinyatakan dalam paragraf di atas. Sampai saat ini, cara tersebut merupakan satu cara yang paling rasional untuk mendapatkan faktor kalibrasi yang sesuai untuk berkas Ir-192. Jika dinding detektor cukup tebal untuk menghasilkan kesetimbangan partikel bermuatan (detektor berikut dengan sungkup untuk Co-60), maka faktor kalibrasi kerma udara Ir-192 ( $N_{K, Ir}$ ) dapat diperoleh melalui rerata dari faktor kalibrasi kerma udara untuk sinar-X 250 kVp dan gamma Co-60, dengan mempertimbangkan faktor dinding detector ( $A_w$ ). Selanjutnya faktor kalibrasi kerma udara detektor ionisasi dengan sungkup terpasang dinyatakan sebagai berikut<sup>[4]</sup>.

$$N_{K, Ir} = (0,8 \cdot A_{w, 250kV} \cdot N_{K, 250kV} + 0,2 \cdot A_{w, Co} \cdot N_{K, Co}) / A_{w, Ir} \quad (1)$$

dimana:

$A_{w, 250kV}$  : faktor dinding detektor ionisasi pada sinar-X 250 kV ( $\approx 131$  keV);

$A_{w, Co}$  : faktor dinding detektor ionisasi pada berkas Co-60;

$A_{w, Ir}$  : faktor dinding detektor ionisasi pada berkas Ir-192;

$N_{K, 250kV}$  : faktor kalibrasi kerma udara detektor ionisasi pada sinar-X 250 kV ( $\approx 131$  keV);

$N_{K, Co}$  : faktor kalibrasi kerma udara detektor ionisasi pada berkas Co-60;

Metode kalibrasi sumber brakiterapi Ir-192 di udara untuk menentukan laju kerma udara acuan (RAKR) telah dituliskan dalam beberapa literatur<sup>[8,10,12,13]</sup>. Kalibrasi di udara dilakukan dengan detektor ionisasi bervolume lebih dari 0,6 cc, dengan menggunakan metode multi-jarak. Detektor ionisasi yang digunakan harus memiliki ketebalan dinding yang cukup (misal 0,31 g/cm<sup>2</sup>) untuk menghasilkan kesetimbangan partikel bermuatan dari foton yang dipancarkan sumber Ir-192. Detektor ionisasi silinder jenis Farmer memiliki volume 0,65 cc dengan total ketebalan (dinding dan sungkupnya) 0,631 g/cm<sup>2</sup> cukup untuk memberikan kesetimbangan partikel bermuatan. Namun pengukuran secara langsung pada jarak 1 m untuk menentukan RAKR sumber Ir-192 tidak bisa dilakukan karena arus/muatan yang terlalu rendah dan kebocoran arus yang tinggi dari detektor ionisasi. Untuk itu, diperlukan penyangga (*jig*) untuk memegang detektor dan menempatkan aplikator sumber pada berbagai jarak yang diinginkan, kurang dari 1 m. Contoh kalibrasi di udara dengan menggunakan detektor ionisasi silinder jenis Farmer diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Kalibrasi sumber brakiterapi Ir-192 di udara dengan menggunakan detektor ionisasi dan penyangganya<sup>[12]</sup>.

Penyangga sumber Ir-192 ditempatkan tengah-tengah ruangan pada jarak minimal 1 m di atas lantai dan 1 m dari dinding-dinding ruangan. Detektor dengan sungkupnya ditempatkan tetap di ujung penyangga, sementara jarum aplikator digeser pada berbagai jarak (10, 15, 20, 25, 30, 35, dan 40 cm) dari detektor. Untuk mengetahui posisi sensitivitas maksimum detektor pada arah vertikal, detektor diletakkan pada jarak tertentu, kemudian aplikator digerakkan ke atas-bawah dengan mengatur 5 mm setiap langkah gerakannya. Muatan (*charge*) yang terukur elektrometer untuk interval waktu tertentu perlu dikoreksi suhu dan tekanan udara, rekombinasi ion, atenuasi udara, hamburan dinding, ketidakseragaman fluens elektron dalam rongga detektor dan jarak detektor-aplikator. Selanjutnya, setelah modifikasi penulisan persamaan yang diberikan oleh dokumen IAEA<sup>[4]</sup>, laju kerma udara acuan (*RAKR*) sumber brakiterapi Ir-192,  $K_{R,Ir}$  ditentukan dengan menggunakan perumusan berikut.

$$K_{R,Ir} = N_{K,Ir} \cdot (M_u/t) \cdot k_{ud} \cdot k_{scatt} \cdot k_n \cdot (d/d_{ref})^2 \quad (2)$$

dimana:

- $K_{R,Ir}$  : laju kerma udara acuan sumber brakiterapi Ir-192;
- $N_{K,Ir}$  : faktor kalibrasi kerma udara dari detektor ionisasi pada berkas Ir-192;
- $M_u$  : bacaan (muatan) yang terukur selama waktu  $t$  dan dikoreksi terhadap suhu dan tekanan udara, dan rekombinasi ion;
- $k_{ud}$  : faktor koreksi atenuasi udara dari foton primer oleh udara antara sumber dan detektor;
- $k_{scatt}$  : faktor koreksi hamburan radiasi dari dinding, lantai, perangkat penyangga, dan udara;
- $k_n$  : faktor koreksi ketidak seragaman fluens elektron dalam rongga detektor;
- $d/d_{ref}$  : faktor perbandingan jarak pengukuran terhadap jarak acuan (1 m) yang diukur dari pusat sumber ke pusat detektor;

Perlu diperhatikan bahwa persamaan (2) di atas menghasilkan laju kerma udara acuan pada saat pengukuran. Jika laju kerma udara acuan ingin dinyatakan pada waktu yang lain setelah pengukuran, maka perlu dilakukan koreksi berdasarkan waktu peluruhan sumber Ir-192 yang memiliki waktu-paro sekitar 74 hari.

### Estimasi Ketidakpastian Pengukuran

Ketidakpastian pengukuran dinyatakan dengan estimasi ketidakpastian standar gabungan berdasarkan *Guide to the Uncertainty in Measurement* (GUM) yang diperoleh dari akar jumlah kuadrat semua ketidakpastian standar tipe A (acak) dan tipe B (sistematik), yang secara umum dituliskan sebagai berikut <sup>[14]</sup>.

$$u_c = [\sum u_i(y)^2]^{1/2} \quad (3)$$

dimana:

- $u_c$  : ketidakpastian standard gabungan;
- $u_i(y)$  : semua ketidakpastian standar tipe A (acak) dan tipe B (sistematik);

Ketidakpastian standar tipe A, yang diperoleh dari sejumlah pengamatan berulang secara bebas, biasanya dapat didekati dari nilai standar deviasi rata-rata eksperimental, dengan distribusi kemungkinannya normal (Gaussian). Ketidakpastian standar tipe B, yang dievaluasi dengan cara selain analisis statistik, biasanya diperoleh dari justifikasi ilmiah dengan menggunakan semua informasi relevan yang tersedia (misalnya data pengukuran sebelumnya, informasi dari pabrik, acuan dari *data book*, dll). Jika nilai ketidakpastian diberikan dalam batas 'semi-range' tertentu, maka distribusi kemungkinannya dapat diestimasi dari informasi yang tersedia, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Selanjutnya ketidakpastian standar gabungan tersebut di atas biasanya dilihat sebagai satu nilai standar deviasi dengan distribusi kemungkinan normal. Ketidakpastian pada pengukuran besaran dosis brakiterapi biasanya dinyatakan dalam ketidakpastian bentangan (*expanded uncertainty*),  $U$ , yang merepresentasikan ketidakpastian total untuk tingkat kepercayaan tertentu dan dituliskan sebagai berikut <sup>[14]</sup>.

$$U = k \cdot u_c \quad (4)$$

dimana:

- U : ketidakpastian bentangan;
- k : faktor cakupan

Ketidakpastian bentangan (U) diperoleh dari ketidakpastian standard gabungan,  $u_c$ , dikalikan dengan faktor cakupan, k, yang dipilih untuk memberikan tingkat kepercayaan yang diinginkan pada distribusi kemungkinan normal, seperti dalam Tabel 1. Pilihan-pilihan untuk k adalah bilangan bulat 1, 2, atau 3, yang secara berurutan sesuai dengan tingkat kepercayaan 67.7%, 95.5% dan 99.7%.

Tabel 1. Jenis-jenis distribusi kemungkinan yang terkait dengan parameter yang dipilih, tingkat kepercayaan dan nilai pembagi<sup>[14]</sup>.

Distribusi Kemungkinan	Parameter	Tingkat Kepercayaan	Nilai Pembagi
normal	1 standar deviasi	67.7%	1
normal	2 standar deviasi	95.5%	2
normal	3 standar deviasi	99.7%	3
rectanguler	semi-range	100%	$\sqrt{3}$
trianguler	semi-range	100%	$\sqrt{6}$

Ketidakpastian faktor kalibrasi kerma udara untuk berkas foton Ir-192 ( $N_{K, Ir}$ ).

Berdasarkan model persamaan matematis (1), nilai ketidakpastian  $N_{K, Ir}$  dapat ditentukan dari ketidakpastian faktor dinding dan faktor kalibrasi kerma udara detektor ionisasi yang digunakan. Nilai ketidakpastian faktor dinding ( $A_w$ ) untuk detektor ionisasi (misalnya jenis detektor Farmer) pada berkas sinar-X 250 kV, Ir-192 dan Co-60 telah dihitung dengan metode Monte-Carlo <sup>[4]</sup>, dengan nilai ketidakpastiannya adalah 0,1% (1 deviasi standar). Untuk mendapatkan ketertelusuran ke satuan sistem internasional (SSI), detektor ionisasi harus dikalibrasi ke laboratorium yang tertelusur ke laboratorium dosimetri standar primer (PSDL). Beberapa laboratorium yang tertelusur ke PSDL dan bisa melakukan kalibrasi detektor ionisasi dalam satuan kerma udara berikut dengan nilai ketidakpastiannya ditunjukkan dalam Tabel 2. Detektor ionisasi yang dikalibrasi di laboratorium Indonesia (PTKMR) akan mendapatkan ketidakpastian faktor kalibrasi kerma udara pada berkas sinar-X 250 kV ( $N_{K, 250kV}$ ) 1.2% dan ketidakpastian faktor kalibrasi kerma udara pada berkas C-60 ( $N_{K, Co}$ ) 1.5% dengan faktor cakupan 2 ( $k = 2$ ).

Tabel 2. Nilai ketidakpastian bentangan (U) dari faktor kalibrasi kerma udara ( $N_K$ ) untuk berkas foton sinar-X dan Co-60 di beberapa Negara (Laboratorium)<sup>[15,16,17,18,19,20]</sup>.

No	Negara/Organisasi	Spesifikasi Berkas Foton	Ketidakpastian bentangan (U) dari $N_K$	Faktor Cakupan (k)
1	Indonesia (PTKMR)	250 kV	1,2%	2
		Co-60	1,5%	2
2	Australia (ARPANSA)	50 kV – 300 kV	1,0%	2
		Co-60	0,8%	2
3	Cina (NIM)	60 kV – 250 kV	0,9%	2
		Co-60	0,9%	2
4	IAEA	100 kV – 250 kV	0,8%	2
		Co-60	0,8%	2
5	Jepang (NMIJ)	100 kV – 250 kV	1,2%	2
		Co-60	0,8%	2
6	Korea Selatan (KRISS)	50 kV – 300 kV	1,5%	2
		Co-60	1,0%	2
7	Malaysia (MNA)	100 kV – 250 kV	2,0%	2
		Co-60	1,5%	2

Ketidakpastian laju kerma udara acuan sumber brakiterapi Ir-192 ( $K_{R, Ir}$ )

Berdasarkan model persamaan matematis (2), nilai ketidakpastian laju kerma udara Ir-192,  $K_{R, Ir}$ , dapat ditentukan dari komponen-komponen ketidakpastian sebagai berikut:

- faktor kalibrasi kerma udara dari detektor ionisasi pada berkas Ir-192;
- *resolusi* bacaan dosimeter (detektor) ionisasi;
- kedapat-ulangan (*repeat*) bacaan (muatan) yang terukur;
- waktu pengukuran;
- suhu udara ruangan;
- tekanan udara ruangan;
- rekombinasi ion dalam rongga detektor;
- koreksi atenuasi udara;
- koreksi hamburan radiasi;
- koreksi ketidak seragaman fluens electron; dan
- perbedaan jarak pengukuran (pusat sumber ke pusat detektor);

Selanjutnya ketidakpastian standar, distribusi kemungkinannya beserta nilai pembagiannya dari seluruh komponen yang menentukan ketidakpastian laju kerma udara acuan sumber brakiterapi Ir-192 ( $K_{R, Ir}$ ) ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Komponen ketidakpastian, distribusi kemungkinan nilai pembagi untuk menentukan laju kerma udara acuan sumber brakiterapi Ir-192

No	Komponen Ketidakpastian	Distribusi Kemungkinan	Nilai Pembagi
1	Faktor kalibrasi kerma udara dari detektor ionisasi pada berkas Ir-192	normal	2
2	<i>Resolusi</i> bacaan dosimeter (detektor) ionisasi	rectangular	$\sqrt{3}$
3	Kedapat-ulangan ( <i>repeat</i> ) bacaan (muatan) yang terukur	normal	1
4	Waktu pengukuran	rectangular	$\sqrt{3}$
5	Suhu udara ruangan	normal	2
6	Tekanan udara ruangan	normal	2
7	Rekombinasi ion dalam rongga detektor	normal	1
8	Koreksi atenuasi udara	normal	1
9	Koreksi hamburan radiasi	normal	1
10	Koreksi ketidak seragaman fluens electron	normal	1
11	Perbedaan jarak pengukuran (pusat sumber ke pusat detektor)	normal	2

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Ketidakpastian Faktor Kalibrasi Kerma Udara Sumber Brakiterapi Ir-192

Ketidakpastian faktor kalibrasi kerma udara pada berkas Ir-192 ( $N_{K, Ir}$ ) dihitung dengan menguraikan persamaan (3) berdasarkan nilai ketidakpastian faktor dinding detektor ionisasi<sup>[4]</sup> dan nilai ketidakpastian faktor kalibrasi kerma udara detektor ionisasi yang diambil dari Tabel 1. Hasil perhitungan ketidakpastian faktor kalibrasi kerma udara untuk detektor yang dikalibrasi di Indonesia (PTKMR) adalah 1,95% dengan faktor cakupan 2 ( $k=2$ ), seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Dengan cara yang sama, telah dilakukan perhitungan ketidakpastian faktor kalibrasi kerma udara pada berkas Ir-192 yang apabila dikalibrasi di laboratorium lainnya dan hasilnya ditunjukkan dalam Tabel 5. Nilai ketidakpastian bentangan faktor kalibrasi kerma udara ( $N_{K, Ir}$ ) terletak antara 1,18% - 2,52% dengan faktor cakupan 2 ( $k=2$ ).

Tabel 4. Perhitungan ketidakpastian faktor kalibrasi kerma udara berkas foton Ir-192 ( $N_{K,Ir}$ ) dengan menggunakan GUM ISO untuk detektor ionisasi yang dikalibrasi di Indonesia (PTKMR).

Model matematis perhitungan faktor kalibrasi kerma udara ( $N_{K,Ir}$ ): $N_{K,Ir} = (0,8 \cdot A_{w,250kV} \cdot N_{K,250kV} + 0,2 \cdot A_{w,Co} \cdot N_{K,Co}) / A_{w,Ir}$					
Komponen	Distribusi Kemungkinan	Nilai Pembagi	Nilai Ketidakpastian bentangan (U), %	Nilai Ketidakpastian standar ( $u_i$ ), %	Nilai ( $u_i$ ) <sup>2</sup>
$A_{w,250kV}$	normal	1	0,1	0,1	0,001
$N_{K,250kV}$	normal	2	1,2	0,6	0,36
$A_{w,Co}$	normal	1	0,1	0,1	0,001
$N_{K,Co}$	normal	2	1,5	0,75	0,5625
$A_{w,Ir}$	normal	1	0,1	0,1	0,001
<b>J u m l a h</b>					0,9525
Ketidakpastian gabungan, $u_c$ (%)					0,9620
Derajat kebebasan efektif, $\nu$ -eff					$\infty$
Faktor cakupan (k), untuk TK. 95,5%					2
Ketidakpastian bentangan $N_{K,Ir}$ , $U = k \cdot u_c$ (%)					1,95

Tabel 5. Nilai ketidakpastian bentangan dari faktor kalibrasi kerma udara pada berkas Ir-192 ( $N_{K,Ir}$ ) di beberapa Negara/Laboratorium berdasarkan persamaan (3).

No	Negara/Laboratorium	Ketidakpastian bentangan $N_{K,Ir}$ (U), %	Faktor Cakupan (k)
1	Indonesia (PTKMR)	1,95%	2
2	Australia (ARPANSA)	1,33%	2
3	Cina (NIM)	1,32%	2
4	IAEA	1,18%	2
5	Jepang (NMIJ)	1,48%	2
6	Korea Selatan (KRISS)	1,84%	2
7	Malaysia (MNA)	2,52%	2

### Ketidakpastian Laju Kerma Udara Sumber Brakiterapi Ir-192

Ketidakpastian bentangan faktor kalibrasi kerma udara pada berkas Ir-192 ( $N_{K,Ir}$ ) diambil dari Tabel 5. Ketidakpastian *resolusi* bacaan adalah setengah dari skala terkecil pembacaan dosimeter. Untuk jenis NE Farmer, skala terkecil bacaan dosimeter biasanya 0,1 mGy atau resolusinya adalah 0,05 mGy, dengan asumsi bacaan rerata dosimeter 5 mGy untuk waktu 60 detik pada jarak 40 cm, maka diperoleh ketidakpastian resolusi 1,0%.

Ketidakpastian kepadat-ulangan pembacaan dosimeter dipengaruhi oleh skala terkecil dari dosimeter dan secara konvensional nilai ketidakpastiannya bisa didekati dengan 0,3 dari *resolusi*-nya. Untuk jenis NE Farmer dengan resolusi 0,05 mGy, sehingga ketidakpastian kepadat-ulangan pembacaan dosimeter diambil sebesar 0,015 mGy ( $\approx 0,3\%$ ).

Ketidakpastian waktu pengukuran dipengaruhi oleh skala terkecil dari pewaktu (timer) dosimeter dan secara konvensional nilai ketidakpastiannya bisa didekati dengan *resolusi*-nya. Untuk jenis NE Farmer, skala terkecil pewaktu-nya adalah 0,1 detik atau resolusinya adalah 0,05 detik. Maka untuk waktu pengukuran 60 detik, ketidakpastiannya adalah 0,08%. Ketidakpastian suhu udara ruangan dihitung berdasarkan ketidakpastian termometer yang nilai ketidakpastiannya 0,19 °C (ketidakpastian kalibrasi barometer PT Kaliman). Dengan asumsi bacaan rerata dosimeter 5 mGy maka diperoleh ketidakpastian karena variasi suhu udara sebesar 0,06%.

Ketidakpastian tekanan udara ruangan berdasarkan ketidakpastian barometer yang nilai ketidakpastiannya 1,3 mmHg (ketidakpastian kalibrasi barometer PT Kaliman). Dengan asumsi bacaan rerata dosimeter 5 mGy maka diperoleh ketidakpastian karena variasi tekanan udara sebesar 0,17%.

Ketidakpastian karena terjadinya rekombinasi ion dalam rongga detector ionisasi tergantung pada laju dosis dan nilainya diambil dari TRS 398 (IAEA). Untuk berkas selain ion berat, nilai ketidakpastian rekombinasi ion adalah 0,2%.

Ketidakpastian karena atenuasi udara foton primer dari sumber brakiterapi Ir-192 diturunkan dari table XI (IAEA). Pada jarak pengukuran 40 – 100 cm , nilai faktor atenuasi udara bervariasi antara 1,005 – 1,012, dengan estimasi standard deviasi rerata 0,13% (1SD).

Ketidakpastian factor hamburan diturunkan dari Tabel V (IAEA). Pada ruangan dengan ukuran panjang 3,5 – 6 m, lebar 4 – 6 m, dan tinggi 3 – 4 m, nilai factor hamburan yang ditentukan dengan metoda *shadow shield* untuk detector jenis Farmer bervariasi antara 0,940 – 0,975, dengan nilai estimasi standard deviasai rerata 0,92% (1 SD).

Ketidakpastian karena ketidak-seragaman fluens untuk detector jenis Farmer diturunkan dari Tabel XI (IAEA). Pada jarak pengukuran 10 – 50 cm, nilai factor ketidak-seragaman fluens bervariasi antara 1,001 – 1,009, dengan estimasi standard deviasi rerata 0,13% (1SD).

Ketidakpastian karena jarak pengukuran dihitung berdasarkan ketidakpastian mistar ukur yang nilai ketidakpastiannya 0,31 mm (ketidakpastian kalibrasi barometer PT Kaliman). Dengan asumsi bacaan rerata dosimeter 5 mGy maka diperoleh ketidakpastian karena variasi jarak 0,15%.

Selanjutnya ketidakpastian laju kerma udara sumber brakiterapi Ir-192 ( $K_{R,Ir}$ ) dihitung dengan menguraikan persamaan (3) dan berdasarkan nilai-nilai ketidakpastian standar yang tersebut diatas. Distribusi kemungkinan dan nilai pembagi untuk masing-masing komponen ketidakpastian diambil dari Tabel 3. Hasil perhitungan estimasi ketidakpastian dosis sumber brakiterapi Ir-192 yang diukur dengan detektor yang dikalibrasi di Indonesia (PTKMR) adalah 3,04% dengan faktor cakupan 2 ( $k=2$ ), seperti ditunjukkan pada Tabel 6. Dengan cara yang sama, telah dilakukan perhitungan estimasi ketidakpastian dosis sumber brakiterapi Ir-192 yang diukur dengan detektor yang dikalibrasi di laboratorium lainnya dan hasilnya terletak antara 2,61% - 3,43% dengan faktor cakupan 2 ( $k=2$ ), seperti ditunjukkan dalam Tabel 7. Nagappan, B. dkk [8] menuliskan bahwa National Standard Dosimetri Laboratory (NSDL) mampu mengkalibrasi bilik pengion tipe sumur (*well-type chamber*) dengan ketidakpastian 3%, tingkat kepercayaan 95% ( $k=2$ ). Bilik pengion tersebut telah digunakan untuk mengukur laju kerma udara sumber brakiterapi Ir-192 dan menghasilkan ketidakpastian 3,12%, tingkat kepercayaan 95% ( $k=2$ ).

Tabel 6. Perhitungan ketidakpastian laju kerma udara acuan sumber brakiterapi Ir-192 ( $K_{R,Ir}$ )

yang diukur dengan detektor ionisasi yang dikalibrasi di Indonesia (PTKMR).

Model matematis perhitungan laju kerma kerma udara sumber brakiterapi Ir-192 ( $K_{R,Ir}$ ): $K_{R,Ir} = N_{K,Ir} \cdot (M_u/t) \cdot K_{ud} \cdot K_{scatt} \cdot K_n \cdot (d/d_{ref})^2$					
Komponen	Distribusi Kemungkinan	Nilai Pembagi	Nilai Ketidakpastian bentangan (U), %	Nilai Ketidakpastian standar ( $u_i$ ), %	Nilai ( $u_i$ ) <sup>2</sup>
Faktor kalibrasi kerma udara	normal	2	1,95	0,975	0,9506
Resolusi bacaan dosimeter	rectangular	$\sqrt{3}$	1,0	0,58	0,3364
Kedapat-ulangan bacaan	normal	1	0,3	0,3	0,09
Waktu pengukuran	rectangular	$\sqrt{3}$	0,08	0,05	0,0025
Suhu udara ruangan	normal	2	0,06	0,03	0,0009
Tekanan udara ruangan	normal	2	0,17	0,085	0,0072
Rekombinasi ion	normal	1	0,20	0,20	0,04
Koreksi atenuasi udara	normal	1	0,13	0,13	0,0169

Koreksi hamburan radiasi	normal	1	0,92	0,92	0,8464
Koreksi ketidakseragaman fluens	normal	1	0,13	0,13	0,0169
Perbedaan jarak pengukuran	normal	2	0,15	0,075	0,0056
Jumlah					2,3134
Ketidakpastian gabungan, $u_c$ (%)					1,5114
Derajat kebebasan efektif, $\nu$ -eff					$\infty$
Faktor cakupan (k), TK. 95,5%					2
Ketidakpastian bentangan $K_{R, Ir}$ , $U = k \cdot u_c$ (%)					3,04

Tabel 7. Nilai ketidakpastian bentangan dari laju kerma udara acuan sumber brakiterapi Ir-192 ( $K_{R, Ir}$ ) di beberapa Negara/Laboratorium berdasarkan persamaan (3).

No	Negara/Laboratorium	Ketidakpastian bentangan $K_{R, Ir}$ (U), %	Faktor Cakupan (k)
1	Indonesia (PTKMR)	3,04%	2
2	Australia (ARPANSA)	2,68%	2
3	Cina (NIM)	2,68%	2
4	IAEA	2,61%	2
5	Jepang (NMIJ)	2,76%	2
6	Korea Selatan (KRIS)	2,97%	2
7	Malaysia (MNA)	3,43%	2

Komponen ketidakpastian standar yang memberikan kontribusi cukup signifikan terhadap ketidakpastian dosis (laju kerma udara) sumber brakiterapi Ir-192 adalah berasal dari: faktor kalibrasi kerma udara, *resolusi* bacaan dosimeter, koreksi hamburan radiasi, kedapat-ulangan bacaan, dan rekombinasi ion. Jika fasilitas radioterapi berkeinginan mendapatkan ketidakpastian yang lebih kecil maka fasilitas tersebut perlu mengkalibrasikan detektornya ke laboratorium PSDL atau SSDL yang memberikan akurasi lebih baik. Ketidakpastian koreksi hamburan radiasi disebabkan oleh kondisi (ukuran) fasilitas yang dimiliki oleh rumah sakit. Dalam rangka memperkecil nilai ketidakpastian karena hamburan radiasi, maka rumah sakit perlu menyediakan ruangan yang cukup luas untuk pengukuran sumber Ir-192.

## KESIMPULAN

Makalah ini merupakan hasil tinjauan terhadap teknik pengukuran dalam penentuan dosis sumber brakiterapi Ir-192 di udara dengan menggunakan detektor ionisasi jenis Farmer. Tinjauan difokuskan pada teknik pengukuran multi-jarak, yang dilakukan di dalam fasilitas milik pengguna, misalnya di rumah sakit. Estimasi ketidakpastian mencakup ketidakpastian faktor kalibrasi dosimeter dan ketidakpastian laju kerma udara acuan (RAKR), yang ditentukan dengan mengikuti rekomendasi dalam "Guide to the uncertainty in measurement" (GUM), ISO (1995). Fisikawan rumah sakit bisa mendapatkan faktor kalibrasi dosimeter dan nilai laju dosis kerma udara sumber Ir-192 secara akurat melalui rantai kalibrasi ke beberapa laboratorium di kawasan Asia (misalnya Indonesia, Malaysia, Cina, Korea Selatan dan Jepang) dan Australia, serta ke IAEA, yang semuanya tertelusur ke BIPM. Nilai ketidakpastian bentangan faktor kalibrasi kerma udara ( $N_{K, Ir}$ ) terletak antara 1,18% - 2,52% dengan faktor cakupan 2 ( $k=2$ ). Sedangkan untuk nilai laju dosis kerma udara ( $K_{R, Ir}$ ), ketidakpastian bentangannya terletak antara 2,61% - 3,43% dengan faktor cakupan 2 ( $k=2$ ). Ketidakpastian tersebut masih berada dalam batas-batas yang direkomendasikan oleh IAEA maupun Komisi Dosimetri Radiasi di berbagai negara, yakni kurang dari  $\pm 5\%$  (untuk 2SD). Sebagian besar kontribusi pada ketidakpastian laju kerma udara acuan adalah berasal dari faktor kalibrasi kerma udara, *resolusi* bacaan dosimeter, koreksi hamburan radiasi, kedapat-ulangan bacaan, dan rekombinasi ion. Upaya yang bisa dilakukan untuk memperkecil nilai ketidakpastian dalam penentuan laju dosis sumber brakiterapi Ir-192 diantaranya adalah dengan: mengkalibrasikan dosimeter ke laboratorium

yang memberikan akurasi lebih tinggi, menyediakan dosimeter berresolusi kecil, dan memperkecil faktor hamburan ruangan kalibrasi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN) BATAN yang telah memberikan fasilitas untuk presentasi dalam Seminar (SIEN 2019) dan kepada Pusat Teknologi Keselamatan Radiasi (PTKMR) yang telah menyediakan dokumen/literatur terkait.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] DEWI M., "Sebaran Kanker di Indonesia, Riset Kesehatan Dasar 2007", Indonesian Journal of Cancer, Vol.11 No.1 Hal 1-8, Jakarta (2017).
- [2] FITRIATUZZAKIYYAH N., SINURAYA R.K., PUSPITASARI I.M., "Terapi Kanker dengan Radiasi: Konsep Dasar Radioterapi dan Perkembangannya di Indonesia", Jurnal Farmasi Klinik Indonesia, Vol. 6 No. 4 Hal 311-320, Bandung (2017).
- [3] PETRARIZKY A.J. dan RAMLI I., "Brakiterapi *High Dose Rate* dan *Low Dose Rate* dari Sisi Radiobiologi", Radioterapi & Onkologi Indonesia, Vol 3(1) Hal. 8-13, Jakarta (2012).
- [4] IAEA-TECDOC-1274, "Calibration of Photon and Beta Ray Sources Used in Brachytherapy", International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna (2006).
- [5] NCS Report 7, "Recommendations for the Calibration of Iridium-192 High Dose Rate Sources", The Netherlands Commission on Radiation Dosimetry (NCS), The Netherlands (1994).
- [6] SUBECHI M., PUJIYANTO A., ABIDIN, AMIRUDIN C., MUJINAH, DEDE K., SETIAWAN H., SHOLIKHAH U.N., "Pembuatan Sumber Radiasi Terbungkus Iridium-192 Untuk Brakiterapi", Prosiding Seminar Nasional Kimia (ISBN:978-602-0951-05-8), 3-4 Oktober 2015, Hal C-19 – C-25, Surabaya (2015).
- [7] AWALUDIN R., "Kajian Pembuatan Sumber Radiasi Iridium-192 untuk Radioterapi Laju Dosis Tinggi", Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka, Vol. VI No. 1 Hal 1-12, Jakarta (2003).
- [8] NAGAPPAN B., KUMAR Y., PATEL N.P., DHULL A.K., KAUSHAL V., "Brachytherapy source calibration, reviews, and consistency of Ir-192 high-dose rate afterloading sources supplied over the period of 10 years: A retrospective analysis", Radiat Prot Environ, Vol. 38 Hal.144-50 (2015).
- [9] MILVITA D., RACHMAT W.A., PRASETIO H., NASUKHA., "Penentuan Spektrum Berkas Foton Sumber Iridium-192 Brakiterapi Bentuk Single-Pin di Air dengan Monte Carlo", Prosiding Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi dan Lingkungan X, 20 Desember 2004, Hal 125 – 131, Jakarta (2004).
- [10] GOETSCH S.J., ATTIX F.H., PEARSON D.W., THOMADSEN B.R., "Calibration of Ir-192 high-dose-rate afterloading systems", Med.Phys. 18(3) Hal 462 – 467 (1990).
- [11] IAEA-TRS-NO.469, "Calibration of Reference Dosimeters for External Beam Radiotherapy", International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna (2009).
- [12] PATEL N.P., MAJUMDAR B., VIJIYAN V., HOTA P.K., "In-air calibration of an HDR Ir-192 brachytherapy source using therapy ion chambers", Journal Cancer Res Ther, Vol 1 Issue 4 Hal 213-220 (2005).
- [13] BONDEL S., RAVIKUMAR M., SUPE S.S., REDDY B.R., "Calibration of Ir-192 high dose rate brachytherapy source using different calibration procedures", Reports of Practical Oncology and Radiotherapy, Vol 1 9 Hal 151–156 (2014).
- [14] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), ISO, Geneva (1995).
- [15] ANSTO and ARPANSA, "Calibration and Measurement Capabilities, Ionizing Radiation, Australia", The BIPM key comparison database, October 2006.
- [16] NIM, "Calibration and Measurement Capabilities, Ionizing Radiation, China", The BIPM key comparison database, October 2006.
- [17] IAEA, "Calibration and Measurement Capabilities, Ionizing Radiation, IAEA", The BIPM key comparison database, June 2016.
- [18] NMIJ, "Calibration and Measurement Capabilities, Ionizing Radiation, Japan", The BIPM key comparison database, April 2016.
- [19] KRIS, "Calibration and Measurement Capabilities, Ionizing Radiation, Korea", The BIPM key comparison database, June 2011.

[20] NUCLEAR MALAYSIA, "Calibration and Measurement Capabilities, Ionizing Radiation, Malaysia", The BIPM key comparison database, September 2008.

**DISKUSI/TANYA JAWAB:**

**1. PERTANYAAN (Adi Wijayanto-PTLR BATAN):**

Apakah "benchmarking" hanya dilakukan pada hasil akhir dari ketidakpastian bentangan saja? Ataukah benchmarking pada proses dan detektornya harus sama juga?

**JAWABAN:**

Benchmarking dengan negara lain hanya pada hasil akhir saja.

## **ANALISIS KURVA KALIBRASI EFISIENSI SPEKTROMETER GAMMA MENGGUNAKAN SUMBER STANDAR $^{152}\text{Eu}$ PADA RENTANG ENERGI 121 – 1408 keV**

**Hermawan Candra, Gatot Wurdianto, Holnisar**

*Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi-BATAN, Jl Lebak Bulus Raya 49, Jakarta Selatan  
email: hermawan@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

**ANALISIS KURVA KALIBRASI EFISIENSI SPEKTROMETER GAMMA MENGGUNAKAN SUMBER STANDAR  $^{152}\text{Eu}$  PADA RENTANG ENERGI 121 – 1408 keV.** Keakuratan pada penentuan aktivitas zat radioaktif secara relatif menggunakan sistem spektrometer gamma detektor *High Purity Germanium* (HPGe), sangat tergantung pada ketelitian dan keakuratan kalibrasi efisiensi detektor. Telah dilakukan analisis kuantitatif terhadap kurva kalibrasi efisiensi detektor HPGe PTKMR–BATAN, pada rentang energi 121 – 1408 keV. Kalibrasi efisiensi sebagai fungsi energy menggunakan sumber standar Europium-152, yang mempunyai sembilan titik puncak energi yang tersebar secara merata pada rentang energi tersebut. Kalibrasi efisiensi dilakukan pada jarak sumber 25 cm ke detektor. Data kurva kalibrasi efisiensi dianalisa dari tahun 2018 sampai 2019 menggunakan rasio efisiensi terukur ( $\epsilon$ ) dengan efisiensi hasil perhitungan dari persamaan kurva kalibrasi efisiensi sebagai fungsi energi ( $\epsilon_0$ ). Nilai rasio efisiensi terukur dan perhitungan dengan persamaan kalibrasi efisiensi, pada rentang energi 121 – 344 keV berkisar antara 0,88 – 1,12 dan rentang energi lebih dari 400 keV rasionya berkisar antara 0,98 – 1,02. Hasil analisis menunjukkan bahwa kurva kalibrasi efisiensi pada sistem spektrometer gamma detektor HPGe pada daerah energi 121 – 344 keV mempunyai akurasi sekitar 1% dan pada daerah energi diatas 400 keV 0,2% .

Kata kunci: analisis kurva kalibrasi efisiensi, spektrometer gamma, detektor HPGe, Europium-152 dan akurasi

### **ABSTRACT**

**EFFICIENCY CALIBRATION CURVE ANALYSIS OF GAMMA SPECTROMETER BY USING  $^{152}\text{Eu}$  STANDARD SOURCE IN ENERGY RANGE OF 121 - 1408 keV.** Accuracy in determining the relative activities of radioactive materials using *High Purity Germanium* (HPGe) detector gamma spectrometer system is highly dependent on the precision and accuracy of the efficiency calibration of the detector. The analysis of HPGe detector efficiency calibration curve, PTKMR – BATAN, at the energy range 121 - 1408 keV have been done . Efficiency calibration curve as a function of energy was made using standard sources of Europium-152, which have a nine-point energy peaks distributed evenly in the range of energy mentioned above. Efficiency calibration performed at a distance of 25 cm source to detector. The data of efficiency calibration curve, which made from years 2018 until 2019 are analyzed using ratio of the measured efficiency ( $\epsilon$ ) with calculated the efficiency of the calibration curve equation as a function of energy efficiency ( $\epsilon_0$ ). Ratio of measured and calculated efficiency values with a calibration equation efficiency, at Energies from 121 to 344 keV ranged from 0,88 to 1.12 and the energy of higher 400 keV the ratio ranged from 0.98 to 1.02. The results showed that the efficiency calibration curve of HPGe detector gamma spectrometer system has a accuracy of about 1% in the region from 121 to 344 keV and in the energy region above 400 keV the accuracy was 0,2%.

Keyword: Efficiency calibration curve Analysis, Spectrometer Gamma, HPGe detector, Europium-152 and accuracy

### **PENDAHULUAN**

Teknologi dan ilmu pengetahuan khususnya teknologi di bidang nuklir di Indonesia telah berkembang dengan cepat ke berbagai bidang kegiatan. Perkembangan teknologi nuklir ini harus diimbangi dengan kemampuan dalam bidang metrologi radioaktivitas, yaitu teknologi pengukuran aktivitas dan dosis radiasi, agar teknologi nuklir atau radiasi pengion dapat memberikan manfaat sebesar-besarnya dengan resiko bahaya radiasi sekecil-

kecilnya. Pengukuran radiasi secara tepat dan akurat merupakan suatu hal yang harus benar-benar menjadi prioritas. Metode pengukuran aktivitas radionuklida ada dua metode yaitu pengukuran secara absolut dan relatif. Pengukuran secara absolut biasanya digunakan untuk standardisasi radionuklida, sedangkan pengukuran secara relatif biasanya digunakan untuk pengukuran secara rutin seperti untuk keperluan monitoring radiasi lingkungan, pengukuran sampel dari industri dan lain-lain. Pada pengukuran aktivitas radioaktif secara relatif digunakan sumber standar radionuklida sebagai acuan pengukuran atau untuk kalibrasi alat sebelum digunakan. Salah satu alat yang banyak digunakan untuk pengukuran secara relatif diantaranya adalah spektrometer gamma. Pengukuran aktivitas zat radioaktif menggunakan spektrometer gamma sangat tergantung dari sumber standar atau sumber acuan yang digunakan. Analisis kuantitatif spektrometer gamma bertujuan untuk mengetahui respon detektor, yang ditunjukkan dengan nilai efisiensi. Analisis kuantitatif sistem pencacah spektrometer gamma dilakukan dengan cara kalibrasi efisiensi.

Sumber standar yang digunakan untuk kalibrasi efisiensi dapat digunakan sumber standar radionuklida campuran atau menggunakan sumber standar yang mempunyai banyak energi gamma, seperti  $^{152}\text{Eu}$  yang mempunyai energi dari 121 – 1408 keV. Keakuratan dan ketelitian pada penentuan aktivitas zat radioaktif secara relatif menggunakan sistem spektrometer gamma dengan detektor *High Purity Germanium* (HPGe), sangat tergantung pada ketelitian dan keakuratan kalibrasi efisiensi detektor. Menurut K. DEBERTIN (1978), YOUNGSEOK LEE et.al (1992) bahwa dari pengamatan kurva kalibrasi efisiensi detektor HPGe, pada daerah dibawah 600 keV tidak linier, sedangkan pada daerah energi diatasnya linier. Selain itu, pada puncak energi 121,8 keV dari  $^{152}\text{Eu}$  terdapat impuritas energi 123,1 keV dari  $^{154}\text{Eu}$  sebesar 0,32%. Pada puncak energi 244,7 keV memiliki *compton edge* ( 119,7 keV) dan *backscatter* (125 keV), sehingga mengintervensi puncak energi 121,7 keV. Efek jumlah juga mungkin terjadi pada puncak energi 411,1 keV dan pada puncak energi ini terjadi puncak ganda (*double peaks*), berhimpit dengan puncak energi 416 keV. Puncak ganda (*double peaks*) terjadi juga pada puncak energi 1112,1 keV yang berhimpit dengan puncak energi 1109,2 keV. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap kurva kalibrasi efisiensi detektor HPGe, PTKMR – BATAN, menggunakan sumber  $^{152}\text{Eu}$ , pada rentang energi 121 – 1408 keV. Kalibrasi efisiensi sebagai fungsi energi menggunakan sumber standar Eu-152, yang mempunyai sembilan titik puncak energi yang tersebar secara merata pada rentang energi tersebut diatas. Kalibrasi efisiensi dilakukan pada jarak sumber ke detektor 25 cm. Data kurva kalibrasi efisiensi dibuat dari tahun 2018 sampai 2019. Analisis dilakukan terhadap rasio efisiensi hasil pengukuran ( $\epsilon$ ) dengan efisiensi hasil perhitungan dari persamaan kurva kalibrasi efisiensi sebagai fungsi energi ( $\epsilon_0$ ).

## METODOLOGI

### Bahan dan Peralatan

1. Sumber standar multi gamma  $^{152}\text{Eu}$  buatan LMRI bentuk padat (*point source*)
2. Sistem pencacah spektrometer gamma detektor germanium kemurnian tinggi (*High Purity Germanium*) GC 1018 buatan Canberra
3. High Voltage Supply TC 950 buatan Tennelec
4. Amplifier 2022 buatan Canberra,
5. Multiport II buatan Canberra,
6. Osiloskop,

### Kalibrasi Efisiensi

Kalibrasi efisiensi spektrometer gamma detektor HPGe dilakukan menggunakan sumber standar  $^{152}\text{Eu}$  buatan LMRI – Perancis, pada posisi jarak sumber ke detektor 25 cm. Data kalibrasi efisiensi diambil dari data yang dilakukan sejak tahun 2018 sampai tahun 2019. Kalibrasi dilakukan dengan waktu cacah selama 7200 detik untuk setiap pengukuran dan setiap kali kalibrasi dilakukan pengulangan tiga kali. Penentuan luas puncak serapan total dari sumber standar Eu-152 dipilih pada energi 121,7 keV ; 244,7 keV; 344,3 keV; 411,1 keV; 444 keV; 778,9 keV; 964 keV; 1112,1 keV dan 1408 keV, perhitungan luasan puncak menggunakan software Genie 2000. Sedangkan nilai efisiensi pada masing-masing puncak tersebut adalah efisiensi mutlak, yang dihitung menggunakan persamaan ;

$$\varepsilon(E) = \frac{cps}{dps \times Y(E)}$$

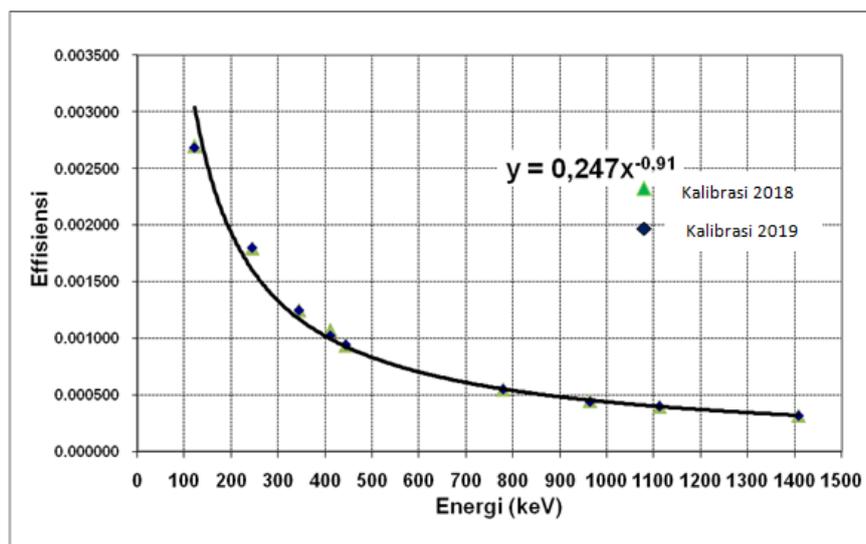
$\varepsilon(E)$  adalah efisiensi mutlak pada energi gamma  
cps adalah laju pencacahan yang dihasilkan pada pengukuran  
dps adalah aktivitas standar pada saat pengukuran dilakukan (Bq)  
Y(E) adalah intensitas atau yield suatu radionuklida sebagai fungsi energi gamma  
Kurva kalibrasi efisiensi dibuat sebagai fungsi dari energi dan persamaan kalibrasi efisiensi dibuat menggunakan program Microsoft Office Excel.

### Analisis Efisiensi

Setiap kurva kalibrasi efisiensi dianalisa perbandingan antara efisiensi hasil pengukuran dengan efisiensi hasil perhitungan menggunakan persamaan kalibrasi efisiensi yang diperoleh, pada masing-masing puncak energi gamma. Selain itu dilihat pula kemungkinan terjadinya puncak ganda yang berimpit sebagai "double peaks".

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 menyajikan kurva kalibrasi efisiensi, pada jangkauan dengan persamaan kalibrasi efisiensi yang diperoleh. Terlihat bahwa hampir disemua titik energi berimpit, ini berarti bahwa respon detektor dengan selang waktu satu tahun masih relatif sama. Pada beberapa titik energi gamma yaitu pada energi 121,7 keV ; 244,7 keV dan 344,3 keV garis kurva efisiensi tidak berimpit dengan nilai efisiensi, sehingga pada daerah ini terjadi perbedaan antara efisiensi hasil pengukuran dan perhitungan yang signifikan.



Gambar 1. Kurva kalibrasi efisiensi detektor HPGe PTKMR ( Tahun 2018 dan 2019 )

Tabel 1. menyajikan efisiensi setiap energi gamma hasil pengukuran dan hasil perhitungan dari data kalibrasi efisiensi spektrometer gamma detektor HPGe PTKMR – BATAN, menggunakan sumber standar  $^{152}\text{Eu}$ . Hasil yang disajikan adalah hasil pengukuran yang dilakukan pada tanggal 7 Mei 2018 dan 27 Juni 2019 Terlihat perbedaan efisiensi terukur dan hasil perhitungan, menggunakan persamaan kurva, perbedaannya paling besar terletak pada energi 121,7 keV dengan rasio perbedaan sebesar 0,88 artinya antara pengukuran dan perhitungan berbeda 12%. Hal ini disebabkan pada energi 121,7 keV mendapatkan sumbangan cacahan dari energi 123,1 keV yang berasal dari radionuklida pengotor  $^{154}\text{Eu}$ , besarnya sumbangan ini menurut K.DEBERTIN [2] dapat menambah kesalahan sebesar 0,5%. Sedangkan pada energi 244,7 keV , rasionya berturut-turut 1,11 - 1,12 perbedaan pengukuran dan perhitungan mencapai 11% dan 12% , pada puncak energi gamma 344,3 keV dan rasionya 1,06, artinya perbedaan antara pengukuran dan perhitungan mencapai 6%. Pada energi diatasnya perbedaan relatif masih baik (dibawah

5%). Perhatian khusus harus dilakukan dalam evaluasi daerah puncak energi 121,7 keV, kemungkinan sumbangan dari ketidakpastian sistematis terjadi dan diperkirakan mempengaruhi hasil sekitar 1 - 2% [2]. Sedangkan pada puncak energi 244,7 keV memiliki *compton edge* (119,7 keV) dan *backscatter* (125 keV), sehingga mengintervensi puncak energi 121,7 keV. Terlihat bahwa pada semua puncak energi gamma yang dibawah 344,3 keV perbedaannya cukup besar, sehingga perlu dipertimbangkan penggunaan sumber standar yang mempunyai banyak energi di daerah ini. Menurut beberapa pakar metrologi radionuklida, bahkan perlu di carikan solusi untuk sumber standar pada daerah energi dibawah 600 keV.

Tabel 1. Nilai Efisiensi hasil pengukuran dan perhitungan Kurva kalibrasi tgl. 7 Mei 2018 dan 27 Juni 2019.

Energi (keV)	Waktu Kalibrasi	Efisiensi hasil pengukuran ( $\epsilon$ )	Efisiensi hasil perhitungan ( $\epsilon_0$ ).	$\epsilon / \epsilon_0$ .
121,7	7 Mei 2018	0,002685	0,003043	0,88
	27 Juni 2019	0,002698	0,003065	0,88
244,7	7 Mei 2018	0,001801	0,001606	1,12
	27 Juni 2019	0,001793	0,001615	1,11
344,3	7 Mei 2018	0,001247	0,001174	1,06
	27 Juni 2019	0,001246	0,001180	1,06
411,1	7 Mei 2018	0,001022	0,000998	1,02
	27 Juni 2019	0,001070	0,001003	1,04
444	7 Mei 2018	0,000943	0,000930	1,01
	27 Juni 2019	0,000935	0,000934	1,0
778,9	7 Mei 2018	0,000549	0,000556	0,99
	27 Juni 2019	0,000547	0,000558	0,98
964	7 Mei 2018	0,000438	0,000457	0,96
	27 Juni 2019	0,000446	0,000459	0,97
1112,1	7 Mei 2018	0,000398	0,000401	0,99
	27 Juni 2019	0,000395	0,000402	0,98
1408	7 Mei 2018	0,000315	0,000323	0,97
	27 Juni 2019	0,000315	0,000322	0,97

Efek jumlah juga mungkin terjadi pada puncak energi 411,1 keV dan pada puncak energi ini terjadi puncak ganda (*double peaks*), berhimpit dengan puncak energi 416 keV. Koreksi efek jumlah pada energi ini sangat tergantung pada kondisi pengukuran yaitu jarak sumber ke detektor, dan tergantung pula pada spesifikasi volume detektor. Sebagai contoh menurut hasil interkomparasi internasional pada pengukuran laju cacah  $^{152}\text{Eu}$ , khusus pada energi 411,1 keV, harus dikoreksi sebesar 0,4% apabila jarak sumber ke detektor 16cm dengan volume detektor 30cm<sup>3</sup>, koreksi 1,6% apabila jarak sumber ke detektor 8cm dengan volume detektor 30cm<sup>3</sup>, koreksi 0,6% apabila jarak sumber ke detektor 16cm dengan volume detektor 70cm<sup>3</sup> dan koreksi 2,4% apabila jarak sumber ke detektor 8cm dengan volume detektor 70cm<sup>3</sup>. Puncak ganda (*double peaks*) terjadi juga pada puncak energi 1112,1 keV yang berhimpit dengan puncak energi 1109,2 keV, diperkirakan memberikan kontribusi kesalahan 1,2% .

## KESIMPULAN

Analisa kuantitatif pada kalibrasi efisiensi terhadap sistem spektrometer gamma detektor HPGe pada daerah energi gamma rendah dibawah 300 keV perlu mendapat perhatian. Apabila menggunakan sumber standar  $^{152}\text{Eu}$ , khususnya pada energi 121,7 keV perlu mendapat perhatian khusus akibat adanya sumbangan cacahan dari pengotor Eu-154, ketidakpastian sistematis, *compton edge* dan *backscatter*. Sedangkan pada daerah energi dibawah 300 keV perlu dipertimbangkan penggunaan sumber standar lain yang mempunyai banyak energi untuk daerah ini. Perlu di carikan solusi untuk sumber standar pada daerah energi dibawah 600 keV.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada DIPA PTKMR yang memfasilitasi penelitian ini dan Group Penelitian Standardisasi Radionuklida, Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrolgi Radiasi BATAN yang menyediakan fasilitas pengukuran sehingga penelitian dapat dikerjakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS, A Handbook of Radioactivity Measurements Procedures, NCRP Report No. 58, November 1978.
- [2] DEBERTIN, International Intercomparison of Gamma-Ray Emission Rate Measurement by Means of Germanium Spectrometers and  $^{152}\text{Eu}$  Sources
- [3] ICRP Publication 38, Radionuclide Transformation Energy & Intensity of Emissions, Vol. 11-13, Pergamon Press, Oxford.
- [4] K. DEBERTIN AND RG. HELMER, Gamma and X-Ray Spectrometry With Semiconductor Detector, 1988
- [5] DEBERTIN, A Guide and Instruction for Determining Gammay-ray Emission Rates with Germanium Detector Systems, PTB (1985).
- [6] DEBERTIN, SCHOTZIG, KF WALZ, Efficiency Calibration of Semiconductor Spectrometers Techniques and Accurates ,PTB GERMANY
- [7] TdeR, 2005 Laboratoire National Henry Becquerel LNE-LNHB/CEA, Table de Radionuclides, Recommended Data/table, Atomic and NuclearData,2005,[http://www.nucleide.org/DDEP\\_WG/DDEPdata.htm](http://www.nucleide.org/DDEP_WG/DDEPdata.htm)
- [8] IEC 1452 International Standard, Nuclear Instrumentation – Measurement of gamma-ray emission rates of radionuclides – Calibration and use of germanium spectrometers
- [9] WISNU SUSETYO, Instrumentasi Nuklir II, BATAN

## DISKUSI/TANYA JAWAB:

### 1. PERTANYAAN (Ristiana Dwi-PDK):

Apakah untuk kalibrasi  $^{152}\text{Eu}$ ? Apa saja yang menentukan pemilihan sumber standar?

### JAWABAN:

Penggunaan sumber energi  $^{152}\text{Eu}$  dikarenakan rentang energi yang cukup luas, sehingga dapat mencakup semua. Pemilihan sumber standar itu ditentukan oleh jarak, alat ukur, dimensi, waktu.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## **ESTIMASI KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN LAJU DOSIS SISTEM PEMANTAU RADIASI ONLINE SEBAGAI INDIKASI AWAL STABILITAS DETEKTOR DI PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF**

**Adi Wijayanto<sup>1</sup>, Estelita Felicia G.M.T.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-Badan Tenaga Nuklir Nasional*

<sup>2</sup>*Departemen Teknik Nuklir-Universitas Gajah Mada*

*email: adi\_w@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

**ESTIMASI KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN LAJU DOSIS SISTEM PEMANTAU RADIASI ONLINE SEBAGAI INDIKASI AWAL STABILITAS DETEKTOR DI PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF.** Pusat Teknologi Limbah Radioaktif Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTLR–BATAN) memiliki Fasilitas Radiasi yaitu Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) dan Instalasi Nuklir, yaitu Kanal Hubung-Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas (KH-IPSB3) serta instalasi penyimpanan sementara untuk limbah radioaktif baik yang beraktivitas rendah, sedang maupun tinggi dari berbagai jenis radionuklida. Untuk mengetahui laju dosis radiasi dan tingkat kontaminasi udara di daerah kerja tersebut membutuhkan sebuah sistem pemantauan radiasi online. Data sistem pemantauan radiasi online berupa data laju dosis. Dalam makalah ini, data laju dosis tersebut dilakukan analisis dengan menggunakan metode estimasi ketidakpastian pengukuran, sebagai langkah awal indikasi stabilitas detektor estimasi ketidakpastian pengukuran dengan data hasil pengukuran laju dosis melalui monitor radiasi yang tercatat online setiap 2 detik di IPLR dan KH-IPSB3. Adapun hasil pengujian stabilitas detektor secara statistik dengan estimasi ketidakpastian pengukuran untuk pengukuran laju dosis IPLR dan KH-IPSB3 dinyatakan benar hingga 99.5% kecuali untuk ruang evaporasi IPLR dinyatakan nilai standar deviasi lebih besar daripada rata-rata karena detektor digunakan sebagai indikator kejenuhan resin pada proses resin penukar ion dan Pintu Kanal Masuk KH-IPSB3 dinyatakan nilai standar deviasi lebih besar daripada rata-rata karena detektor rusak dan sudah dilakukan perbaikan di awal tahun ini.

Kata kunci: laju dosis, analisis, ketidakpastian pengukuran, instalasi nuklir, limbah radioaktif.

### **ABSTRACT**

**UNCERTAINTY ESTIMATE MEASUREMENT OF RADIATION DOSE OF ONLINE MONITORING SYSTEM AS A PRELIMINARY INDICATIONS OF STABILITY DETECTOR IN CENTER FOR RADIOACTIVE WASTE TECHNOLOGY.** Center for Radioactive Waste Technology National Nuclear Energy Agency (CRWT-BATAN) has radiation facility, namely Radioactive Waste Installation (RWI) and nuclear installation namely Interim Storage for Spent Fuel (ISSF). CRWT-BATAN also has interim storage for radioactive waste of low, medium and high activity classified. In order to know dose rate and air contamination area, it needs Online Radiation Monitoring System. Data of Online Radiation Monitoring System is dose rate. The dose rate data was analyzed by uncertainty analysis. By the Online Radiation Monitoring System, dose rate was recorded real-time on 2 second in RWI and ISSF. An uncertainty analysis method is used for analysis dose rate data for RWI and ISSF. The result of this analysis used uncertainty analysis for RWI is true 99.5% except evaporation room because the detector used for ion exchange resin monitoring and door channel of ISSF and deviation standard is more than average because the detector was damaged and was repaired in this year.

Keyword: dose rate, analysis, uncertainty estimation, nuclear installation, radioactive waste.

### **PENDAHULUAN**

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif Badan Tenaga Nuklir Nasional (PTLR–BATAN) memiliki Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif (IPLR) dan Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas (KH-IPSB3) serta instalasi penyimpanan sementara untuk limbah

radioaktif baik yang beraktivitas rendah, sedang maupun tinggi dari berbagai jenis radionuklida. PTLR-BATAN telah mengolah limbah radioaktif dari seluruh Indonesia, baik dari internal BATAN maupun dari instansi luar BATAN [1,2]. Disamping itu, PTLR-BATAN juga menyimpan Bahan Bakar Nuklir Bekas (BBNB) dari internal BATAN[3]. Untuk mengetahui laju dosis radiasi dan tingkat kontaminasi udara di daerah kerja membutuhkan sebuah sistem pemantauan radiasi laju dosis online[4].

Data sistem pemantauan radiasi online berupa data laju dosis[5,6]. Data laju dosis tersebut diperlukan analisis dengan menggunakan metode estimasi ketidakpastian pengukuran. Data hasil pengukuran laju dosis tersedia banyak melalui monitor radiasi yang tercatat online setiap 2 detik di IPLR dan KH –IPSB3, akan tetapi belum ada pengujian analisis secara statistik untuk hasil pengukuran tersebut dengan menggunakan estimasi ketidakpastian pengukuran. Adapun hasil pengujian analisis secara statistik dengan estimasi ketidakpastian pengukuran tersebut akan disajikan dalam makalah ini dan akan digunakan sebagai bahan perbandingan dan pertimbangan untuk hasil pengukuran tahun selanjutnya serta sebagai langkah awal hasil pengujian stabilitas detektor.

Dalam makalah ini, disajikan langkah awal hasil pengujian stabilitas detektor dengan estimasi ketidakpastian pengukuran laju dosis dari sistem pemantauan radiasi online di PTLR-BATAN yang belum pernah dilakukan oleh instalasi nuklir atau fasilitas radiasi lainnya di BATAN, karena PTLR-BATAN hanya satu-satunya di Indonesia yang memiliki sistem pemantauan radiasi laju dosis dan tingkat kontaminasi udara online pada daerah kerja. Sistem pemantauan radiasi laju dosis dan tingkat kontaminasi udara online akan diadopsi oleh satuan kerja lain di BATAN, sehingga cara menganalisis data dengan metode estimasi ketidakpastian pengukuran juga merupakan metode yang akan diadopsi pula dalam mengembangkan sistem pemantauan radiasi laju dosis online. Hasil pengujian stabilitas detektor secara statistik dengan menggunakan metode estimasi ketidakpastian pengukuran ini, akan digunakan sebagai bahan perbandingan dan pertimbangan untuk hasil pengukuran tahun selanjutnya dan mengetahui unjuk kerja dari detektor monitor radiasi.

**TEORI**

Ketidakpastian pengukuran adalah adanya keragu-raguan akan data dari hasil pengukuran. Setiap pengukuran memiliki nilai batas keragu-raguan. Nilai keragu-raguan tersebut dinyatakan dalam interval eror dan tingkat kepercayaan. Dengan ini, nilai pengukuran yang berada pada rentang interval dinyatakan sebagai nilai sebenarnya yang dapat ditoleransi untuk digunakan sebagai acuan atau batas pengukuran.

Sementara itu, eror adalah perbedaan antara nilai yang diukur dan nilai sebenarnya. Mengetahui nilai ketidakpastian pengukuran penting untuk menguji nilai hasil masing-masing pengukuran dapat diterima atau tidak, selain itu dapat digunakan untuk mengkalibrasi alat pengukuran. Nilai ketidakpastian diharapkan memiliki titik temu toleransi dan batasan nilai yang masih dapat digunakan atau disertakan dalam data hasil analisis[7]. Untuk analisis data, digunakan ketidakpastian dengan menggunakan tingkat kepercayaan dengan sigma. Hasil pengukuran disajikan dengan format sebagai berikut:

$$X = \bar{x} \pm \lambda \cdot \sigma \tag{1}$$

Dimana:

X = data hasil pengukuran yang disajikan

$\bar{x}$  = nilai rata-rata (mean)

$\lambda$  = faktor tingkat kepercayaan

$\sigma$  = standar deviasi

Adapun nilai faktor tingkat kepercayaan mengikuti ketentuan sebagai berikut:

Tabel.1 Tingkat Kepercayaan Ketidakpastian

Jenis Tingkat Kepercayaan	$\lambda$	Prosentase Benar
1 sigma	1	68.5%
Nine tenth	1.645	90%
2 sigma	2	95.5%
Ninety nine	2.576	99%
3 sigma	3	99.5%

Adapun variabel pendukung yang dibutuhkan untuk mendapatkan format tersebut adalah dengan menghitung nilai rata-rata (mean) hasil pengukuran serta standar deviasi dari data. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung rata-rata (mean) dan standar deviasi adalah:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (3)$$

Dimana:

$\bar{x}$  = nilai rata-rata (mean)

$x_i$  = hasil pengukuran ke- $i$

$N$  = banyaknya frekuensi pengukuran

$\sigma$  = standar deviasi

Kemudian, masing-masing dari hasil pengukuran dapat ditulis dengan format tersebut dengan tingkat kepercayaan yang diinginkan.

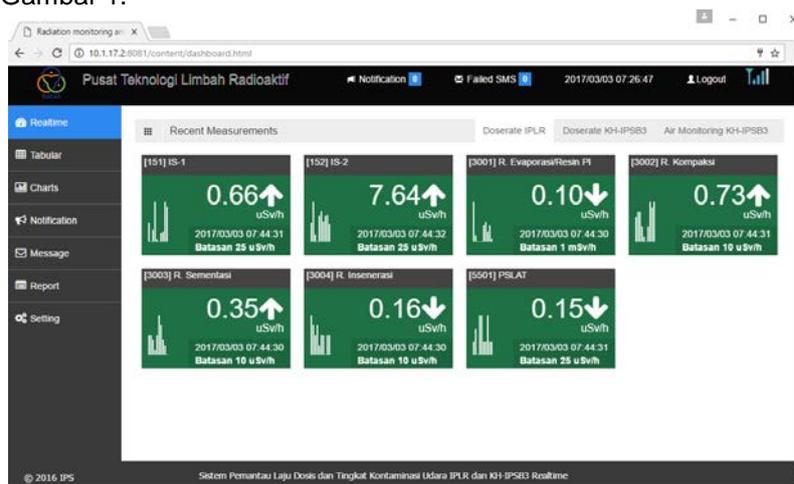
## METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam makalah ini adalah dengan menguji masing-masing data laju dosis yang tercatat hasil pengukuran pada monitor radiasi di dua gedung di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, yaitu IPLR dan KH – IPSB3. Metode yang digunakan untuk menguji masing-masing data adalah metode estimasi ketidakpastian pengukuran.

Langkah-langkah yang digunakan dalam perhitungan estimasi ketidakpastian adalah menentukan hipotesis nol dan hipotesis alternatif dan memilih tingkat kepentingan (*Level of Significance*). Setelah mengikuti tahapan tersebut, data kemudian disajikan dalam bentuk tabel hasil perhitungan mengikuti rumusan yang sebelumnya sudah dijelaskan. Kemudian, masing-masing pengolahan data ditentukan nilai ketidakpastian pengukuran. Adapun data yang digunakan adalah data laju dosis yang tercatat dalam monitor radiasi di masing-masing ruangan terpusat di ruang *Health Physic* [8]. Jenis data merupakan hasil pengukuran berulang bersifat acak dengan satu variabel yaitu laju dosis radiasi.

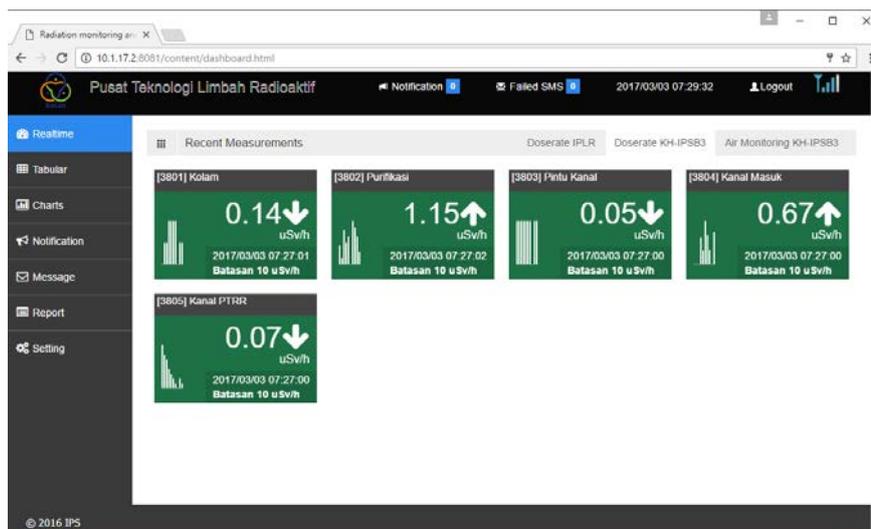
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Setiap ruangan di IPLR dan KHIPSB3 dipantau laju dosis radiasinya secara online per 2 detik pada 7 ruangan. Ruangan tersebut IS-1, IS-2, R. Evaporasi, R. Kompaksi, R. Sementasi, R. Insenerasi dan PSLAT [9,10]. Sistem pemantau radiasi online di IPLR dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sistem Pemantau Laju Dosis IPLR Online

Sedangkan KHIPSB3 dipantau laju dosis radiasinya secara online per 2 detik pada 5 ruangan. Ruangan tersebut antara lain R. Kolam, R. Purifikasi, R. Pintu Kanal, R Kanal Masuk, dan Kanal PTRR. Sistem pemantau radiasi online di IPLR dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem Pemantau Laju Dosis KH-IPSB3 Online

Adanya data hasil pengukuran laju dosis melalui monitor radiasi yang tercatat secara online setiap 2 detik di IPLR dan KH – IPSB3, belum ada pengujian analisis secara statistik untuk hasil pengukuran tersebut, sehingga dalam makalah ini data-data pengukuran laju dosis tersebut akan diuji dengan metode estimasi ketidakpastian pengukuran.

Masing-masing ruangan kemudian dihitung secara deskriptif untuk mendapatkan nilai rata-rata hasil pengukuran dan standar deviasi yang kemudian digunakan untuk menghitung ketidakpastian pengukuran. Adapun hasil statistik deskriptif dari masing-masing ruangan di IPLR disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Statistik Deskriptif Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif

Ruangan	Rata-rata ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Std. Deviasi	Std. Error
IS1	0.4134	0.05361	0.00496
IS2	2.8664	0.22702	0.01570
Evaporasi	122.1684	187.17195	13.98989
Kompaksi	0.4560	0.34400	0.04865
Sementasi	0.3604	0.12067	0.01031
Insenerasi	4.5339	5.82692	1.04655
PSLAT	0.9205	0.40388	0.09031

Untuk penyajian data, beberapa ruangan tidak dapat mengikuti format ketidakpastian dengan menggunakan standar deviasi sebagai toleransi, karena nilai standar deviasi yang cukup besar. Standar deviasi menjadi parameter sekaligus representasi dari data hasil pengukuran. Apabila nilai standar deviasi diharapkan jauh lebih kecil daripada nilai mean, yang berarti bahwa persebaran data cenderung dekat atau presisi. Apabila nilai standar deviasi lebih besar dari mean menyatakan bahwa mean tidak dapat merepresentasikan keseluruhan data karena penyebaran data yang sangat tidak merata.

Dalam pengukuran untuk ruangan di IPLR dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa ruangan-ruangan yang memiliki nilai pengukuran cenderung presisi adalah Interim Storage 1 dan 2. Sementara data di ruangan lain cenderung tersebar, dari tabel masing-masing frekuensi dapat dilihat bahwa ada banyak hasil pengukuran dengan rentang frekuensi yang variatif. Sehingga untuk Ruang Kompaksi, Evaporasi, Sementasi dan Insenerasi dapat menggunakan format penyajian menggunakan standar eror atau hanya dengan 1-sigma saja, karena apabila dipaksakan menggunakan ketidakpastian pengukuran dengan 2-sigma dan 3-sigma, nilai standar deviasi akan jauh lebih besar daripada nilai mean sehingga mengurangi nilai keakuratan hasil pengukuran. Adapun nilai ketidakpastian (*uncertainty*) untuk Ruang Interim Storage 1 dan 2 disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Ketidakpastian Pengukuran IPLR dengan Sigma

Ruangan	Ketidakpastian Pengukuran		
	1-sigma	2-sigma	3-sigma
IS1	0.41 ± 0.0536	0.41 ± 0.10722	0.41 ± 0.1608
IS2	2.87 ± 0.2270	2.87 ± 0.4540	2.87 ± 0.6811

Sementara ruangan lain dapat dinyatakan dengan format yang sama dengan mengganti nilai sigma menjadi nilai standar erornya, ditampilkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Ketidakpastian Pengukuran IPLR dengan Std. Error

Evaporasi	122.17 ± 13.9899
Kompaksi	0.46 ± 0.01031
Sementasi	0.36 ± 0.0487
Insenerasi	4.53 ± 1.0466
PSLAT	0.92 ± 0.0903

Adapun hasil statistik deskriptif dari masing-masing ruangan di Kanal Hubung – Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas, ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Statistik Deskriptif KH-IPSB3

Lokasi	Rata-rata ( $\mu\text{Sv/h}$ )	Std. Deviasi	Std. Error
Pintu Kanal	0.5993	0.66227	0.06176
Kanal Masuk	0.2746	0.00499	0.00030
Kanal PTRR	0.1432	0.03748	0.00364
Purifikasi	1.0381	0.13546	0.01720
Kolam	0.1577	0.00423	0.00024

Dari Tabel 5 tersebut dapat diketahui bahwa persebaran data yang paling tinggi terdapat di Pintu Kanal. Hal ini dinyatakan dari nilai standar deviasi yang lebih besar daripada nilai rata-rata (mean) hasil pengukuran. Sehingga, nilai pengukuran pintu kanal tidak dapat disajikan dalam bentuk ketidakpastian 1-sigma sampai 3-sigma, melainkan dengan menampilkan standar eror untuk toleransi galat, yaitu  $0.59 \pm 0.0617$  dengan menggantikan nilai sigma menjadi nilai standar eror. Sementara ruangan lain selain Pintu Kanal dapat dinyatakan dengan ketidakpastian pengukuran seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Ketidakpastian Pengukuran KH-IPSB3

Lokasi	Ketidakpastian Pengukuran		
	1-sigma	2-sigma	3-sigma
Kanal Masuk	0.27± 0.0049	0.27± 0.0099	0.27± 0.0149
Kanal PTRR	0.14± 0.03748	0.14± 0.0749	0.14± 0.1124
Purifikasi	1.04± 0.1355	1.04 ± 0.2709	1.04 ± 0.4064
Kolam	0.16± 0.0042	0.16± 0.0085	0.16± 0.0127

Hasil rangkuman estimasi ketidakpastian pengukuran data laju dosis dalam sistem pemantau radiasi di IPLR dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Rangkuman Estimasi Ketidakpastian Pengukuran di IPLR

Ruangan	Ketidakpastian Pengukuran			Standar Error	Keterangan
	1-sigma	2-sigma	3-sigma		
IS1	0.41 ± 0.0536	0.41 ± 0.10722	0.41 ± 0.1608	0.41 ± 0.0049	Benar hingga 99.5%
IS2	2.87 ± 0.2270	2.87 ± 0.4540	2.87 ± 0.6811	2.87 ± 0.0157	Benar hingga 99.5%

Evaporasi	-	-	-	$122.17 \pm 13.9899$	Nilai standar deviasi lebih besar daripada rata-rata
Kompaksi	$0.46 \pm 0.3440$	-	-	$0.46 \pm 0.0487$	Benar hingga 68.5%
Sementasi	$0.36 \pm 0.1207$	$0.36 \pm 0.2414$	-	$0.36 \pm 0.0103$	Benar hingga 95.5%
Insenerasi	-	-	-	$4.53 \pm 1.0466$	Nilai standar deviasi lebih besar daripada rata-rata
PSLAT	$0.92 \pm 0.4039$	$0.92 \pm 0.8078$	-	$0.92 \pm 0.0904$	Benar hingga 95.5%

Hasil rangkuman estimasi ketidakpastian pengukuran data laju dosis dalam sistem pemantau radiasi di KH-IPSB3 dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Rangkuman Estimasi Ketidakpastian Pengukuran di KH-IPSB3

Lokasi	Ketidakpastian Pengukuran			Standar Error	Keterangan
	1-sigma	2-sigma	3-sigma		
Pintu Kanal	-	-	-	$0.59 \pm 0.0617$	Nilai standar deviasi lebih besar daripada rata-rata
Kanal Masuk	$0.27 \pm 0.0049$	$0.27 \pm 0.0099$	$0.27 \pm 0.0149$	$0.27 \pm 0.0003$	Benar hingga 99.5%
Kanal PTRR	$0.14 \pm 0.0375$	$0.14 \pm 0.0749$	$0.14 \pm 0.1124$	$0.14 \pm 0.0036$	Benar hingga 99.5%
Purifikasi	$1.04 \pm 0.1355$	$1.04 \pm 0.2709$	$1.04 \pm 0.4064$	$1.04 \pm 0.0172$	Benar hingga 99.5%
Kolam	$0.16 \pm 0.0042$	$0.16 \pm 0.0085$	$0.16 \pm 0.0127$	$0.16 \pm 0.002$	Benar hingga 99.5%

## KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa secara umum, hasil estimasi ketidakpastian pengukuran laju dosis IPLR dan KH-IPSB3 dinyatakan benar hingga 99.5% kecuali untuk ruang evaporasi IPLR dinyatakan nilai standar deviasi lebih besar daripada rata-rata karena detektor digunakan sebagai indikator kejenuhan resin pada proses resin penukar ion dan Pintu Kanal Masuk KH-IPSB3 dinyatakan nilai standar deviasi lebih besar daripada rata-rata karena detektor rusak dan sudah dilakukan perbaikan di awal tahun ini.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bidang Keselamatan Kerja dan Operasi PTLR-BATAN atas bantuan dan arahnya dalam kegiatan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, Undang-Undang Negara Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran.
- [2] Anonim, Peraturan Kepala BATAN No. 14 tahun 2013 tentang Organisasi dan Tata Kerja BATAN
- [3] Anonim, Peraturan Pemerintah No 27 tahun 2002 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif.
- [4] Anonim, Peraturan Pemerintah No 33 tahun 2007 tentang Keselamatan dan Kesehatan terhadap Pemanfaatan Radiasi Pengion.

- 
- [5] Bell, Stephanie. Measurement Good Practice Guide No. 11. National Physical Laboratory, Middlesex, 1999.
- [6] Knoll, Glen F. Radiation Detection and Measurement Third Edition. John Wiley & Sons, Inc., New York, 2000.
- [7] Harinaldi. Prinsip-prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains. Penerbit Erlangga, Jakarta, 2005.
- [8] Chamber, Herman, Introduction to Health Physics, United States of America: Pergamon Press, 1983.
- [9] A. Wijayanto., I.P. Susila. Desain Sistem Pemantau Radiasi Terpusat IPLR dan KH-IPSB3 Berbasis Web. Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR - BATAN Tahun 2014. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN. 2015
- [10]A. Wijayanto., E. Togatorop. Analisis Data Pengukuran Laju Dosis di IPLR dan KH-IPSB3 dengan Metode Chi-Square. Hasil Penelitian dan Kegiatan PTLR - BATAN Tahun 2016. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN. 2017.

**DISKUSI/TANYA JAWAB :**

**1. PERTANYAAN (Hermawan Candra-PTKMR):**

Adakah tindak lanjut jika ditemukan kesalahan pengukuran sampai diatas 20%?

**JAWABAN :**

Pasti ada. Jika ada kesalahan pengukuran diatas 20% maka perlu dianalisa kembali apakah ada kegiatan yang menggunakan sumber radiasi pada ruangan tersebut dan jika tidak ada kegiatan maka perlu di cek HVnya pada detektor tersebut apakah sudah sesuai kriteria tegangan kerja detektor, dan ini dapat mengindikasikan stabilitas detektor tersebut.

HALAMAN INI SENGAJA DI KOSONGKAN

## APPLICATION OF ELECTROSTATIC SEPARATION FOR PLASTIC WASTE MANAGEMENT IN INDONESIA: A REVIEW AND PROSPECTUS

Yopa Eka Prawatya<sup>1</sup>, Rudi Kurnianto<sup>1</sup>, Nelly Wahyuni<sup>1</sup>,  
Thami Zeghloul<sup>2</sup>, Lucian Dascalescu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak 78124

<sup>2</sup> Institut Pprime CNRS-Université de Poitiers, 4 Avenue de Varsovie, Angoulême 16000  
email: yopa.prawatya@industrial.untan.ac.id

### ABSTRAK

**APLIKASI PEMISAHAN ELEKTROSTATIK UNTUK PENGELOLAAN LIMBAH PLASTIK DI INDONESIA: TINJAUAN DAN PROSPEKTUS.** Pencemaran dari kemasan plastik di Indonesia menjadi isu penting yang harus segera ditemukan solusinya. Selain pemanfaatan limbah plastik. Berbagai macam penelitian telah dilakukan untuk memberikan solusi dalam mengatasi permasalahan sampah/limbah plastik ini. Pemanfaatan limbah plastik sebagai material konstruksi seperti paving, bata dinding, atap, engsel, pintu, dan atap, menjadi salah satu solusi daur ulang yang memiliki nilai jual dan karakteristik khas. Pemisahan limbah plastik merupakan salah satu langkah solutif untuk menentukan jenis proses daur ulang yang akan dilakukan pada langkah berikutnya. Pemisahan material berdasarkan jenisnya dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti: picking, screening, magnetic, air classification, optical separation, Eddy's current method, dan flotation. Sampah plastik yang merupakan insulating material, dapat dipisahkan berdasarkan jenisnya dengan metode pemisahan elektrostatik sehingga mempermudah untuk pemilihan proses lanjutan untuk menangani limbah plastik tersebut. Berdasarkan hasil percobaan pada laboratorium pemisahan limbah plastik di PPRIME Institute, UPR 3346, CNRS - University of Poitiers ENSMA IUT d'Angoulême, France. Kondisi lingkungan di Indonesia mendukung untuk diterapkannya teknologi pemisahan ini, sehingga model tribo-corona separation dapat menjadi model green technology untuk menghadapi bahaya pencemaran limbah plastik di Indonesia.

Kata kunci: manajemen limbah, teknologi hijau, pemisahan elektrostatik, plastik

### ABSTRACT

**APPLICATION OF ELECTROSTATIC SEPARATION FOR PLASTIC WASTE MANAGEMENT IN INDONESIA: A REVIEW AND PROSPECTUS.** Pollution from plastic packaging in Indonesia is an important issue that must be immediately found a solution. Various kinds of research have been conducted to provide solutions for the problem of garbage/plastic waste. Utilization of plastic waste as construction materials such as paving, brick walls, roofs, hinges, doors, and roofs, has become one of the recycling solutions that have unique selling points and characteristics. Separation of plastic waste is one of the solutive steps to determine the type of recycling process that will be carried out in the next step. Separation of material based on its type can be done in various ways, such as picking, screening, magnetic, air classification, optical separation, Eddy's current method, and flotation. Plastic waste, which is an insulating material, can be separated by electrostatic separation method, making it easier for the selection of further processes to handle the plastic waste. Based on the results of experiments on the plastic waste separation laboratory at the PPRIME Institute, UPR 3346, CNRS - University of Poitiers ENSMA IUT d'Angoulême, France. The environmental conditions in Indonesia are feasible for the implementation of this separation technology so that the tribo-corona separation model could become a green technology model to face the danger of plastic waste pollution in Indonesia.

Keyword: waste management, green technology, electrostatic separation, plastic

### INTRODUCTION

Indonesia is the largest contributor to plastic waste in the world after China. The data from the Central Statistics Agency (BPS) and the Indonesian Plastic Industry Association

(INAPLAS) show that plastic waste in Indonesia reaches 64 million tons/year, of which around 3.2 million tons are discharged into the sea [1]. Plastic packaging is the dominant industry sector in the world with production reaching 146 million tons/year with waste of 141 million tons/year in 2015. Facing research topics in the world that have offered various solutions, in addition to reducing the use of plastic materials and replace with biodegradable materials. Other activities included in the management of plastic waste are selective collection: collected plastic waste by type; reuse: reuse of plastic packaging; and recycling: plastic processing into new materials or goods. Utilization of plastic waste as construction materials such as paving, brick walls, roofs, hinges, doors, and roofs, becomes one of the recycling solutions that valuable and distinctive characteristics [2].

While magnetic separation has been used successfully to detect ferrous materials, electrostatic separation is defined as the selective sorting of electrically charged or polarized objects under the action of an electric field force which is the preferred solution for handling nonferrous particles contained in plastic granular materials. Different physical mechanisms (electrostatic induction, corona filling, and triboelectric effects) and different devices (plates, rolls, free-fall, two conveyors, belts, and disk types) are used for the separation of various metal and plastic mixtures [3].

The purpose of this paper is to demonstrate the feasibility of electrostatic sorting applications of the plastic waste mixture. Preliminary studies have been conducted on PPRIME laboratory with ambient temperature adjustment as in Indonesia and previous studies have evaluated the relationship between electrostatic charge and temperature to the quality of charge [4–6].

## THEORY

Tribo-electrostatic separator and corona discharge: a mixture of the material to be separated is carried by compressed air through the pipe in which they tribocharged originating from collisions with each other and hit the wall of the pipe. Removable pipes (stainless steel, PVC, Teflon, etc.) used to make pipes can be adjusted to be used. The charged particle is then injected into a vertical space containing two high voltage electrodes which apply corona discharge principle, where positively charged particles are attracted by negative electrodes and negatively charged particles are attracted by positive electrodes [7].

Gravitational forces could play a role in particles movement on the inclined-plane during the separation process, as a result, most particles of the mixture are oriented into the compartment in the middle of the collector. The relative recovery rate due to the angle of inclination was computed as follows:

$$\Delta Rec_{(\theta i)} \% = \frac{(Rec_{(\theta i)} - Rec_{(90^\circ)})}{Rec_{(90^\circ)}} * 100 \quad (1)$$

Where  $Rec (90^\circ)$  is the recovery rate of separated products in free-fall electrostatic separator and  $Rec (\theta i)$  is the recovery rate of separated products in the inclined-plane separator at an angle  $\theta i$  determined with respect to the horizontal [8].

## METHODOLOGY

In most industries which apply electrostatic separation, granule material is obtained after the removal of all metal contaminants, which are then fed to the tribocharging device, and then free fall in the electric field produced by two high voltage electrodes[9,10]. The grains are “tribocharged” by collision and friction with each other or by the walls of the tribocharging device [11,12]. The electrostatic forces acting on the charged granules direct them to opposite polarity electrodes, where they are collected in an appropriate manner.

The patented tribo-aero-electrostatic separator by Calin and Dascalescu [13,14] has the peculiarity that the electrodes are two metal belt conveyors connected to a high voltage supply (Fig. 2). The length of the active electrode (ie the distance between the two rolls of each conveyor) is 500 mm.

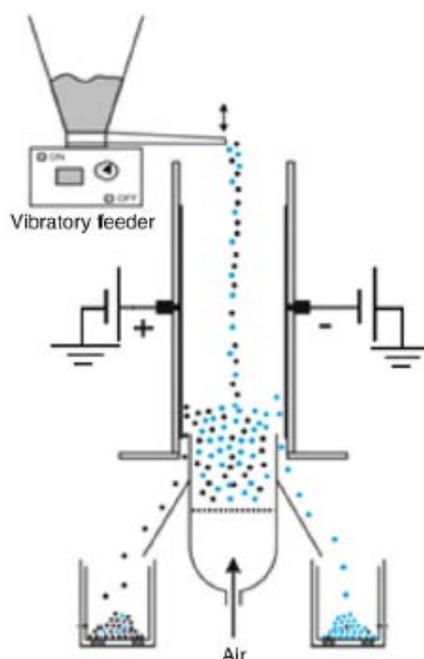


Figure 1. Laboratory-scale tribo-aero-electrostatic separator

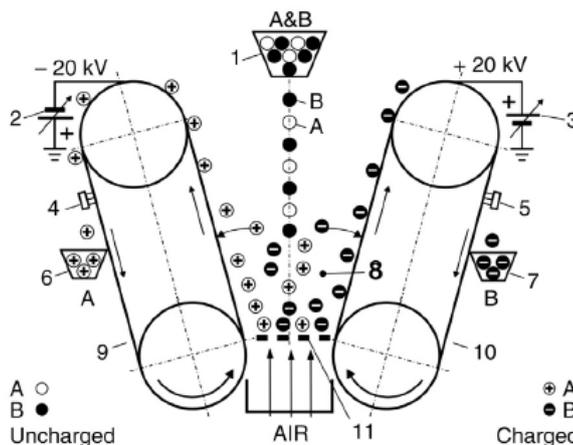


Figure 2. Recently patented tribo-aero-electrostatic separator for mixed granular plastics [13,14]; 1: feeder; 2, 3: high-voltage supplies; 4, 5: brushes; 6, 7: collectors; 9, 10: high-voltage electrodes (metallic belt conveyors); 11: fluidized bed.

## RESULTS AND DISCUSSION

Several works have been published on triboelectric charging processes, which mainly use: fans, rotary tubes, and fluidized[15].

### Fan Charging Device

The main elements of this installation are: the PVC insulating cylindrical tube, the DC motor that drives the insulating propeller and the metal support. The device uses the rising air which gives rise to turbulence in the tube containing the mixture of particles, thus causing their tribo-electrification when they collide with each other or with the walls of the tube.

The charged mixture is recovered by pivoting the cylinder without stopping the engine to prevent adhesion of the particles to the walls and allow complete recovery of the contents. Note here that the material of the cylinder plays an important role in this charging mechanism and can be chosen judiciously according to the mixture to be treated because the number of

collisions between particle-wall is important because of the centrifugal force which tries to project the particles between the walls of the device.

### Cyclone charging device

The device consists of an insulating cylinder, arranged in a vertical position. The granular or powdery materials to be loaded are introduced horizontally, normal to the inner wall of the cylinder, by a fan, the speed of rotation can be changed. The continuous friction between the particles and the wall generates the majority of the charge acquired in a device of this type. The principle of operation of this device also allows a continuous supply of the tribo-aero-electrostatic separator, but its effectiveness in the case of fine particles remains to be tested.

### The static type charging device

The static loading device is a parallelepipedal enclosure of insulating or metallic material, inside which are arranged several inclined plates. The particles slide along these plates by gravitation and charge by friction with them (tribo-electric effect).

The simplicity of the construction is remarkable. The other advantage of this device: the possibility of providing it with several sets of plates, different materials, interchangeable. Thus, the device may be equipped with plates providing a positive charge for one constituent of the mixture to be separated and negative for the other. The kinematics of the particles inside the device also favors collisions between particles.

### Vibration charging device

Another solution for charging the particles is obtained by the vibration device. The material to be loaded slides in zigzagging channels vibrating along the two axes X and Y. The oscillations of the load device are controlled by an electric motor and a crank-rod system. The particles to be charged interact firstly with the walls of the device. collisions between particle-wall are important because of the centrifugal force which tries to project the particles between the walls of the device.

### The fluidized bed charging device

This is the most used method for tribo-electric charging. The operation of the fluidized bed in these devices is defined by six phenomena. Which are: Vibration, Formation, Bubbling, Pumping, Larding, and Training.

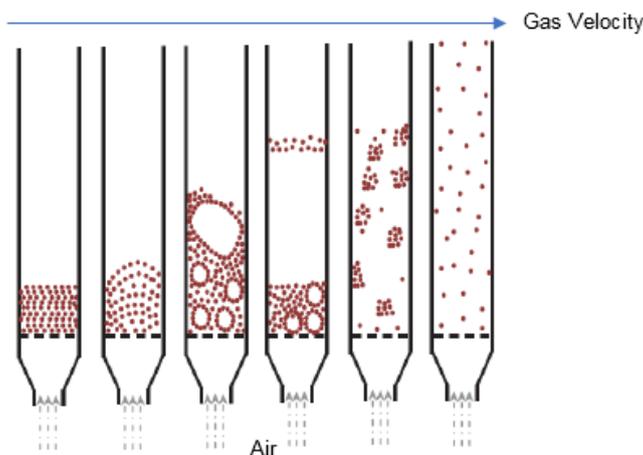


Figure 3. Regimes of a fluidized bed as a function of the fluidization velocity

## CONCLUSIONS

Both the tribo-electrostatic and corona-electrostatic separation methods are suitable for separate mixed plastics waste into its individual components. The future of sufficient energy in Indonesia could support this separation process, in order to reduce plastic pollution in Indonesia. However, plastic waste may easily be contaminated before or during the recycling process, which would influence the surface properties, the charging efficiency, and the outcome of the electrostatic separation. In order to minimize the contamination,

standardization of plastic waste collecting and pretreatment before electrostatic separation are necessary.

#### ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by PPRIME Institute, UPR 3346, CNRS - University of Poitiers ENSMA IUT d'Angouleme, France.

#### DAFTAR PUSTAKA, ARIAL 10 BOLD

- [1] Puspita S. Indonesia Penyumbang Sampah Plastik Terbesar Kedua di Dunia 2018. <https://megapolitan.kompas.com/read/2018/08/19/21151811/indonesia-penyumbang-sampah-plastik-terbesar-kedua-di-dunia> (accessed May 19, 2019).
- [2] Handayasari I. Studi Alternatif Bahan Konstruksi Ramah Lingkungan Dengan Pemanfaatan Limbah Plastik Kemasan Air Mineral Pada Campuran Beton. *Poli-Teknologi* 2017;16:1–6. doi:10.32722/pt.vol16.no.1.2017.pp.
- [3] Dascalescu L, Zeghloul T, Iuga A. Electrostatic Separation of Metals and Plastics From Waste Electrical and Electronic Equipment. *WEEE Recycl.*, Elsevier; 2016, p. 75–106. doi:10.1016/B978-0-12-803363-0.00004-3.
- [4] Noda N, Makino H. Influence of operating temperature on performance of electrostatic precipitator for pulverized coal combustion boiler. *Adv Powder Technol* 2010;21:495–9. doi:10.1016/j.apt.2010.04.012.
- [5] Hiratsuka K, Hosotani K. Effects of friction type and humidity on triboelectrification and triboluminescence among eight kinds of polymers. *Tribol Int* 2012;55:87–99. doi:10.1016/j.triboint.2012.05.017.
- [6] Prawatya YE, Neagoe MB, Zeghloul T, Dascalescu L. Thermally-controlled tribocharging of polymers n.d.:1–4.
- [7] Mayer Laigle C, Barakat A. Electrostatic Separation as an Entry into Environmentally Eco-Friendly Dry Biorefining of Plant Materials. *J Chem Eng Process Technol* 2017;08:4–9. doi:10.4172/2157-7048.1000354.
- [8] Nadjem A, Kachi M, Rouagdia K, Remadnia M. Experimental Study of an Inclined-Plane Electrostatic Separator. Cham: Springer International Publishing; 2018. doi:10.1007/978-3-319-89707-3.
- [9] Tilmatine A, Medles K, Bendimerad S-E, Boukholda F, Dascalescu L. Electrostatic separators of particles: Application to plastic/metal, metal/metal and plastic/plastic mixtures. *Waste Manag* 2009;29:228–32. doi:10.1016/j.wasman.2008.06.008.
- [10] INCULET II, CASTLE GSP, BROWN JD. ELECTROSTATIC SEPARATION OF PLASTICS FOR RECYCLING. *Part Sci Technol* 1998;16:91–100. doi:10.1080/02726359808906787.
- [11] El-Mouloud Zemat M, Rizouga M, Tilmatine A, Medles K, Miloudi M, Dascalescu L. Experimental Comparative Study of Different Tribocharging Devices for Triboelectric Separation of Insulating Particles. *IEEE Trans Ind Appl* 2013;49:1113–8. doi:10.1109/TIA.2013.2251991.
- [12] Zemat M, Tilmatine A, Rizouga M, Gouri R, Medles K, Dascalescu L. Experimental analysis of a cyclone tribocharging device for free-fall triboelectric separation of plastic particles. *IEEE Trans Dielectr Electr Insul* 2013;20:1584–9. doi:10.1109/TDEI.2013.6633687.
- [13] Miloudi M, Dascalescu L, Li J, El-Mossouess S, Medles K. Tribo-aero-electrostatic separator for coarse granular insulating materials. *IEEE Trans Dielectr Electr Insul* 2013;20:1510–5. doi:10.1109/TDEI.2013.6633677.
- [14] Calin L, Dascalescu L. Method for electrostatically separating a granular mixture made of different materials, and device for implementing same. FR2943561, 2009.
- [15] Messal S. Procédés de séparation électrostatique de matériaux pulvérulents. Applications au recyclage des déchets et dans l'industrie agro-alimentaire. UNIVERSITÉ DE POITIERS, 2016.

#### DISKUSI/TANYA JAWAB:

##### 1. PERTANYAAN (Susetyo Trijoko-PKSEN):

Apakah hasil review ini sudah ditawarkan ke Pemkot Pontianak?

**JAWABAN:**

Belum, masih akan diajukan proposalnya.

## APPLICATION OF ELECTROSTATIC SEPARATION FOR PLASTIC WASTE MANAGEMENT IN INDONESIA: A REVIEW AND PROSPECTUS

Yopa Eka Prawatya<sup>1</sup>, Rudi Kurnianto<sup>1</sup>, Nelly Wahyuni<sup>1</sup>,  
Thami Zeghloul<sup>2</sup>, Lucian Dascalescu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak 78124

<sup>2</sup> Institut Pprime CNRS-Université de Poitiers, 4 Avenue de Varsovie, Angoulême 16000

email: yopa.prawatya@industrial.untan.ac.id

### ABSTRAK

**APLIKASI PEMISAHAN ELEKTROSTATIK UNTUK PENGELOLAAN LIMBAH PLASTIK DI INDONESIA: TINJAUAN DAN PROSPEKTUS.** Pencemaran dari kemasan plastik di Indonesia menjadi isu penting yang harus segera ditemukan solusinya. Selain pemanfaatan limbah plastik. Berbagai macam penelitian telah dilakukan untuk memberikan solusi dalam mengatasi permasalahan sampah/limbah plastik ini. Pemanfaatan limbah plastik sebagai material konstruksi seperti paving, bata dinding, atap, engsel, pintu, dan atap, menjadi salah satu solusi daur ulang yang memiliki nilai jual dan karakteristik khas. Pemisahan limbah plastik merupakan salah satu langkah solutif untuk menentukan jenis proses daur ulang yang akan dilakukan pada langkah berikutnya. Pemisahan material berdasarkan jenisnya dapat dilakukan dengan berbagai cara, seperti: picking, screening, magnetic, air classification, optical separation, Eddy's current method, dan flotation. Sampah plastik yang merupakan insulating material, dapat dipisahkan berdasarkan jenisnya dengan metode pemisahan elektrostatik sehingga mempermudah untuk pemilihan proses lanjutan untuk menangani limbah plastik tersebut. Berdasarkan hasil percobaan pada laboratorium pemisahan limbah plastik di PPRIME Institute, UPR 3346, CNRS - University of Poitiers ENSMA IUT d'Angouleme, France. Kondisi lingkungan di Indonesia mendukung untuk diterapkannya teknologi pemisahan ini, sehingga model tribo-corona separation dapat menjadi model green technology untuk menghadapi bahaya pencemaran limbah plastik di Indonesia.

Kata kunci: manajemen limbah, teknologi hijau, pemisahan elektrostatik, plastik

### ABSTRACT

**APPLICATION OF ELECTROSTATIC SEPARATION FOR PLASTIC WASTE MANAGEMENT IN INDONESIA: A REVIEW AND PROSPECTUS.** Pollution from plastic packaging in Indonesia is an important issue that must be immediately found a solution. Various kinds of research have been conducted to provide solutions for the problem of garbage/plastic waste. Utilization of plastic waste as construction materials such as paving, brick walls, roofs, hinges, doors, and roofs, has become one of the recycling solutions that have unique selling points and characteristics. Separation of plastic waste is one of the solutive steps to determine the type of recycling process that will be carried out in the next step. Separation of material based on its type can be done in various ways, such as picking, screening, magnetic, air classification, optical separation, Eddy's current method, and flotation. Plastic waste, which is an insulating material, can be separated by electrostatic separation method, making it easier for the selection of further processes to handle the plastic waste. Based on the results of experiments on the plastic waste separation laboratory at the PPRIME Institute, UPR 3346, CNRS - University of Poitiers ENSMA IUT d'Angouleme, France. The environmental conditions in Indonesia are feasible for the implementation of this separation technology so that the tribo-corona separation model could become a green technology model to face the danger of plastic waste pollution in Indonesia.

Keyword: waste management, green technology, electrostatic separation, plastic

### INTRODUCTION

Indonesia is the largest contributor to plastic waste in the world after China. The data from the Central Statistics Agency (BPS) and the Indonesian Plastic Industry Association (INAPLAS) show that plastic waste in Indonesia reaches 64 million tons/year, of which around

3.2 million tons are discharged into the sea [1]. Plastic packaging is the dominant industry sector in the world with production reaching 146 million tons/year with waste of 141 million tons/year in 2015. Facing research topics in the world that have offered various solutions, in addition to reducing the use of plastic materials and replace with biodegradable materials. Other activities included in the management of plastic waste are selective collection: collected plastic waste by type; reuse: reuse of plastic packaging; and recycling: plastic processing into new materials or goods. Utilization of plastic waste as construction materials such as paving, brick walls, roofs, hinges, doors, and roofs, becomes one of the recycling solutions that valuable and distinctive characteristics [2].

While magnetic separation has been used successfully to detect ferrous materials, electrostatic separation is defined as the selective sorting of electrically charged or polarized objects under the action of an electric field force which is the preferred solution for handling nonferrous particles contained in plastic granular materials. Different physical mechanisms (electrostatic induction, corona filling, and triboelectric effects) and different devices (plates, rolls, free-fall, two conveyors, belts, and disk types) are used for the separation of various metal and plastic mixtures [3].

The purpose of this paper is to demonstrate the feasibility of electrostatic sorting applications of the plastic waste mixture. Preliminary studies have been conducted on PPRIME laboratory with ambient temperature adjustment as in Indonesia and previous studies have evaluated the relationship between electrostatic charge and temperature to the quality of charge [4–6].

## THEORY

Tribo-electrostatic separator and corona discharge: a mixture of the material to be separated is carried by compressed air through the pipe in which they tribocharged originating from collisions with each other and hit the wall of the pipe. Removable pipes (stainless steel, PVC, Teflon, etc.) used to make pipes can be adjusted to be used. The charged particle is then injected into a vertical space containing two high voltage electrodes which apply corona discharge principle, where positively charged particles are attracted by negative electrodes and negatively charged particles are attracted by positive electrodes [7].

Gravitational forces could play a role in particles movement on the inclined-plane during the separation process, as a result, most particles of the mixture are oriented into the compartment in the middle of the collector. The relative recovery rate due to the angle of inclination was computed as follows:

$$\Delta Rec_{(\theta i)} \% = \frac{(Rec_{(\theta i)} - Rec_{(90^\circ)})}{Rec_{(90^\circ)}} * 100 \quad (1)$$

Where  $Rec (90^\circ)$  is the recovery rate of separated products in free-fall electrostatic separator and  $Rec (\theta i)$  is the recovery rate of separated products in the inclined-plane separator at an angle  $\theta i$  determined with respect to the horizontal [8].

## METHODOLOGY

In most industries which apply electrostatic separation, granule material is obtained after the removal of all metal contaminants, which are then fed to the tribocharging device, and then free fall in the electric field produced by two high voltage electrodes[9,10]. The grains are “tribocharged” by collision and friction with each other or by the walls of the tribocharging device [11,12]. The electrostatic forces acting on the charged granules direct them to opposite polarity electrodes, where they are collected in an appropriate manner.

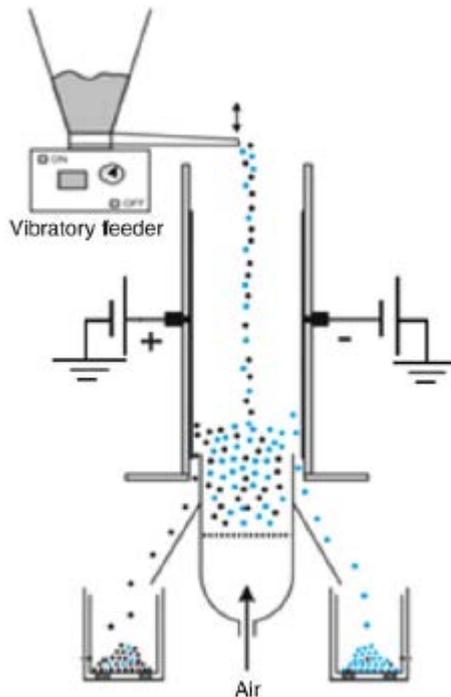


Figure 1. Laboratory-scale tribo-aero-electrostatic separator

The patented tribo-aero-electrostatic separator by Calin and Dascalescu [13,14] has the peculiarity that the electrodes are two metal belt conveyors connected to a high voltage supply (Fig. 2). The length of the active electrode (ie the distance between the two rolls of each conveyor) is 500 mm.

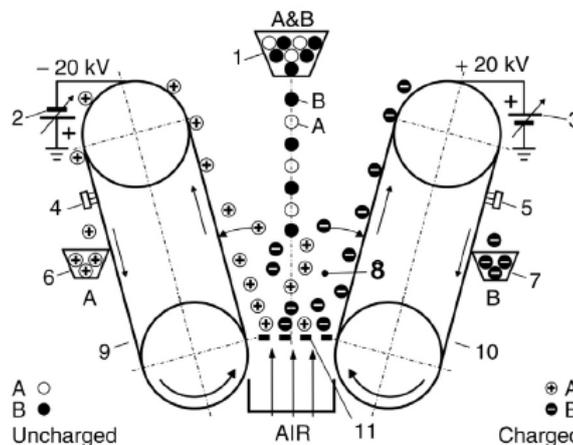


Figure 2. Recently patented tribo-aero-electrostatic separator for mixed granular plastics [13,14]; 1: feeder; 2, 3: high-voltage supplies; 4, 5: brushes; 6, 7: collectors; 9, 10: high-voltage electrodes (metallic belt conveyors); 11: fluidized bed.

## RESULTS AND DISCUSSION

Several works have been published on triboelectric charging processes, which mainly use: fans, rotary tubes, and fluidized[15].

### Fan Charging Device

The main elements of this installation are: the PVC insulating cylindrical tube, the DC motor that drives the insulating propeller and the metal support. The device uses the rising air which gives rise to turbulence in the tube containing the mixture of particles, thus causing their tribo-electrification when they collide with each other or with the walls of the tube.

The charged mixture is recovered by pivoting the cylinder without stopping the engine to prevent adhesion of the particles to the walls and allow complete recovery of the contents. Note here that the material of the cylinder plays an important role in this charging mechanism and can be chosen judiciously according to the mixture to be treated because the number of collisions between particle-wall is important because of the centrifugal force which tries to project the particles between the walls of the device.

### Cyclone charging device

The device consists of an insulating cylinder, arranged in a vertical position. The granular or powdery materials to be loaded are introduced horizontally, normal to the inner wall of the cylinder, by a fan, the speed of rotation can be changed. The continuous friction between the particles and the wall generates the majority of the charge acquired in a device of this type. The principle of operation of this device also allows a continuous supply of the tribo-aero-electrostatic separator, but its effectiveness in the case of fine particles remains to be tested.

### The static type charging device

The static loading device is a parallelepipedal enclosure of insulating or metallic material, inside which are arranged several inclined plates. The particles slide along these plates by gravitation and charge by friction with them (tribo-electric effect).

The simplicity of the construction is remarkable. The other advantage of this device: the possibility of providing it with several sets of plates, different materials, interchangeable. Thus, the device may be equipped with plates providing a positive charge for one constituent of the mixture to be separated and negative for the other. The kinematics of the particles inside the device also favors collisions between particles.

### Vibration charging device

Another solution for charging the particles is obtained by the vibration device. The material to be loaded slides in zigzagging channels vibrating along the two axes X and Y. The oscillations of the load device are controlled by an electric motor and a crank-rod system. The particles to be charged interact firstly with the walls of the device. collisions between particle-wall are important because of the centrifugal force which tries to project the particles between the walls of the device.

### The fluidized bed charging device

This is the most used method for tribo-electric charging. The operation of the fluidized bed in these devices is defined by six phenomena. Which are: Vibration, Formation, Bubbling, Pumping, Larding, and Training.

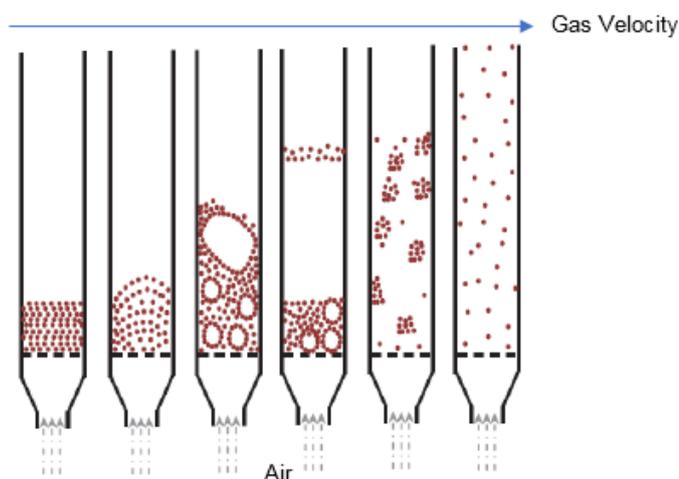


Figure 3. Regimes of a fluidized bed as a function of the fluidization velocity

## CONCLUSIONS

Both the tribo-electrostatic and corona-electrostatic separation methods are suitable for separate mixed plastics waste into its individual components. The future of sufficient energy in Indonesia could support this separation process, in order to reduce plastic pollution in Indonesia. However, plastic waste may easily be contaminated before or during the recycling process, which would influence the surface properties, the charging efficiency, and the outcome of the electrostatic separation. In order to minimize the contamination, standardization of plastic waste collecting and pretreatment before electrostatic separation are necessary.

## ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by PPRIME Institute, UPR 3346, CNRS - University of Poitiers ENSMA IUT d'Angouleme, France.

## DAFTAR PUSTAKA, ARIAL 10 BOLD

- [1] Puspita S. Indonesia Penyumbang Sampah Plastik Terbesar Kedua di Dunia 2018. <https://megapolitan.kompas.com/read/2018/08/19/21151811/indonesia-penyumbang-sampah-plastik-terbesar-kedua-di-dunia> (accessed May 19, 2019).
- [2] Handayasari I. Studi Alternatif Bahan Konstruksi Ramah Lingkungan Dengan Pemanfaatan Limbah Plastik Kemasan Air Mineral Pada Campuran Beton. *Poli-Teknologi* 2017;16:1–6. doi:10.32722/pt.vol16.no.1.2017.pp.
- [3] Dascalescu L, Zeghloul T, Iuga A. Electrostatic Separation of Metals and Plastics From Waste Electrical and Electronic Equipment. *WEEE Recycl.*, Elsevier; 2016, p. 75–106. doi:10.1016/B978-0-12-803363-0.00004-3.
- [4] Noda N, Makino H. Influence of operating temperature on performance of electrostatic precipitator for pulverized coal combustion boiler. *Adv Powder Technol* 2010;21:495–9. doi:10.1016/j.appt.2010.04.012.
- [5] Hiratsuka K, Hosotani K. Effects of friction type and humidity on triboelectrification and triboluminescence among eight kinds of polymers. *Tribol Int* 2012;55:87–99. doi:10.1016/j.triboint.2012.05.017.
- [6] Prawatya YE, Neagoe MB, Zeghloul T, Dascalescu L. Thermally-controlled tribocharging of polymers n.d.:1–4.
- [7] Mayer Laigle C, Barakat A. Electrostatic Separation as an Entry into Environmentally Eco-Friendly Dry Biorefining of Plant Materials. *J Chem Eng Process Technol* 2017;08:4–9. doi:10.4172/2157-7048.1000354.
- [8] Nadjem A, Kachi M, Rouagdia K, Remadnia M. Experimental Study of an Inclined-Plane Electrostatic Separator. Cham: Springer International Publishing; 2018. doi:10.1007/978-3-319-89707-3.
- [9] Tilmatine A, Medles K, Bendimerad S-E, Boukholda F, Dascalescu L. Electrostatic separators of particles: Application to plastic/metal, metal/metal and plastic/plastic mixtures. *Waste Manag* 2009;29:228–32. doi:10.1016/j.wasman.2008.06.008.
- [10] INCULET II, CASTLE GSP, BROWN JD. ELECTROSTATIC SEPARATION OF PLASTICS FOR RECYCLING. *Part Sci Technol* 1998;16:91–100. doi:10.1080/02726359808906787.
- [11] El-Mouloud Zemat M, Rizouga M, Tilmatine A, Medles K, Miloudi M, Dascalescu L. Experimental Comparative Study of Different Tribocharging Devices for Triboelectric Separation of Insulating Particles. *IEEE Trans Ind Appl* 2013;49:1113–8. doi:10.1109/TIA.2013.2251991.
- [12] Zemat M, Tilmatine A, Rizouga M, Gouri R, Medles K, Dascalescu L. Experimental analysis of a cyclone tribocharging device for free-fall triboelectric separation of plastic particles. *IEEE Trans Dielectr Electr Insul* 2013;20:1584–9. doi:10.1109/TDEI.2013.6633687.
- [13] Miloudi M, Dascalescu L, Li J, El-Mossouess S, Medles K. Tribo-aero-electrostatic separator for coarse granular insulating materials. *IEEE Trans Dielectr Electr Insul* 2013;20:1510–5. doi:10.1109/TDEI.2013.6633677.
- [14] Calin L, Dascalescu L. Method for electrostatically separating a granular mixture made of different materials, and device for implementing same. FR2943561, 2009.
- [15] Messal S. Procédés de séparation électrostatique de matériaux pulvérulents. Applications au recyclage des déchets et dans l'industrie agro-alimentaire. UNIVERSITÉ DE POITIERS, 2016.

**DISKUSI/TANYA JAWAB:**

**1. PERTANYAAN (Susetyo Trijoko-PKSEN):**

Apakah hasil review ini sudah ditawarkan ke Pemkot Pontianak?

**JAWABAN:**

Belum, masih akan diajukan proposalnya.

## **PENERAPAN KURIKULUM IPTEK NUKLIR DI SMAN 2 KOTA TANGERANG SELATAN**

**Ristiana Dwi Hastuti<sup>1</sup>, Lilis Suryani<sup>1</sup>, Siti Alimah<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Pusat Diseminasi dan Kemitraan, BATAN*

<sup>2</sup> *Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir-BATAN*

*email: ristie@batan.go.id*

### **ABSTRAK**

#### **PENERAPAN KURIKULUM IPTEK NUKLIR DI SMAN 2 KOTA TANGERANG SELATAN.**

Salah satu fasilitas reaktor yang merupakan reaktor untuk penelitian, pengembangan dan pemanfaatan teknologi nuklir, dimiliki bangsa Indonesia sejak tahun 1983. Reaktor tersebut merupakan reaktor nuklir riset terbesar di Asia Tenggara dan dilokasikan di kawasan Puspipstek Serpong. Dengan adanya fasilitas nuklir tersebut, terdapat persepsi negatif sebagian masyarakat di sekitar kawasan, yaitu nuklir dianggap dapat digunakan sebagai bom dan radiasi yang ditimbulkan sangat berbahaya. Untuk meminimalkan persepsi negatif tersebut, penting dibangun kepercayaan publik dan meningkatkan pemahaman iptek nuklir diantaranya dengan penerapan kurikulum di sekolah menengah. Salah satu sekolah menengah yang ada di sekitar Kawasan Puspipstek adalah SMAN 2 Tangerang Selatan. Penerapan kurikulum di sekolah menengah akan mendukung pendidikan formal. Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, melakukan implementasi lanjutan dalam bentuk kegiatan edukasi nuklir sebagai bagian dari program informasi dan edukasi publik. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui lama waktu dan metode yang paling efektif untuk pembelajaran iptek nuklir di SMAN 2 Kota Tangerang Selatan. Metode yang digunakan dalam penelitian adalah studi literatur, dan pengumpulan data hasil survei guru bidang sains dan siswa SMAN 2 Kota Tangerang Selatan. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa waktu pembelajaran iptek nuklir paling efektif adalah 2 jam pelajaran dengan metode pembelajaran berupa presentasi dan praktikum.

Kata kunci: kurikulum, iptek nuklir, edukasi, presentasi, praktikum

### **ABSTRACT**

#### **IMPLEMENTATION THE NUCLEAR SCIENCE CURRICULUM IN SMAN 2 KOTA TANGERANG SELATAN.**

One of the reactor facilities, which is a reactor for research, development and use of nuclear technology, has been owned by the Indonesian people since 1983. The reactor is the largest research nuclear reactor in Southeast Asia and is located in the Serpong Puspipstek area. With the existence of these nuclear facilities, there are negative perceptions of some people around the area, namely nuclear is considered to be used as a bomb and radiation is very dangerous. To minimize these negative perceptions, it is important to build public trust and improve understanding of nuclear science and technology including the application of curriculum in secondary schools. One of the secondary schools around the Puspipstek area is SMAN 2 Tangerang Selatan. The curriculum application in secondary school will be support the formal education. The National Nuclear Energy Agency (BATAN) and the Ministry of Education and Culture, carry out further implementations in the form of nuclear education activities as part of the public education and information program. The purpose of this research is to find out the length of time and the most effective method for learning nuclear science and technology in SMAN 2 Kota Tangerang Selatan. The method used in this research is the study of literature, and the collection of data from the survey results of science teachers and students of SMAN 2 Kota Tangerang Selatan. The results showed that the most effective nuclear science and technology learning time was 2 hours of learning with learning methods in the form of presentations and practicum.

Keywords: curriculum, nuclear science and technology, education, presentation, practicum.

### **PENDAHULUAN**

Indonesia telah membangun 3 reaktor riset, untuk penelitian, pengembangan dan aplikasi teknologi nuklir, dan hingga saat ini ke 3 reaktor tersebut. BATAN mempunyai tugas melaksanakan tugas pemerintahan di bidang penelitian, pengembangan dan

pendayagunaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir diantaranya dengan memanfaatkan 3 reaktor riset tersebut,. Salah satu reaktor riset tersebut dilokasikan di Kawasan Puspitex Serpong, Kota Tangerang Selatan. Selain penelitian teknis, perlu juga dibangun kepercayaan publik dan memberikan pemahaman ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir (iptek nuklir), terutama untuk masyarakat sekitar lokasi reaktor. Persepsi negatif iptek nuklir dari masyarakat perlu diminimalkan, karena iptek nuklir juga bermanfaat untuk kesejahteraan manusia. Berbagai kegiatan dapat dilakukan untuk membangun kepercayaan dan memberikan pemahaman, diantaranya dengan edukasi melalui sekolah menengah, sehingga iptek nuklir dikenal secara luas. Pemahaman iptek nuklir sejak dini dengan edukasi melalui sekolah akan mendukung pendidikan formal.

Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) dan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (Kemendikbud), sejak tahun 2009, telah menyusun materi bahan ajar dan kegiatan yang dapat membantu komunitas akademik dalam menyampaikan materi nuklir selama proses belajar di kelas[1]. Pada tahun 2010, bahan ajar tambahan seperti CD pembelajaran interaktif, buku pintar nuklir, brosur dan materi lainnya telah dikembangkan dan diproduksi oleh pemerintah yang terdistribusi bagi komunitas-komunitas akademik. Selanjutnya pada tahun 2013, Kemendikbud melakukan revisi kurikulum untuk sekolah tingkat menengah dan mengintegrasikan topik nuklir kedalam kurikulum berdasarkan penelaahan sebelumnya dan di-review oleh Kemendikbud itu sendiri beserta BATAN. Secara spesifik, topik nuklir dibahas pada mata pelajaran Fisika, Kimia dan Biologi dikelas X-XII.

Dalam rangka mendukung implementasi dari kurikulum tersebut, maka BATAN bekerjasama dengan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 2 Kota Tangerang Selatan. SMAN 2 Kota Tangerang Selatan merupakan salah satu sekolah yang paling dekat atau ring satu dengan Kawasan Nuklir Serpong. Sekolah ini bermitra dengan BATAN dalam rangka membuat metode penyampaian materi iptek nuklir untuk siswa Sekolah Menengah Atas. Penerapan Kurikulum Iptek Nuklir di SMAN 2 Kota Tangerang Selatan dilaksanakan untuk mengetahui metode penerapan kurikulum yang efektif dalam penyampaian materi terkait iptek nuklir.

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui lama waktu dan metode yang paling efektif untuk pembelajaran iptek nuklir di SMAN 2 Kota Tangerang Selatan. Untuk mencapai tujuan ini, maka dilakukan analisis data berdasarkan kuesioner yang disebarakan kepada pengajar bidang sains dan siswa di SMAN 2 Kota Tangerang Selatan.

## **KURIKULUM**

BATAN sudah mulai mensosialisasikan pemanfaatan iptek nuklir kepada dunia pendidikan dan masyarakat umum sejak tahun 1970-an. Sistem pendidikan di Indonesia saat ini, belum sepenuhnya pro konsep nuklir[2]. Pemberian pemahaman iptek nuklir sejak dini di sekolah dapat mengurangi pola pikir masyarakat yang masih didominasi rasa takut akan risiko bahaya radiasi yang dihasilkan jika terjadi kecelakaan. Pemberian pemahaman iptek nuklir melalui pendidikan formal diantaranya dengan penerapan kurikulum iptek nuklir dalam mata pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) di sekolah menengah atas, karena konsep pembelajaran iptek nuklir berkaitan dengan pelajaran IPA.

Kurikulum merupakan salah satu unsur yang memberikan kontribusi yang signifikan untuk mewujudkan proses berkembangnya kualitas potensi peserta didik[3]. Kurikulum adalah perangkat mata pelajaran dan program pendidikan yang diberikan oleh suatu lembaga penyelenggara pendidikan yang berisi rancangan pelajaran yang akan diberikan kepada peserta pelajaran dalam satu periode jenjang pendidikan[4]. Kurikulum suatu pendidikan tidak bersifat statis, tetapi dapat berubah dan bersifat dinamis. Hal ini karena kurikulum sangat dipengaruhi perubahan lingkungan sehingga perlu dilakukan penyesuaian untuk memenuhi permintaan. Permintaan dikarenakan adanya kebutuhan dari peserta didik dan masyarakat yang mengalami perkembangan dan pertumbuhan[5]. Penyusunan perangkat mata pelajaran ini disesuaikan dengan keadaan dan kemampuan setiap jenjang pendidikan dalam penyelenggaraan pendidikan tersebut serta kebutuhan lapangan kerja. Lama waktu dalam satu kurikulum biasanya disesuaikan dengan maksud dan tujuan dari sistem pendidikan yang dilaksanakan. Kurikulum ini dimaksudkan untuk dapat mengarahkan pendidikan menuju arah dan tujuan yang dimaksudkan dalam kegiatan pembelajaran secara menyeluruh.

Pada dasarnya kurikulum memiliki komponen pokok dan komponen penunjang yang saling berkaitan dan berinteraksi satu sama lainnya dalam rangka mencapai tujuan tersebut[6].

Komponen merupakan satu sistem dari berbagai komponen yang saling berkaitan dan tidak bisa dipisahkan satu sama lainnya, sebab kalau satu komponen saja tidak ada maka tidak berjalan sebagaimana mestinya.

Fungsi kurikulum dalam pendidikan tidak lain merupakan alat untuk mencapai tujuan pendidikan. Dalam hal ini, alat untuk menempa manusia yang diharapkan sesuai dengan tujuan yang diharapkan. Pendidikan suatu bangsa dengan bangsa lain tidak akan sama karena setiap bangsa dan negara mempunyai filsafat dan tujuan pendidikan tertentu yang dipengaruhi oleh berbagai segi, baik segi agama, ideologi, kebudayaan, maupun kebutuhan negara itu sendiri. Dengan demikian di negara kita tidak sama dengan negara-negara lain. Di Indonesia, kurikulum merupakan alat untuk mencapai tujuan pendidikan nasional, kurikulum merupakan program yang harus dilaksanakan oleh guru dan murid dalam proses belajar mengajar, guna mencapai tujuan-tujuan itu, serta kurikulum merupakan pedoman guru dan siswa agar terlaksana proses belajar mengajar dengan baik dalam rangka mencapai tujuan pendidikan. Metode yang dianggap baik adalah metode yang dapat menimbulkan semangat siswa dalam mengikuti pelajaran[7].

Pembelajaran iptek nuklir melibatkan reaksi dari inti atom. Secara umum, reaksi nuklir dapat dibedakan menjadi reaksi fusi dan reaksi fisi. Reaksi fusi nuklir merupakan penggabungan dua buah inti atom untuk menghasilkan yang lebih berat. Reaksi fisi nuklir adalah peristiwa pecahnya inti atom menjadi dua atau tiga buah inti atom lain yang lebih ringan. Selain produk fisi, biasanya dilepaskan pula beberapa buah neutron ( $n$ ) dan energi dalam bentuk panas dan radiasi *gamma*. Energi yang dibebaskan dalam proses reaksi nuklir disebut energi nuklir[2].

Kimia adalah materi pelajaran tentang susunan, struktur, sifat, dan perubahan materi atau secara sederhana mempelajari ilmu yang terkait dengan kehidupan sehari-hari[8]. Komposisi dan sifat zat atau materi dari skala atom hingga molekul serta perubahan atau transformasi serta interaksinya untuk membentuk materi yang ditemukan sehari-hari. Transmutasi yang merupakan perubahan atau konversi satu unsur menjadi unsur lain merupakan bagian dari kimia nuklir, sebagai contoh transmutasi alami dari unsur radioaktif yang meluruh setelah waktu tertentu [2].

Fisika adalah ilmu yang mempelajari sifat dan fenomena alam atau gejala alam dan seluruh interaksi yang terjadi didalamnya[9]. Fisika menjadi dasar berbagai perkembangan ilmu dan teknologi. Keterkaitan iptek nuklir dengan pelajaran fisika antara lain reaksi inti, radiasi dan radioaktivitas.

Biologi adalah ilmu yang mempelajari mengenai kehidupan dunia dari segala aspek, yaitu makhluk hidup, lingkungan, ataupun interaksi antara makhluk hidup dengan lingkungan. Biologi radiasi dan biologi terapi terkait dengan iptek nuklir digunakan untuk kesehatan manusia.

## **METODOLOGI**

### **Metode**

Metode yang digunakan dalam studi adalah studi literatur, dan pengumpulan data hasil survei guru bidang sains dan siswa SMAN 2 Kota Tangerang Selatan. Dalam studi ini, variabel hasil analisis penerapan kurikulum berbasis nuklir yang ditinjau adalah metode yang paling baik untuk pengenalan iptek nuklir dan lama waktu belajar materi nuklir bagi guru dan siswa Sekolah Menengah Atas.

### **Lokasi**

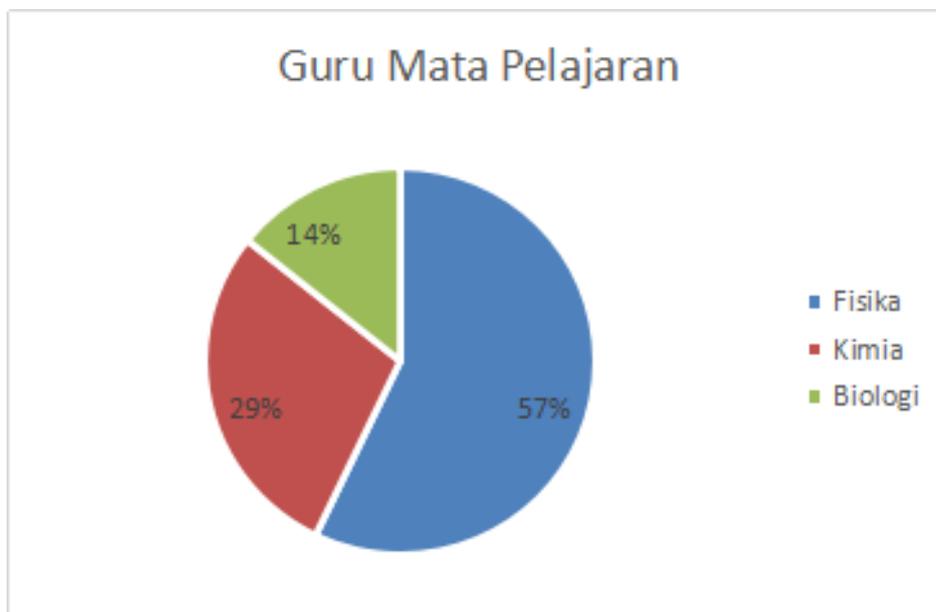
SMA Negeri 2 Kota Tangerang Selatan terletak di Jl. Raya Puspitex Muncul, Setu, Tangerang Selatan. Pada tahun 1986, berdasarkan SK Mendikbud RI Nomor 0887/0/29/1986, dengan nama SMA NEGERI 1 Serpong. Tahun 2004 nama sekolah berubah menjadi SMAN 1 Cisauk, kemudian berubah menjadi SMAN 2 Kota Tangerang selatan sejak tahun 2009. Sekolah ini mempunyai lahan seluas 10.676 m<sup>2</sup>, yang lokasinya berdampingan dengan Kawasan PUSPIPTEK (Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi) dan Kampus ITI (Institut Teknologi Indonesia).

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

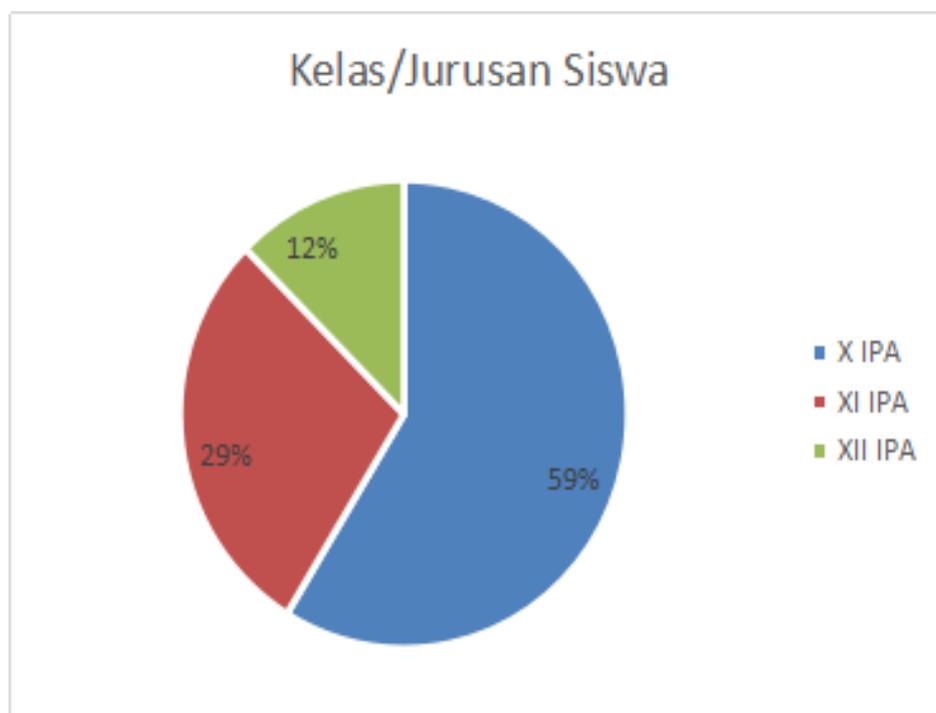
### **Profil Responden**

Responden berasal dari guru bidang sains sebanyak 7 orang dan siswa SMAN 2 Kota Tangerang Selatan sebanyak 80 orang. Komposisi responden untuk guru bidang sains adalah 57% Guru Bidang Fisika, 29% Guru Bidang Kimia, dan 14% Guru Bidang Biologi,

seperti terlihat pada Gambar 2. Sementara komposisi responden untuk siswa adalah 59% berasal dari kelas X IPA, 29% berasal dari kelas XI IPA, dan 12% berasal dari kelas XII IPA, seperti terlihat pada Gambar 3.

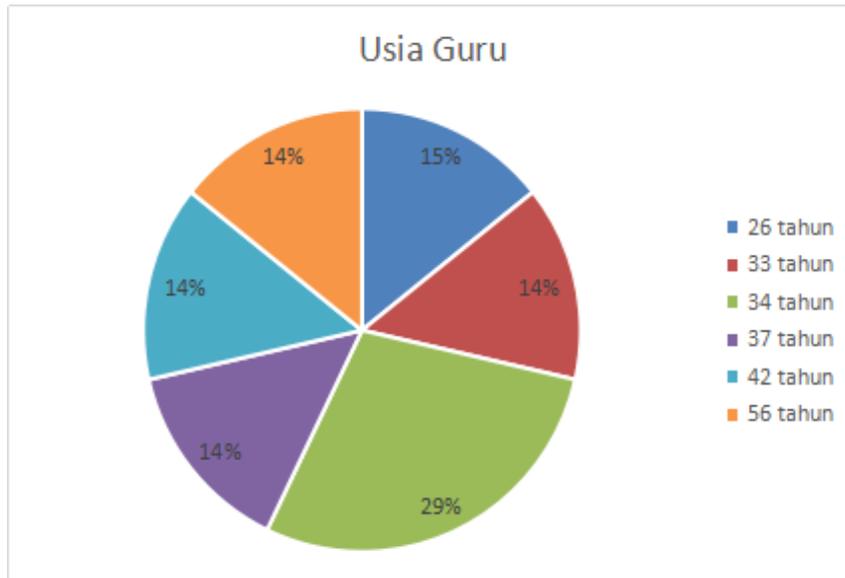


Gambar 2. Komposisi Responden Guru

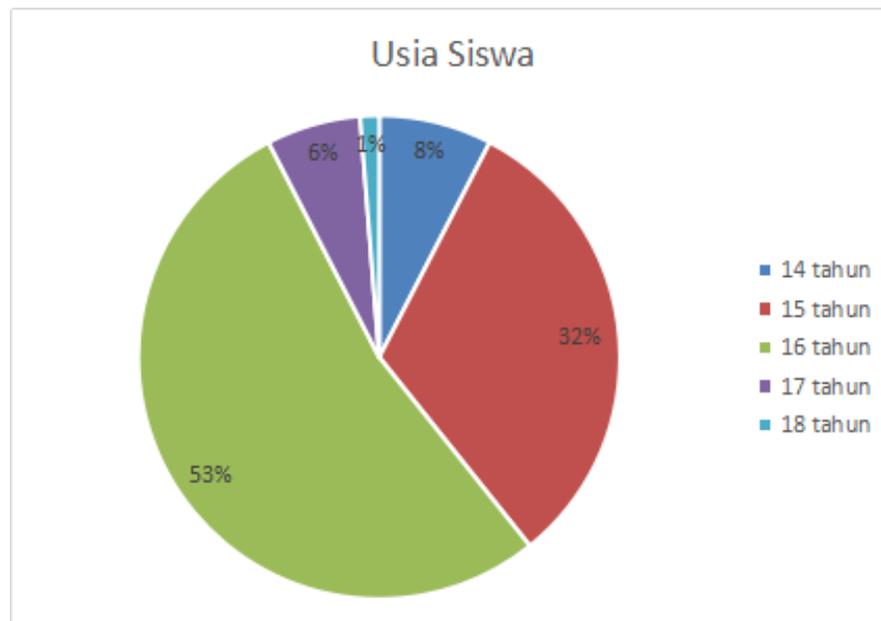


Gambar 3. Komposisi Responden Kelas/Jurusan Siswa

Rentang usia guru diantara 26 - 56 tahun, sementara untuk siswa berada diantara 14 - 18 tahun. Komposisi usia guru diperlihatkan pada Gambar 4 dan komposisi usia siswa diperlihatkan pada Gambar 5.



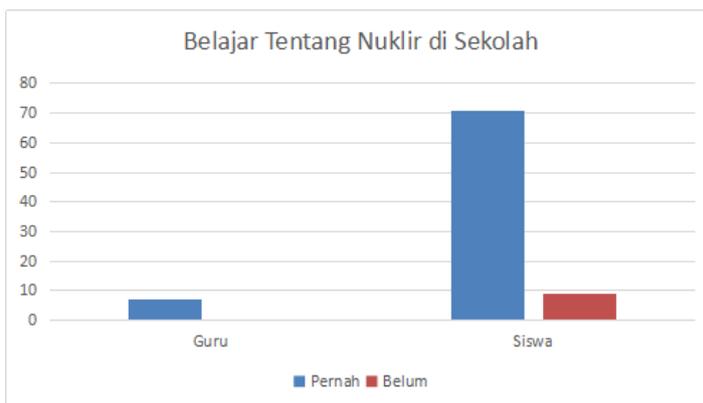
Gambar 4. Komposisi Usia Guru



Gambar 5. Komposisi Usia Siswa

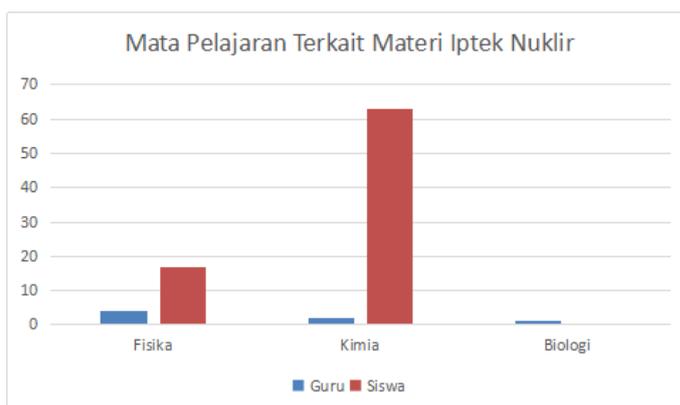
#### **Penerapan Kurikulum di SMAN 2 Kota Tangerang Selatan**

Berdasarkan hasil survei guru dan siswa SMAN 2 Kota Tangerang Selatan terhadap penerapan kurikulum, diketahui bahwa guru dan siswa sudah melaksanakan kegiatan belajar mengajar terkait iptek nuklir di sekolah (Gambar 6).



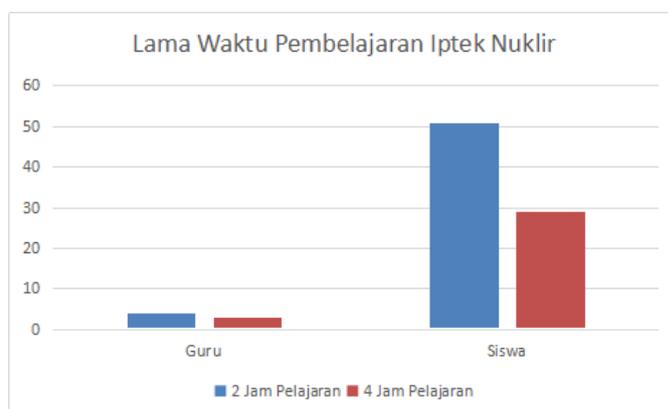
Gambar 6. Responden Belajar Iptek Nuklir di Sekolah

Kegiatan belajar mengajar yang terkait di sekolah, masuk dalam beberapa pelajaran sains. Berdasarkan hasil kuesioner dari guru SMAN 2 Kota Tangerang Selatan, pembelajaran tentang iptek nuklir paling banyak di pelajari pada mata pelajaran Fisika. Sementara para siswa SMAN 2 Kota Tangerang Selatan menyatakan bahwa pembelajaran nuklir banyak dipelajari pada mata pelajaran Kimia (Gambar 7). Perbedaan pendapat ini terjadi karena secara teori memang materi iptek nuklir banyak dipelajari di mata pelajaran Fisika. Tetapi bagi siswa penerapan materi iptek nuklir lebih banyak terdapat mata pelajaran Kimia.



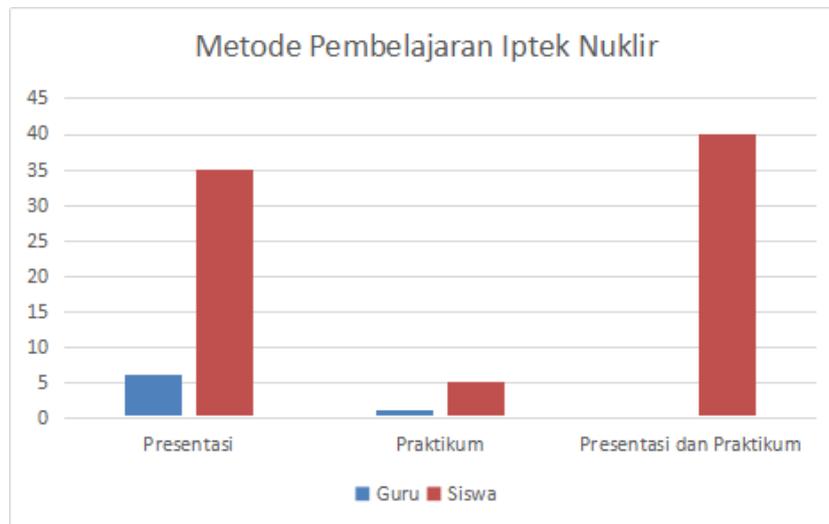
Gambar 7. Pernyataan Responden Terkait Materi Mata Pelajaran Iptek Nuklir

Hasil survei guru dan siswa SMAN 2 Kota Tangerang Selatan menyatakan bahwa waktu pembelajaran iptek nuklir yang efektif adalah 2 jam pelajaran. Meskipun sebagian menyebutkan bahwa butuh 4 jam pelajaran untuk pembelajaran iptek nuklir di sekolah (Gambar 8).



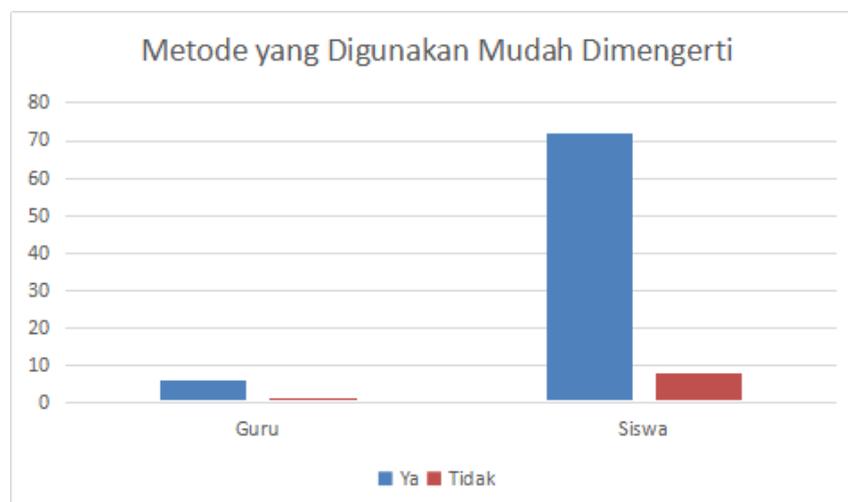
Gambar 8. Lama Waktu Pembelajaran Iptek Nuklir

Sebanyak 86% (6 orang) guru SMAN 2 Kota Tangerang Selatan menyatakan presentasi merupakan metode yang efektif untuk menjelaskan materi iptek nuklir di sekolah. Sementara 50% (40 orang) siswa SMAN 2 Kota Tangerang Selatan menyatakan presentasi dan praktikum sebagai metode yang paling efektif dalam proses pembelajaran iptek nuklir (Gambar 9).



Gambar 9. Metode Pembelajaran Iptek Nuklir

Dari metode pembelajaran tersebut, 86% (6 orang) guru SMAN 2 Kota Tangerang Selatan menyatakan metode presentasi mudah dimengerti oleh siswa. Selain itu, 90% (72) orang) siswa juga menyatakan bahwa metode presentasi yang digunakan mudah dimengerti (Gambar 10). Adanya interaksi yang baik antara guru dan siswa saat kegiatan pembelajaran iptek nuklir dapat meningkatkan pemahaman siswa mengenai iptek nuklir.



Gambar 10. Kemudahan Pengertian Responden Tentang Metode Presentasi

## KESIMPULAN

SMA Negeri 2 Kota Tangerang Selatan menjadi salah satu sekolah percontohan untuk penerapan kurikulum iptek nuklir di Sekolah Menengah Atas. Pembelajaran dengan materi iptek nuklir di SMAN 2 Kota Tangerang Selatan sudah diterapkan dengan jam pembelajaran selama 2 jam pelajaran. Metode pembelajaran yang efektif yaitu presentasi dan praktikum dengan prosentase 90 % dan metode ini juga dianggap efektif dan mudah dimengerti.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Diseminasi dan Kemitraan-BATAN dan Kepala Sekolah SMAN 2 Kota Tangerang Selatan serta Program Insinas Kemenristekdikti Flagship RDNK 2019 kegiatan WP 7.2 yang telah memfasilitasi dan membantu melakukan penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] BATAN, "Materi Iptek Nuklir dalam Kurikulum SMA, <http://www.batan.go.id/index.php/id/kedeputian/pendayagunaan-teknologi-nuklir/diseminasi-dan-kemitraan/2859-materi-iptek-nuklir-dalam-kurikulum-sma>, diakses Juni 2019.
- [2] MARIATI, "Konsep Dan Aplikasi Iptek Nuklir Di Sekolah Menengah Atas", Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan, Vo. 19, No. 1, Maret 2013.
- [3] Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, "Kurikulum 2013", Kongres XXI PGRI, Kongres Guru Indonesia, Jakarta, 2013.
- [4] Syaodih., Sukmadinata, Nana, "Pengembangan Kurikulum : Teori dan Praktik", PT. Remaja Rosdakarya. ISBN 9795146017. OCLC 1027855577, Bandung, 2000.
- [5] HAMALIK, OEMAR, "Manajemen Pengembangan Kurikulum", Bandung : PT. Remaja Rosdakarya, 2010.
- [6] SHOLEH HIDAYAT, "Pengembangan Kurikulum Baru", Bandung : PT. Remaja Rosda Karya, Bandung, 2013.
- [7] HAMRUNI, "Strategi dan Model-model Pembelajaran Aktif Menyenangkan", Yogyakarta: Fakultas Tarbiyah UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, 2009.
- [8] JOHN B. RUSSELL, "What is Chemistry", [http://chemweb.ucc.ie/what\\_is\\_chemistry.htm](http://chemweb.ucc.ie/what_is_chemistry.htm), diakses Juli 2019.
- [9] Pengertian Fisika dan kegunaannya", <https://pengertiandefinisi.com/pengertian-fisika-dan-kegunaannya/>, diakses Agustus 2019.

### DISKUSI/TANYA JAWAB:

#### 1. PERTANYAAN (Adi Wijayanto-PTLR BATAN):

Apakah dilakukan crosscheck responden dengan metode wawancara?  
Apakah ada minimal responden agar hasil survey dikatakan valid seperti slovin formula?

#### JAWABAN:

Crosscheck wawancara dilakukan kepada pengajar dan pihak sekolah.  
Minimal responden 10% dari keseluruhan.

## **EVALUASI WAKTU *START UP* PADA PROSES PENGURAIAN SAMPAH ORGANIK PASAR SECARA ANAEROBIK MENGGUNAKAN *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)***

**Rinjani Ratih Rakasiwi, Wivina Diah Ivontianti, Yeti Haryati**

*Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura, Jalan Prof.Dr.H. HadariNawawi, Pontianak, 78124*

*email: rinjani\_s@yahoo.com*

### **ABSTRAK**

**EVALUASI WAKTU *START UP* PADA PROSES PENGURAIAN SAMPAH ORGANIK PASAR SECARA ANAEROBIK MENGGUNAKAN *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR (CSTR)*.**Sampah organik pasar dapat diolah menjadi biogas melalui proses penguraian anaerobik. Penguraian anaerobik ini dipengaruhi oleh fase *start up* yaitu tahap awal penumbuhan bakteri anaerob sampai terbentuknya biogas dalam perombakan senyawa organik. Upaya mempersingkat waktu *start up* merupakan faktor penting dalam meningkatkan efisiensi sistem penguraian anaerobik secara kontinyu. Penelitian tentang evaluasi waktu *start up* pada proses peruraian sampah organik pasar secara anaerobik menggunakan *continuous stirred tank reactor (CSTR)* bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh substrat yang berasal dari sampah organik pasar terhadap waktu *start up* yang diperlukan pada reaktor CSTR. Fase *start up* dilakukan dalam sistem kontinyu yang terbagi atas dua siklus dengan kekentalan substrat yang berbeda. Untuk siklus pertama substrat yang dimasukkan lebih encer yaitu perbandingan antara substrat dan air adalah 1:1, sedangkan untuk siklus kedua, dilakukan *feeding* menggunakan substrat yang lebih kental dengan perbandingan antara substrat dan air adalah 2:1. Fase *start up* dilakukan hingga proses peruraian anaerobik berada pada fase stasioner. Analisis parameter pengamatan dilakukan dengan pengambilan sampel setiap 3 hari sekali untuk dilakukan analisis VS, dan metana, sedangkan pengukuran volume gas dan pH dilakukan setiap hari. Dari hasil evaluasi parameter pengamatan diketahui bahwa sebaiknya waktu *start up* yang untuk penguraian sampah organik pasar secara anaerobik menggunakan reaktor CSTR dilakukan berkisar 11-18 hari, karena apabila terlalu lama akan tercipta kondisi yang tidak optimum bagi bakteri dan sistem penguraian.

Kata kunci: anaerobik, CSTR, *start up*, substrat

### **ABSTRACT**

**EVALUATION OF *START UP* TIME IN ANAEROBIC MARKET ORGANIC WASTE DISPOSAL PROCESS USING *CONTINUOUS STIRRED TANK REACTOR*.**Market organic waste can be processed into biogas through the anaerobic decomposition process. Anaerobic decomposition is influenced by the start up phase, namely the initial stage of the growth of anaerobic bacteria until the formation of biogas in the overhaul of organic compounds. Efforts to shorten start-up time are an important factor in increasing the efficiency of anaerobic decomposition systems continuously. Research on evaluating start-up time in the anaerobic organic waste market process using the continuous stirred tank reactor (CSTR) aims to evaluate the effect of the initial substrate originating from market organic waste on the start-up time needed on the CSTR reactor. The start up phase is carried out in a continuous system that is divided into two cycles with different substrate thicknesses. For the first cycle the substrate that is added is thinner, the ratio between the substrate and water is 1: 1, while for the second cycle, feeding is carried out using a thicker substrate with a ratio between the substrate and water is 2: 1. The start up phase is carried out until the anaerobic decomposition process is in the stationary phase. Observation parameter analysis is done by taking samples every 3 days for VS, and methane analysis, while measurements of gas volume and pH are carried out every day. From the evaluation of the observational parameters it is known that the start-up time for anaerobic organic waste decomposition using a CSTR reactor should be done 11-18 days, because if it takes too long it will create conditions that are not optimum for bacteria and the decomposition system line.

*Keyword: anaerobic, CSTR, start up, substrate*

## PENDAHULUAN

Proses penguraian anaerobik merupakan proses produksi biogas melalui tahap perombakan bahan organik dengan bantuan bakteri anaerob. Salah satu bahan baku yang berpotensi untuk diolah menjadi biogas adalah sampah organik pasar. Proses penguraian anaerobik terjadi dalam 4 tahapan proses yaitu proses hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis [7]. Namun proses penguraian anaerobik ini sendiri memiliki beberapa kelemahan diantaranya laju pertumbuhan bakteri anaerob yang lambat sehingga berpengaruh pada kestabilan proses penguraian anaerobik [5]. Keberhasilan penguraian anaerobik dipengaruhi oleh beberapa faktor salah satunya yaitu fase *start up*. Fase *start up* merupakan tahap awal penumbuhan bakteri anaerob sampai terbentuknya biogas dalam perombakan senyawa organik [12]. Upaya mempersingkat waktu *start up* merupakan faktor penting dalam peningkatan efisiensi sistem penguraian anaerobik secara kontinyu [9]. Untuk mempersingkat fase *start up* dapat dilakukan dengan menggunakan air limbah berkonsentrasi rendah dan penambahan substrat sekunder atau inokulum [2].

Beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan proses *start up* diantaranya komposisi dan konsentrasi air limbah, ketersediaan inokulum, waktu tinggal (HRT), konfigurasi dan kondisi reaktor [18]. Kondisi reaktor memberikan pengaruh keberhasilan proses *start up* sering kali bergantung pada efektifnya pengadukan dan pencampuran substrat dalam proses tersebut. Pada penelitian ini dilakukan penguraian sampah organik secara anaerobik dengan menggunakan *continuous stirred tank reactor* (CSTR). CSTR atau disebut dengan reaktor tangki berpengaduk aliran kontinyu merupakan reaktor yang sebagian besar digunakan di industri kimia dan banyak digunakan dalam reaksi kimia organik [4]. Selain beroperasi dalam keadaan tunak, CSTR memiliki sistem kontrol otomatis sehingga tidak memerlukan banyak tenaga operator. Namun tetap saja masing-masing dari reaktor memiliki kemampuan dan kinerja yang berbeda dalam setiap kondisi operasi. Oleh karena itu penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi pengaruh substrat yang berasal dari sampah organik pasar terhadap waktu *start up* yang dibutuhkan pada reaktor CSTR.

## DASAR TEORI Biogas

Biogas adalah gas yang mudah terbakar (*flammable gas*) yang diperoleh dari penguraian senyawa-senyawa organik dalam biomassa sebagai akibat aktivitas mikroorganisme pada kondisi tanpa udara (*anaerobic*) [15]. Bahan utama hasil penguraian anaerobik yaitu metan ( $\text{CH}_4$ ) yang mencakup 60-70%, dengan gas sisa berupa  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , dan gas lain berupa  $\text{N}_2$  dan  $\text{H}_2$  [1]. Pembentukan biogas terjadi dalam 4 tahap yaitu hidrolisis, asidogenesis, asetogenesis dan metanogenesis. Hidrolisis merupakan tahapan awal peruraian anaerobik yaitu proses penguraian bahan organik dengan senyawa kompleks (lemak, protein dan karbohidrat) menghasilkan senyawa asam organik, glukosa, etanol,  $\text{CO}_2$  dan senyawa hidrokarbon lainnya. Sedangkan asidogenesis terjadi akibat adanya bakteri pembentuk asam yang disebut bakteri asidogen. Bakteri asidogen dapat melepaskan gas hidrogen,  $\text{H}_2\text{S}$  dan  $\text{CO}_2$ . Kemudian pada tahap asetogenesis terjadi penguraian dari produk asidogenesis oleh bakteri asetogen yang menghasilkan hidrogen,  $\text{CO}_2$  dan  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  (asetat). Lalu kemudian dilanjutkan pada proses metanogenesis dilakukan oleh bakteri metanogen seperti *methanococcus*, *methanosarcina*, dan *methanobacterium*. Produk yang dihasilkan pada tahap ini yaitu gas metan ( $\text{CH}_4$ ) dengan hasil lain berupa air,  $\text{CO}_2$  dan sejumlah kecil senyawa gas lain dengan reaksi kimia yang terjadi sebagai berikut [7]:

### Fase Start Up

Fase *start up* merupakan periode penumbuhan awal bakteri sampai menghasilkan sistem yang normal atau tunak (*steady state*), sehingga dapat dilakukan pemasukan substrat secara kontinyu (*continuous feeding*) [19]. Waktu *start up* merupakan pertimbangan utama dalam proses penguraian anaerobik secara kontinyu karena mikroorganisme anaerobik mempunyai laju pertumbuhan lambat, terutama bakteri metanogen dan sangat rentan terhadap perubahan lingkungan [10]. Oleh karena itu upaya mempersingkat fase *start up* merupakan faktor penting dalam peningkatan efisiensi sistem penguraian anaerobik secara kontinyu [9]. Beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan *start up* yaitu

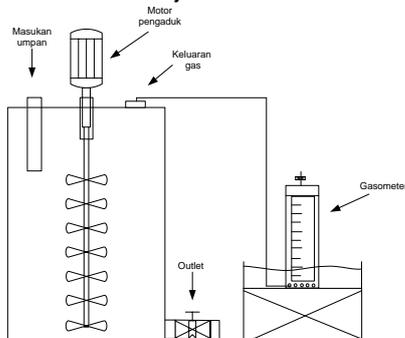
ketersediaan jumlah mikroorganisme awal, jenis substrat, komposisi dan konsentrasi substrat, serta kondisi reaktor [18].

Ketersediaan jumlah mikroorganisme awal dalam pembentukan biogas banyak terdapat dalam ekosistem anaerobik seperti mikroorganisme yang termasuk dalam famili *Bacteriodes*, *Fusobacterium*, dan *Streptococcus*. Sel mikroorganisme yang mengandung C, N, P dan S untuk penumbuhan mikroorganisme, unsur – unsur di atas harus ada pada sumber makanan (substrat). Konsentrasi substrat juga dapat mempengaruhi proses kerja mikroorganisme dalam fase *start up* [13]. Waktu *start up* dianggap cukup apabila laju degradasi bahan organik dan gas yang terbentuk sudah stabil [17].

## METODOLOGI

### Setting Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) Fase Start Up

Reaktor CSTR terbuat dari drum plastik berbahan *high density polyethylene* (HDPE) dengan volume total 250 L. Komponen yang terdapat pada reaktor CSTR terdiri dari komponen saluran masuk (*inlet*), saluran keluar (*outlet*), motor listrik dan pengaduk, serta saluran keluar biogas yang dihubungkan ke gasometer. Komponen saluran masuk (*inlet*) digunakan sebagai saluran masuk *starter* dan substrat awal serta digunakan pula sebagai saluran *feeding* pada pemasukan substrat berikutnya ke dalam reaktor. Substrat dan *starter* yang masuk ke dalam reaktor sebagai volume isian yaitu sebanyak 132 L. Substrat dan *starter* yang sudah masuk ke dalam reaktor akan dilakukan proses pengadukan selama 12 jam dengan interval pengadukan 15 menit *on* 2 jam *off* secara otomatis



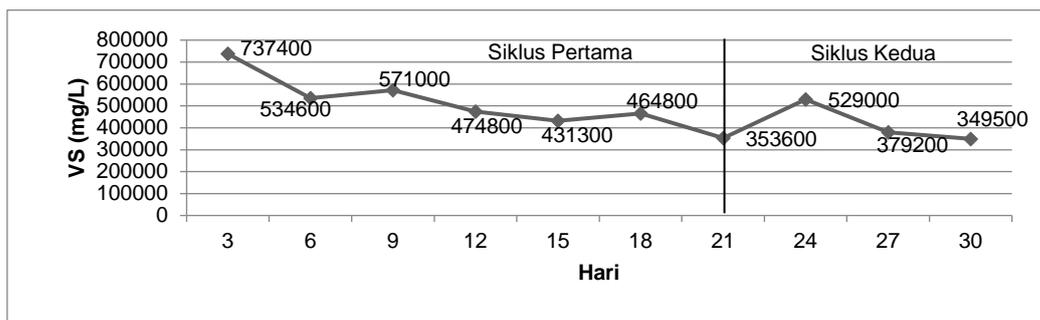
**Gambar 1.** Rangkaian alat penguraian anaerobik

Substrat yang digunakan dalam pengoperasian reaktor CSTR berasal dari sampah organik pasar yang terdiri dari limbah potong hewan, sampah sayur dan sampah buah. Sampah organik pasar tadi dihancurkan hingga menjadi bagian-bagian kecil menggunakan mesin *crusher*. Untuk *starter* sendiri ditambahkan air dengan perbandingan antara kotoran sapi dan air yaitu 1:1. Kemudian masukkan ke reaktor antara *starter* dan substrat dengan perbandingan 1:2. Fase *start up* dilakukan dalam sistem kontinyu yang terbagi atas dua siklus dengan kekentalan substrat yang berbeda. Proses *start up* untuk siklus pertama menggunakan sampah organik yang sudah diencerkan dengan air dengan perbandingan 1:1 yang kemudian dilakukan proses penguraian anaerobik hingga bakteri berada pada fase stasioner. Untuk siklus kedua, dilakukan *feeding* menggunakan substrat yang lebih kental untuk melihat ketahanan hidup bakteri sampai bakteri berada pada fase stasioner kembali. Pengambilan sampel dilakukan setiap 3 hari sekali pada pagi hari untuk dilakukan analisis VS dan metana. Sedangkan untuk analisis pH dan volume biogas dilakukan setiap hari.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengamatan Volatile Solid (VS)

*Volatile solid* merupakan nilai yang digunakan untuk mengetahui jumlah bahan organik yang terkandung pada substrat, yang dapat dikonversikan menjadi metana dan karbondioksida dalam proses anaerobik [8]. Nilai VS masing - masing siklus dapat dilihat gambar di bawah ini.



**Gambar 2.** Grafik Analisis VS

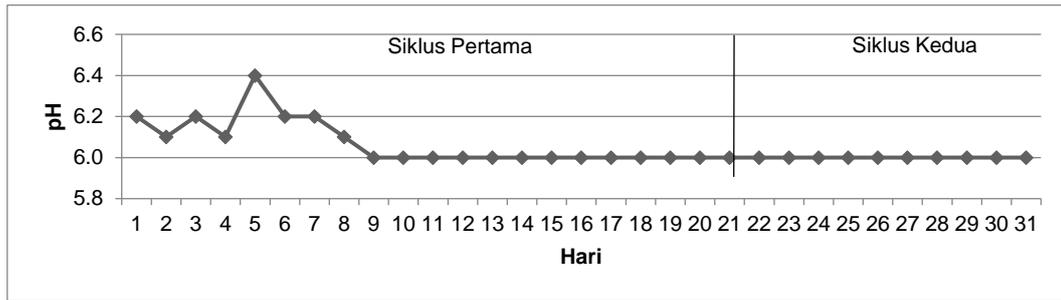
Dari grafik analisis VS di atas, siklus pertama terjadi penurunan nilai VS sebesar 383.800 mg/L. Penurunan nilai VS menunjukkan adanya aktivitas bakteri anaerob dalam menguraikan bahan organik. Bahan organik ini dikonsumsi oleh bakteri anaerob sebagai upaya memenuhi nutrisi dan kebutuhan bakteri untuk pertumbuhan dan bertahan hidup. Dalam waktu 21 hari nilai VS mengalami fluktuasi yaitu terjadi penurunan dan kenaikan nilai VS. Penurunan nilai VS terjadi pada hari ke-6, 12, 15 dan 21 yang terjadi karena adanya proses penguraian bahan organik menjadi biogas oleh bakteri anaerob [11]. Selain itu nilai VS juga mengalami kenaikan pada hari ke-9 dan 18, kenaikan ini terjadi karena adanya kemungkinan peristiwa lisis (pecahnya sel dan keluarnya cairan sel) yang berakibat sebagian bakteri yang mati ikut terhitung sebagai nilai VS. Nilai VS yang terukur terdiri dari bahan organik terlarut, biomassa aktif serta partikulat produk inert dari kematian dan pembusukan bakteri [18]. Dengan meningkatnya konsumsi bahan organik oleh bakteri berdampak pula pada nilai VS hari ke-21 yang ditandai dengan penurunan nilai VS yang sangat drastis. Penurunan nilai VS ini menandakan makanan bakteri telah habis, serta bakteri memasuki fase penurunan populasi atau kematian (*decline phase*). Karena penurunan nilai VS yang sangat drastis pada siklus ini, maka siklus pertama fase *start up* berakhir pada hari ke-21.

Fluktuasi nilai VS juga terjadi pada siklus kedua. Pada hari ke-24 setelah *feeding* kedua nilai VS mengalami kenaikan, hal ini dikarenakan adanya penambahan substrat baru yang segar dan lebih kental sehingga lebih banyak mengandung bahan organik. Sistem anaerobik di reaktor tidak mampu mengolah substrat pada siklus kedua karena setelah hari ke-18 bakteri mengalami penurunan populasi (memasuki fase kematian). Hal ini ditandai dengan peningkatan VS pada hari ke-24 dan tidak menurun secara signifikan hingga akhir siklus. Hingga pada hari ke-30, nilai VS mengalami penurunan kembali yang menandakan siklus kedua telah berakhir.

Dilihat dari nilai VS pada kedua siklus, rentang penurunan nilai VS dari awal siklus kedua sampai akhir tidak sebanyak siklus pertama, hal ini terjadi karena kemampuan bakteri dalam sistem peruraian yang sudah semakin lemah akibat terlalu lama kelaparan karena tidak mendapatkan asupan bahan organik yang cukup. Dari penelitian yang pernah dilakukan dengan menggunakan bahan baku *stillage*, waktu optimal untuk *start up* adalah 7-10 hari [9,19]. Jika *start up* dilakukan lebih panjang daripada batasan ini, bakteri yang sudah terbentuk akan mati. Hasil evaluasi pada penelitian ini, jika dilihat dari nilai VS siklus pertama dan siklus kedua dengan substrat yang sama, jika sistem penguraian akan dilanjutkan ke sistem kontinyu, siklus pertama sebaiknya berlangsung dalam waktu 11-18 hari. Karena jika melebihi hari tersebut, bakteri akan lapar akibat kurangnya asupan bahan organik, sehingga apabila diteruskan untuk ke siklus selanjutnya bakteri terlanjur banyak yang mati sehingga penguraian bahan organik menjadi tidak optimal.

### Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman (pH) merupakan tingkat keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu bahan. Proses penguraian anaerobik dapat berjalan dengan baik pada rentang pH 6 hingga pH 8 [16]. Pada Gambar dapat dilihat pH *slurry* setiap harinya.



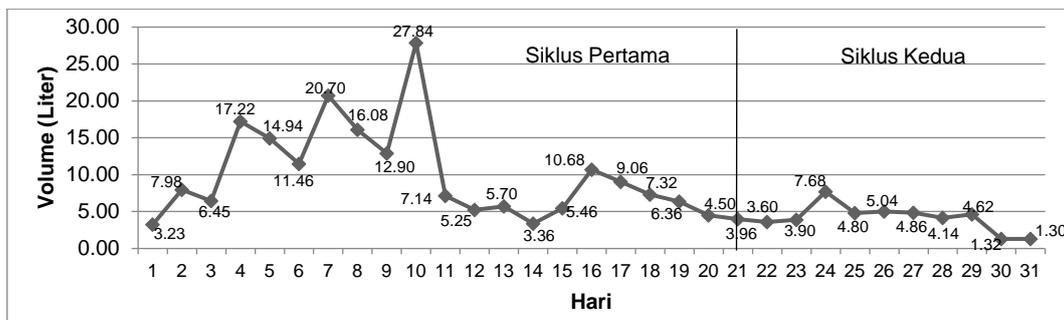
Gambar 3. Grafik Analisis pH

Dari gambar 5.2 di atas dapat dilihat bahwa terjadi fluktuasi nilai pH dari hari pertama hingga hari ke-21. Penurunan pH terjadi di siklus pertama pada hari ke-8 dengan angka 6,1. Kemudian terjadi penurunan pH kembali pada hari berikutnya hingga pH konstan 6,0 sampai berakhirnya siklus pertama. Penurunan pH setelah hari pertama menggambarkan terbentuknya tahap fermentasi / asidogenesis berindikasi bahwa bakteri yang bekerja didominasi bakteri asidogen yang memiliki pertumbuhan yang sangat cepat, sehingga menaikkan kadar keasaman [11]. Pada siklus kedua, tidak terjadi kenaikan maupun penurunan pH. Nilai pH tetap berada di angka 6,0 dari awal hingga berakhirnya siklus kedua. Penambahan substrat baru pada siklus kedua juga tidak mengindikasikan adanya perubahan pH. Nilai pH konstan pada siklus kedua disebabkan oleh bakteri asidogen dan metanogen memiliki kinerja dan jumlah populasi yang sama dalam sistem penguraian anaerobik tersebut. Bakteri asidogen dari hasil aktivitasnya akan menghasilkan asam lemak yang kemudian dikonversi oleh bakteri metanogen menjadi metana, sehingga kondisi asam yang telah terbentuk akibat proses asidogenesis dikembalikan menjadi basa akibat konversi asam menjadi metana oleh bakteri metanogen. Sehingga alkalinitas meningkat dan berakibat kenaikan pH hingga tercapainya kondisi pH yang stabil [14].

Dilihat dari hasil analisis pH kedua siklus, pH di siklus pertama mengalami fluktuasi akibat sistem penguraian yang belum stabil. Kondisi sistem yang belum stabil ini dipengaruhi oleh bakteri yang masih menyesuaikan diri dengan lingkungan penguraian serta populasi bakteri yang belum seimbang. Pada siklus pertama pertumbuhan dan aktivitas bakteri masih didominasi oleh bakteri asidogen yang ditandai dengan adanya penurunan pH. Kemudian pada siklus kedua, pH konstan dari awal hingga siklus kedua berakhir. Kondisi ini diakibatkan oleh bakteri asidogen dan metanogen memiliki populasi yang seimbang, serta kinerja bakteri yang stabil, yang menyebabkan pH tidak mengalami perubahan nilai. Namun kondisi sistem penguraian pada siklus pertama dan kedua akan mengalami gangguan apabila bakteri kekurangan asupan makanan. Sehingga hasil evaluasi untuk pH siklus pertama dan kedua, bahwa waktu *start up* sebaiknya dilakukan berkisar 11-18 hari untuk menghindari nilai pH yang berada di luar rentang angka 6-8 yang menyebabkan sistem penguraian anaerobik terganggu akibat bakteri mengalami kematian.

### Volume Biogas

Volume biogas dihasilkan oleh kedua siklus adalah sebanyak 248,85 L. Data produksi biogas per hari dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 4. Grafik volume biogas

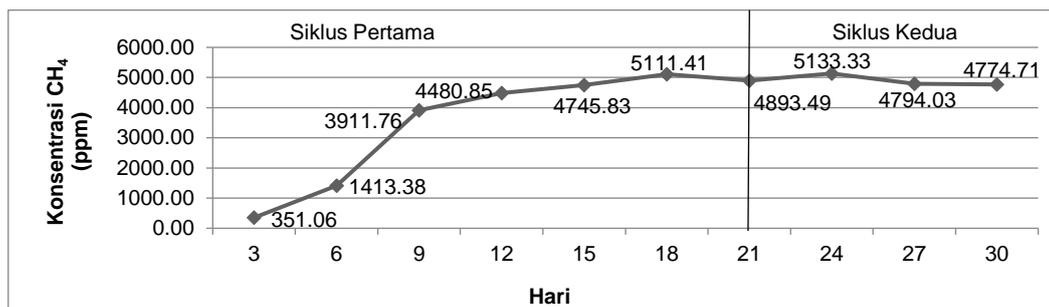
Dari grafik di atas diketahui bahwa volume biogas pada siklus pertama fase *start up* mengalami fluktuasi. Akumulasi volume biogas siklus pertama yaitu 207,59 L, dengan volume biogas terbanyak ditunjukkan pada hari ke-10 yaitu 27,84 L. Peningkatan volume biogas pada hari ke-10 disebabkan oleh bakteri yang terdapat pada sistem penguraian melakukan proses metabolisme atau pemecahan bahan organik dengan melepaskan sejumlah gas-gas seperti CO<sub>2</sub>, sehingga adanya akumulasi antara metana dan CO<sub>2</sub> yang menyebabkan volume biogas bertambah pada hari tersebut. Pada hari ke-10 bakteri berada dalam fase pertumbuhan (*lag phase*). Selama fase ini pembiakan bakteri berlangsung cepat, sel-sel membelah diri dan jumlahnya meningkat seiring dengan bertambahnya waktu. Beberapa bakteri pada fase ini biasanya menghasilkan senyawa metabolit primer, seperti karbohidrat dan protein [6]. Produksi biogas mengalami penurunan pada hari ke-20, dengan volume yang dihasilkan yaitu 2,58 L dan merupakan volume terkecil pada siklus pertama. Penurunan produksi biogas pada hari ke-20 terjadi karena ketersediaan bahan organik yang semakin sedikit hal ini dapat dilihat dari hasil analisis VS dari hari ke-18 sebesar 409.300 mg/L menjadi 266.200 mg/L pada hari ke-21. Karena populasi bakteri yang tidak diimbangi dengan ketersediaan bahan organik maka bakteri mengalami kekurangan makanan yang menyebabkan produksi biogas pada hari ke-20 mengalami penurunan (Gamayanti, dkk.,2012).

Pada siklus kedua, produksi biogas tidak mengalami lonjakan volume yang lebih tinggi dibandingkan dengan siklus pertama. Akumulasi volume biogas pada siklus kedua sebanyak 41,26 L dengan volume biogas tertinggi terjadi pada hari ke-24 sebesar 7,68 L dan volume terendah pada hari ke-31 yaitu 1,30 L. Peningkatan volume biogas yang terjadi di hari ke-24 dipengaruhi oleh penambahan substrat segar pada hari ke-21. Penambahan substrat segar kedalam sistem penguraian pada siklus kedua memberikan tambahan bahan organik sebagai asupan makanan bagi bakteri, sehingga aktivitas bakteri semakin meningkat yang berdampak volume biogas meningkat pula. Hal sebaliknya berlaku untuk hari ke-31, dimana volume biogas semakin menurun. Penurunan produksi biogas pada hari ke-31 disebabkan oleh ketersediaan bahan organik yang mulai berkurang yang mengakibatkan bakteri mulai kelaparan sehingga aktivitas bakteri dalam menghasilkan biogas juga berkurang.

Perbedaan akumulasi volume biogas pada sistem penguraian kedua siklus terjadi karena perbedaan kekentalan substrat yang digunakan Substrat dengan kandungan air yang lebih banyak menghasilkan volume biogas yang lebih banyak begitu pula sebaliknya, substrat dengan kandungan air yang sedikit menghasilkan biogas dengan volume yang sedikit pula [11]. Berdasarkan data evaluasi volume biogas dari kedua siklus, pada siklus pertama akumulasi volume biogas sebesar 205,67 L merupakan volume biogas terbesar, hal ini disebabkan oleh susbstrat segar yang digunakan jauh lebih banyak dan waktu penguraian yang lebih panjang yaitu 88 L dan waktu 21 hari. Sebaliknya siklus kedua menggunakan substrat segar 8,8 L dan waktu penguraian berlangsung selama 10 hari. Namun pada siklus pertama waktu penguraian belum optimal sebab, pada hari ke-21 terlanjur banyak bakteri yang mati karena kekurangan asupan bahan organik sebagai makanan yang berakibat terganggunya sistem penguraian untuk dilanjutkan ke siklus selanjutnya. Oleh karena itu, agar sistem penguraian berlangsung dengan optimal sebaiknya siklus pertama berlangsung berkisar 11-18 hari. Selain itu pengaruh kekentalan substrat juga berdampak pada akumulasi volume biogas. Biogas dengan perbandingan 1:1 antara substrat dan air pada siklus pertama, menghasilkan volume biogas yang lebih banyak dibandingkan dengan siklus kedua dengan perbandingan substrat dan air yaitu 2:1.

#### **Analisis Metana (CH<sub>4</sub>)**

Pada pembuatan biogas, metana merupakan komponen penting yang menunjukkan kualitas biogas yang dihasilkan. Semakin banyak kandungan metana yang dihasilkan maka semakin bagus kualitas biogas tersebut. Konsentrasi metana pada siklus pertama dan kedua dapat dilihat pada gambar 5.4. di bawah ini.



**Gambar 5.** Grafik Konsentrasi CH<sub>4</sub>

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan konsentrasi metana sebesar 4.542,43 ppm pada siklus pertama. Kenaikan konsentrasi metana ini terjadi karena adanya aktivitas bakteri anaerob selama proses penguraian. Pada awal proses penguraian konsentrasi metana jauh lebih kecil nilainya dibandingkan dengan konsentrasi metana pada akhir siklus pertama. Konsentrasi metana dari hari ke-3 sampai hari ke-9 mengalami kenaikan sebesar 3.560,70 ppm. Pada rentang hari tersebut bakteri berada pada fase pertumbuhan (*log phase*), dimana pada fase ini terjadi pertumbuhan dan perkembangan bakteri yang sangat cepat dan jumlahnya bertambah banyak, oleh karena itu rentang hari ke-3 hingga ke-9 konsentrasi metana mengalami lonjakan kenaikan yang sangat besar. Kemudian dari hari ke-9 sampai hari ke-18, kenaikan konsentrasi metana tidak mengalami lonjakan yang begitu tinggi yaitu sebesar 1.199,65 ppm. Pada rentang hari tersebut bakteri berada pada fase pertumbuhan statis, dimana jumlah bakteri yang membelah diri sama dengan jumlah bakteri yang mati [6]. Oleh karena itu konsentrasi metana tidak mengalami kenaikan yang lebih besar dari pada fase *lag*. Pada hari ke-21 konsentrasi metana pada siklus pertama mengalami penurunan, bakteri pada hari ke-21 berada pada fasa penurunan populasi (*decline phase*). Penurunan populasi ini diakibatkan beberapa bakteri yang mati akibat kekurangan asupan bahan organik.

Meningkatnya konsentrasi metana dari waktu ke waktu juga dipengaruhi oleh lamanya waktu tinggal bakteri yang didukung dengan tersedianya bahan organik di dalam reaktor. Konsentrasi metana pada siklus kedua mengalami kenaikan pada hari ke-24 yaitu sebesar 5.133,33 ppm, kemudian mengalami penurunan pada hari ke-27 dan hari ke-30 hingga siklus kedua berakhir. Konsentrasi metana setiap siklus tidak lepas dari pengaruh kandungan bahan organik dan pH di dalam sistem penguraian anaerobik. Bahan organik atau dalam penelitian ini dinyatakan dalam nilai VS, memiliki keterkaitan dimana besarnya nilai VS berbanding terbalik dengan konsentrasi metana. Dilihat dari grafik analisis VS, jika ditarik garis lurus dari awal hingga akhir penelitian, nilai VS mengalami penurunan. Hal sebaliknya terjadi pada grafik konsentrasi metana, dimana dari awal hingga akhir penelitian konsentrasi metana mengalami kenaikan. Artinya semakin lama bakteri dan bahan organik tinggal disuatu sistem penguraian anaerobik nilai VS akan semakin turun dan konsentrasi metana akan semakin naik seiring berjalannya waktu hingga mencapai konsentrasi tertinggi. Setelah konsentrasi tertinggi dicapai, konsentrasi metana mulai mengalami penurunan.

Volume biogas dan konsentrasi metana mengalami kenaikan nilai seiring berjalannya waktu hingga tercapai nilai tertinggi. Setelah nilai tertinggi tercapai keduanya mulai mengalami penurunan. Volume biogas yang tinggi tidak dapat dijadikan patokan bahwa konsentrasi metana yang dihasilkan juga tinggi. Sebab, bahan organik yang diubah oleh bakteri tidak sepenuhnya dikonversi menjadi gas metana, tetapi ada gas – gas lain yang ikut terbentuk seperti CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>, yang kemudian ikut terakumulasi sebagai volume biogas. Berdasarkan hasil evaluasi konsentrasi metana dari kedua siklus dan analisis hubungan antara konsentrasi metana dengan nilai VS, pH dan volume biogas, sebaiknya waktu *start up* berkisar 11-18 hari. Karena apabila terlalu lama akan tercipta kondisi yang tidak optimum bagi bakteri, salah satunya yaitu bakteri akan kekurangan bahan organik sebagai sumber makanan yang menyebabkan bakteri kelaparan dan memasuki fase kematian.

## KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan yaitu sebaiknya waktu *start up* untuk penguraian sampah organik pasar secara anaerobik

menggunakan reaktor CSTR dilakukan berkisar 11-18 hari, karena apabila terlalu lama akan tercipta kondisi yang tidak optimum bagi bakteri dan sistem penguraian

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada DIPA Fakultas Teknik UNTAN, selaku penyandang dana, serta semua pihak yang telah ikut serta membantu dalam penelitian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agusman, D., Rifky, dan A.K. Buono. 2017. Pengaruh *Starter Ragi* dalam Proses Pembentukan Biogas Limbah Buah. *Jurnal Seminar Nasional TEKNOKA*: 2. ISSN: 2502-8782.
- [2] Alkarimiah, R., S.B. Mahat, A. Yuzir, M.F.M. Din, dan S. Chelliapan. 2011. *Performance of An Innovative Multi-stage Anaerobic Reactor During Start-up Period*. *African Journal Of Biotechnology*. 10(54):11294-11302.
- [3] Aulia, H.N., Widayat, dan S.B. Sasongko. 2013. Pengaruh Konsentrasi Umpan dan Temperatur Awal pada Reaksi Transesterifikasi Biodisel Berbantuan Ultrasonik dari Minyak Goreng secara Kontinyu. *Jurnal Momentum*: 9(1). Hal: 57.
- [4] Budianto, G.P.I. dan W.A.A Sudjarwo. 2017. Pengaruh Penambahan Vermiculite Termodifikasi Cu<sup>2+</sup> sebagai Media Imobilisasi Bakteri Anaerob pada Produksi Biogas terhadap Parameter Kinetika. *Jurnal Eksergi*: 14(2). Hal: 18.
- [5] Dewi, F.A., B.A. Kurnani, dan E.T. Marlina. 2016. Potensi *Sludge* Biogas Feses Sapi Perah Sebagai Sumber Bakteri Anaerob Penghasil Gas Metana.
- [6] Harahap, I.V. 2007. Uji Beda Campuran Kotoran Sapi dengan Beberapa Jenis Limbah Pertanian terhadap Biogas yang Dihasilkan. *Skripsi Jurusan Teknologi Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara*
- [7] Irvan, I. Suraya, H. Tiarasti, B. Trisakti, R. Hasibuan, dan Y. Tomiuchi. 2012. Pembuatan Biogas dari Berbagai Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit. *Jurnal Teknik Kimia USU*: 1(1). Hal: 45.
- [8] Ivontianti, W.D., W. Budhijanto, dan S. Syamsiah. 2016. Evaluasi Waktu *Start Up* pada Proses Penguraian *Stillage* secara Anaerobik Menggunakan Reaktor *Fixed Bed* dengan Zeolit sebagai Media Imobilisasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan"*. ISSN 1693-4393.
- [9] Khanal, S.K. 2008. *Biotechnology for Bioenergy Production: Principles and Application*. University of Hawai'i Manoa. Wiley-Blackwell, John Wiley and Sons Publication.
- [10] Ni'mah, L. 2014. *Biogas From Solid Waste Of Tofu Production and Cow Manure Mixture: Composition Effect*. *Jurnal Teknik Kimia*: 1(1). Hal: 1-9. ISSN 2355-8776.
- [11] Rahmita, N., N. Aida, dan N. Syefira. 2014. Modul Digester Anaerobik. Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung.
- [12] Rosyidah, A. 2016. Pengaruh Variasi Konsentrasi Bioaktivator dan Lama Fermentasi Terhadap Peningkatan Volume Biogas dan Kadar Gas Metan dari Limbah Cair Tepung Ikan. *Skripsi Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri, Maulana Malik Ibrahim Malang*.
- [13] Susilo, F.A.P., B. Suharto, dan L.D. Susanawati. 2015. Pengaruh Variasi Waktu Tinggal Terhadap Kadar BOD dan COD Limbah Tapioka dengan Metode *Roating Biological Contactor*. *Jurnal Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. Hal: 21-26.
- [14] Sutrisno, Nelson, dan T. Sumarsono. 2015. Pengolahan Sampah Organik Pasar Angso Duo Jambi menjadi Biogas Bagi Masyarakat Sekitar. *Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*: 30(3). Hal: 53.
- [15] Tricia, M.I., I. Widiastuti, dan S. Lestari. 2017. Uji Potensi Eceng Gondok (*Eichhornia crassipes*) dengan Jeroan Ikan Patin (*Pangasius sp.*) dan Kotoran Kuda. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*: 6(1). Hal: 57.
- [16] Wagiman. 2007. Identifikasi Potensi Produksi Biogas dari Limbah Cair Tahu dengan Reaktor *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB). *Jurnal Bioteknologi*: 4(2). Hal: 41-45.
- [17] Weiland, P. and A. Rozzi. 1991. *The Start up, Operation and Monitoring of High-rate Anaerobic Treatment System: Discussers' Report*. *Water Sci. Technol*; 24: 152-158.
- [18] Widhyasih, K., W. Budhijanto, dan C.W. Purnomo. 2016. Evaluasi Waktu *Start Up* pada Proses Penguraian *Stillage* secara Anaerobik Menggunakan Reaktor *Fluidized*

*Bed Kontinyu dengan Zeolit sebagai Media Imobilisasi. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan". ISSN 1693-4393.*

**DISKUSI/TANYA JAWAB:**

**1. PERTANYAAN (Susetyo Trijoko-PKSEN BATAN):**

Berapa waktu paling efektif untuk pemulihannya?

**JAWABAN:**

Tergantung outputnya dan sampah utuh.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

## DAFTAR INDEKS PENULIS MAKALAH

- A. Bayu Purnomo, 419  
Abdul Rahman Alfarasyi, 31  
Abimanyu Bondan W. S., 157, 163, 187  
Ade Awalludin, 109  
Adhi Nugraha, 413  
Adi Fitra Djaja, 387  
Adi Wijayanto, 509  
Adin Sudirman, 299  
Adityo Darmawan Sudagung, 39  
Agus Waluyo, 313  
Anwar Budiarto, 291  
Ari Nugroho, 265  
Arief Tris Yuliyanto, 11, 71, 249  
Assef Firnando Firmansyah, 491  
Azizul Khakim, 181, 313
- Bambang Pujiono, 461  
Budi Kaliwanto, 435  
Budi Suhendro, 273
- Catur Febriyanto S., 367  
Citra Candranurani, 117, 233
- Dedi Hermawan, 445  
Dedy Priambodo, 71, 151, 413  
Denissa Beauty Syahna, 63, 71, 151  
Dharu Dewi, 117, 249, 329  
Diah Hidayanti Sukarno, 357  
Diana Anidza Fikri, 273  
Dicky Tri Jatmiko, 137  
Dwi Irwanti, 321, 397
- Edwaren Liun, 117, 413  
Eko Rudi Iswanto, 143, 187  
Eli Sri Rezeki Nur Adyah, 517  
Elisabeth Ratnawati, 137  
Elok S. Amitayani, 81, 101  
Erni Yuniarti, 241  
Estelita Felicia G. M. T., 509  
Euis Etty A., 143, 173  
Evans Azka F., 205  
Ewitha Nurulhuda, 71
- Falikul Fikri, 321  
Firsta Rekayasa Hernovianty, 241  
Fitriana Meilasari, 281
- Gatot Wurdianty, 503
- Hadi Suntoko, 71, 143, 163, 187, 195, 223  
Hanifa, 397  
Hanna Yasmine, 1  
Harini Wahyuningrum, 425, 435  
Hendri Sutrisno, 281  
Heni Susiati, 143, 173, 195, 223
- Hermawan Candra, 503  
Hilary Reinhart, 475  
Holnisar, 503
- I. Aeni Muharromah, 461  
Ika Wahyu Setya Andani, 1  
Imam Bastori, 213, 329, 339  
Imam Hamzah, 71, 151  
Indarzah, 23
- Jazid U. Namir, 299  
Jepri Sutanto, 419  
Jupiter Sitorus Pane, 305
- Khairul Handono, 23  
Khusnul Khotimah, 1  
Koes Indrakoesoema, 299  
Kristina Anggi Pudan Sitorus, 483  
Kusdiana, 205
- Laili Farah, 233  
Leli Nirwani, 205  
Lilis Suryani, 531  
Lucian Dascalescu, 525
- M. Awwaluddin, 265  
M. Gading Permadi, 137  
Makbul Anwari, 387  
Moch. Djoko Birmano, 127, 249  
Muadinna, 57  
Mudjiono, 143, 249, 413  
Muji Listyo Widodo, 241
- Nafsiatun, 469  
Nelly Wahyuni, 525  
Nur Hasanah, 453, 475  
Nurlaila, 11, 213  
Nuryanti, 81, 101
- Pradika Wibowo, 517  
Priyo Saptomo, 469
- R Djoko Andreas, 31  
Rahkmat Hidayat, 425  
Rahmiana Aclandea, 39  
Reinaldy Nazar, 305  
Reno Alamsyah, 377  
Rinjani Ratih Rakasiwi, 517, 539  
Ristiana Dwi Hastuti, 531  
Rizki Firmansyah S. B., 257  
Rr. Arum Puni Rijanti, 117, 249, 453  
Rudi Kurnianto, 525  
Rustama, 249
- Siti Alimah, 49, 143, 413, 531  
Slamet Suryanto, 63, 71, 195

Sri Agustin, 397  
Sri Rezeki, 483  
Sri Sudadiyo, 265  
Sufiana Solihat, 89  
Sunarko, 63, 71, 151, 173, 223  
Sunarto, 1  
Susetyo Trijoko, 491  
Susyadi, 249  
Syaifurrahman, 57

Tagor Malem Sembiring, 49  
Taswanda Taryo, 249  
Thami Zeghloul, 525  
Theo Alvin Ryanto, 71, 163, 187  
Topan Setiadipura, 291  
Totok Yatimantoro, 223  
Tri Wicaksono, 387  
Trijoko Sulistiyo, 49  
Tukiman, 23

Ulfa D. Umar, 299  
Usman A. Gani, 57

Wahyu Widyastuti, 425  
Wijanarko, 291  
Wiku Lulus Widodo, 257, 329  
Wiryono, 109  
Wivina Diah Ivontianti, 483, 539

Yadi Yunus, 273  
Yanuar Z. Arief, 387  
Yeti Haryati, 539  
Yogi Sugiawan, 321, 349  
Yopa Eka Prawatya, 525  
Yuliasuti, 157  
Yuni Indrawati, 71  
Yuri Garini, 349



**PUSAT KAJIAN SISTEM ENERGI NUKLIR  
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL**



9 772621 312039