

ISSN : 2355-7524



batan

PROSIDING

**SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI ENERGI NUKLIR
(SENTEN) 2017**

Makassar, 12 Oktober, 2017

BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL (BATAN)
Deputi BATAN Bidang Teknologi Energi Nuklir
UNIVERSITAS HASANUDDIN
Fakultas Teknik

ISSN: 2355-7524

PROSIDING SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI ENERGI NUKLIR 2017

Makassar, 12 Oktober 2017



BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir

Fakultas Teknik – Universitas Hasanuddin

Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir

2017

DEWAN EDITOR/PENILAI

Ketua:
Dr. Ir. Pande Made Udiyani, M.Si – BATAN
Sekretaris:
Dra. Heni Susiati, M.Si. – BATAN
Dr. Mulya Juarsa – BATAN
Anggota:
Dr. Ir. Hendro Tjahjono – BATAN
Ir. DT Sony Tjahyani, M.Eng. – BATAN
Arya Adhyaksa Waskita, M.Si. – BATAN
Drs. Sahala Maruli Lumbanraja – BATAN
Dr. Ir. Budi Setiawan, M.Eng. - BATAN
Dr. Sigit Santoso – BATAN
Yuliasuti, M.Si. – BATAN
Ngadenin, ST. – BATAN
Drs. M. Najib – BATAN
Dr. Dede Sutarya – BATAN
Dr. Faizal Arya Samman – UNHAS
Siti Hijraini, ST., MT. – UNHAS
Dr. Jalaluddin – UNHAS
Dr. Ary Subagya – UNHAS
Dr. -Ing. Sihana – UGM
<i>Tim Prosiding: Suwoto, Sufiana Solihat, Ihda Husnayani</i>

KATA PENGANTAR

Pertama dan yang paling utama, kami panjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas petunjuk dan karunia-Nya, sehingga Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir (SENTEN) 2017 dengan tema **Kontribusi Teknologi Energi Nuklir Bagi Kemandirian dan Keberlanjutan Pembangunan Nasional** dapat diselesaikan dan diterbitkan.

Prosiding ini merupakan dokumentasi karya tulis ilmiah para pemakalah seminar yang telah dipresentasikan pada acara Seminar Nasional yang ke-4 tentang Teknologi Energi Nuklir (SENTEN-2017) yang diselenggarakan pada hari Kamis, 12 Oktober 2014 di Fakultas Teknik Kampus Gowa – Universitas Makassar yang dibuka secara resmi oleh Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Prof. Dr. Djarot Sulistio Wisnubroto. Seminar tersebut terselenggara atas kerjasama antara Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN - BATAN), Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN-BATAN), Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN-BATAN), Pusat Teknologi Limbah radioaktif (PTLR-BATAN), Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir (PTBGN-BATAN) dengan Fakultas Teknik - Universitas Hassanudin, Himpunan Masyarakat Nuklir Indonesia (HIMNI) dan Himpunan Peneliti Indonesia cabang BATAN.

Panitia menerima sebanyak 77 makalah teknis dari berbagai instansi. Setelah melalui seleksi dan evaluasi oleh Dewan Editor, Panitia memutuskan sebanyak 68 makalah dapat diterima untuk dipresentasikan dalam *Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2017*. Hasil seleksi ulang dan evaluasi oleh Dewan Editor terhadap makalah yang dipresentasikan, Dewan Editor memutuskan sebanyak 60 makalah dapat diterbitkan dalam Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2017. Ke 60 makalah tersebut terdiri dari: 57 makalah dari BATAN, masing-masing 1 makalah dari BAPETEN dan Universitas Hasanuddin Makassar dan Politeknik Negeri Fakkaf Papua Barat.

Diharapkan penerbitan prosiding ini dapat memberi manfaat dan dijadikan sebagai rujukan dalam penelitian dan pengembangan, khususnya yang terkait dengan teknologi energi nuklir di Indonesia. Kami mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang terlibat dalam penyusunan dan penerbitan prosiding ini.

Kami menyadari bahwa prosiding ini jauh dari sempurna, untuk itu segala saran dan kritik kami harapkan demi perbaikan prosiding pada terbitan berikutnya. Akhirnya kami berharap semoga prosiding ini bermanfaat.

Jakarta, 03 November 2017

DEWAN EDITOR

EDITOR



KEPUTUSAN
KEPALA BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
NOMOR: 76/KA/III/2017
TENTANG
PENYELENGGARAAN SEMINAR NASIONAL
TEKNOLOGI ENERGI NUKLIR TAHUN 2017 DAN PEMBENTUKAN PANITIA

KEPALA BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL,

- Menimbang :**
- a. bahwa dalam rangka meningkatkan pengetahuan mengenai teknologi dan keselamatan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir serta fasilitas nuklir guna memasyarakatkan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang reaktor daya, maka perlu menyelenggarakan Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir Tahun 2017;
 - b. bahwa untuk ketertiban dan kelancaran penyelenggaraan Seminar sebagaimana dimaksud pada huruf a, maka perlu dibentuk Panitia;

- Mengingat :**
1. Peraturan Presiden Nomor 46 Tahun 2013 tentang Badan Tenaga Nuklir Nasional (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2013 Nomor 113);
 2. Keputusan Presiden Nomor 72/M Tahun 2012;
 3. Peraturan Kepala BATAN Nomor 14 Tahun 2013 tentang Organisasi dan Tata Kerja Badan Tenaga Nuklir Nasional sebagaimana telah diubah dengan Peraturan Kepala BATAN Nomor 16 Tahun 2014;

MEMUTUSKAN:

Menetapkan : **KEPUTUSAN KEPALA BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL**
TENTANG PENYELENGGARAAN SEMINAR NASIONAL
TEKNOLOGI ENERGI NUKLIR TAHUN 2017 DAN PEMBENTUKAN
PANITIA.



- 2 -

- KESATU : Menyelenggarakan Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir (SENTEN) Tahun 2017 yang selanjutnya dalam Keputusan ini disebut Seminar, pada tanggal 12 – 13 Oktober 2017, bertempat di Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Sulawesi Selatan.
- KEDUA : Seminar diselenggarakan dengan 2 versi bahasa yaitu bahasa Indonesia dan bahasa Inggris.
- KETIGA : Membentuk Panitia Penyelenggara Seminar yang selanjutnya dalam Keputusan ini disebut Panitia, dengan susunan seperti tersebut dalam Lampiran Keputusan ini.
- KEEMPAT : Segala biaya yang diperlukan untuk penyelenggaraan Seminar dibebankan pada:
- a. DIPA Satuan Kerja Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir Tahun Anggaran 2017, Nomor: SP DIPA-080.01.1.535368/2017, tanggal 7 Desember 2016, Kode Kegiatan 3438; dan
 - b. DIPA Satuan Kerja Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir Tahun Anggaran 2017, Nomor: SP DIPA-080.01.1.450310/2017, tanggal 7 Desember 2016, Kode Kegiatan 3450.
- KELIMA : Panitia wajib memberikan laporan mengenai penyelenggaraan Seminar dan pertanggungjawaban keuangan kepada Kepala BATAN selambat-lambatnya 1 (satu) bulan setelah Seminar berakhir.
- KEENAM : Keputusan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Jakarta
pada tanggal 22 Maret 2017

Salinan sesuai dengan aslinya,

KEPALA BIRO SUMBER DAYA
MANUSIA DAN ORGANISASI,



HADI SUSILO^w

KEPALA BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

-ttd-

DJAROT SULISTIO WISNUBROTO



LAMPIRAN

KEPUTUSAN KEPALA BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

NOMOR : 76/KA/III/2017

TANGGAL : 22 MARET 2017

SUSUNAN PANITIA PENYELENGGARA SENTEN TAHUN 2017

I. Pelindung	:	1. Prof. Dr. Djarot Sulistio Wisnubroto	-BATAN
		2. Prof. Dwia Aries Tina Pulubuhu	-UNHAS
II. Pengarah	:	1. Ir. Suryantoro, M.Si.	-BATAN
		2. Prof. dr. Budu, PhD.	-UNHAS
		3. Prof. Dr. Ir. Junaedi Muhidong, M.Sc.	-UNHAS
		4. Dr. Ing. Ir. Wahyu H. Piarah MSME	-UNHAS
III. Penanggung Jawab	:	1. Dr. Geni Rina Sunaryo, M.Sc	-BATAN
		2. Yarianto Sugeng Budi Susilo, M.Si	-BATAN
		3. Prof. Dr. Ridwan	-BATAN
		4. Ir. Agus Sumaryanto, M.S.M.	-BATAN
		5. Ir. Husen Zamroni	-BATAN
IV. Penyelenggara	:		
Ketua Umum	:	Dr. Syaiful Bakhri	-BATAN
Wakil Ketua 1	:	Mudjiono, S.Si.	-BATAN
Wakil Ketua 2	:	Dr. R. Mohammad Subekti	-BATAN
Sekretaris 1	:	Sofia Loren Butar-Butar, M.Sc.	-BATAN
Sekretaris 2	:	Elok Satiti Amitayani, S.Si., MT.	-BATAN
Bendahara 1	:	Avinda Permatasari, SE.	-BATAN
Bendahara 2	:	Raden Setyo Weniarto, SE.	-BATAN



- 2 -

Seksi-seksi :

a. Acara dan Persidangan:

1. Dr. Mulya Juarsa (koordinator) - BATAN
2. A.Amijoyo Mukhtar - UNHAS
3. Anis Rohanda, M.Si. - BATAN
4. Dr. Topan Setiadipura - BATAN
5. Abimanyu Bondan Wicaksono Setiaji, ST. - BATAN

b. Humas, Perizinan dan Informasi (*Website*):

1. Dinan Andiwijayakusuma, M.Si. (koordinator) - BATAN
2. Dimas Irawan, S.Si - BATAN
3. Rr. Arum Puni Rijanti, S.ST. MT. - BATAN

c. Prosiding dan Distribusi *Reviewer*:

1. Ir. Suwoto (koordinator) - BATAN
2. Agus Nur Rahman, S.ST. - BATAN
3. Sufiana Solihat, ST. - BATAN

d. Perlengkapan dan Dokumentasi:

1. Ir. Sriyono (koordinator) - BATAN
2. Ristian Sapaat, A.Md. - BATAN
3. Arham, SE. - UNHAS

e. Konsumsi: 1. Yeni Supriyati (koordinator)

2. Meity Purwantini - BATAN
3. Kaharuddin - UNHAS

f. Umum dan Transportasi:

1. Alim Mardhi, S.T. - BATAN
2. Imam Hamzah - BATAN
3. Amiruddin, S.T. - UNHAS

g. Protokoler: 1. Helmi Setiawan, S.Sos (koordinator)

2. Abdul Hafid, S.T. MT. - BATAN
3. D. Suharman Hamzah - UNHAS

h. Ekshibisi: 1. Ir. Sungkono, MT. (koordinator)

2. Anik Purwaningsih, S.Si. - BATAN
3. Azwar Hayat, Ph.D. - UNHAS



- 3 -

V. Dewan Editor :

a. Sesi Bahasa Indonesia:

Ketua	: Dr. Ir. P. Made Udiyani, M.Si.	- BATAN
Sekretaris 1	: Dra. Heny Susiati, M.Si.	- BATAN
Sekretaris 2	: Dr. Mulya Juarsa	- BATAN
Anggota	: 1. Dr. Ir. Hendro Tjahjono	- BATAN
	2. Dr. Sigit Santoso	- BATAN
	3. Ir. Damianus Toersiwi Sony Tjahyani, M.Eng.	- BATAN
	4. Arya Adhyaksa Waskita, M.Si.	- BATAN
	5. Drs. Sahala Maruli Lumban Raja	- BATAN
	6. Yuliasuti, M.Si.	- BATAN
	7. Dr. Dede Sutarya	- BATAN
	8. Ngadenin, S.T.	- BATAN
	9. Drs. M. Najib	- BATAN
	10. Dr. Ir. Budi Setiawan, M.Eng.	- BATAN
	11. Siti Hijraini Nur, S.T., M.T.	- UNHAS
	12. Dr. Faizal Arya Samman	- UNHAS
	13. Dr. Jalaluddin	- UNHAS
	14. Dr. Ary Subagia	- UNUD
	15. Dr. Ing Sihana	- UGM

b. Sesi Bahasa Inggris:

Ketua	: Dr. Geni Rina Sunaryo, M.Sc.	- BATAN
Sekretaris 1	: Dr. Julwan Hendry Purba	- BATAN
Anggota	: 1. Prof. Dr. Djarot Sulistio Wisnubroto	- BATAN
	2. Prof. Dr. Nesimi Ertugrul	- Australia
	3. Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge	- UNHAS
	4. Prof. Dr. Akio Gofuku	- JAPAN
	5. Prof. Dr. Ing. Nandy Putra	- UI
	6. Prof. Dr. Nguyen Trung Tinh	- Vietnam
	7. Prof. Dr. Jung Jae-cheon	- Korea

8.



-4-

- | | |
|------------------------------------|----------------|
| 8. Prof. Dr. Ridwan | - BATAN |
| 9. Prof. Dr. Ir. Dedi Priadi, DEA. | - UI |
| 10. Dr. Hadid Subki | - IAEA |
| 11. Mr. Frederik Reitsma | - IAEA |
| 12. Dr. Jim Kuijper | - Netherlands |
| 13. Dr. Mark Mitchell | - South Africa |
| 14. Dr. Mike Davies | - UK |
| 15. Dr. Kunihiro Nabeshima | - Japan |
| 16. Dr. Alexander Agung | - UGM |
| 17. Dr. Sun Jun | - China |
| 18. Dr. Phongphaeth Pengvanich | - Thailand |
| 19. Dr. Sidik Permana | - ITB |
| 20. Dr. Deendarlianto | - UGM |

KEPALA BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL,

-ttd-

Salinan sesuai dengan aslinya,

KEPALA BIRO SUMBER DAYA
MANUSIA DAN ORGANISASI,

DJAROT SULISTIO WISNUBROTO



HADI SUSILO

DAFTAR ISI

	halaman
Dewan Editor	ii
Kata Pengantar	iii
SK. Ka BATAN tentang Penyelenggaraan Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2017	iv
Daftar Isi	x

MAKALAH PESERTA

1. THE CONDENSING STEAM TURBINE CASE STUDY FOR A 10 MW_{th} EXPERIMENTAL POWER REACTOR	1
<i>Sri Sudadiyo, Syaiful Bakhri, Geni Rina Sunaryo</i>	
2. CHANNEL ANALYSIS OF OPERATION POWER FLUCTUATION FOR AP1000 REACTOR	9
<i>Muh. Darwis Isnaini, Deswandri, Geni Rina Sunaryo</i>	
3. EFFECT OF F / M RATIO AGAINST OF NEUTRON FLUX DISTRIBUTION ON THE HTGR-10 MWTH PEBBLE BED CORE	17
<i>Hery Adrial, Zuhair, Suwoto, Syaiful Bakhri, Geni Rina Sunaryo</i>	
4. PRELIMINARY STUDY TOPREDICTION OF OXIDATION GRAPHITE SHELL FUEL OF HTGRON ATWS CONDITION.	29
<i>Elfrida Saragi, Geni Rina Sunaryo, Syaiful Bakhri</i>	
5. DATABASE SYSTEM DEVELOPMENT FOR OPERATION PARAMETER OF RSG-GAS BASED ON WEB	37
<i>Mike Susmikanti, Aep Saepudin, Adrian Soulisa, M. Subekti, Geni Rina Sunaryo</i>	
6. DEVELOPMENT OF ANALYSIS METHOD OF INFRARED THERMOGRAPHY FOR ELECTRICAL COMPONENT AGING MANAGEMENT	49
<i>Sudarno, Kussigit Santosa, Kiswanta, Deswandri, Geni Rina Sunaryo</i>	
7. THE ON-GOING PROGRESS OF INDONESIA'S EXPERIMENTAL POWER REACTOR 10 MW (RDE-10) AND NATIONAL RESEARCH ACTIVITIES	57
<i>Taswanda Taryo, Rokhmadi, Syaiful Bakhri, Geni Rina Sunaryo</i>	
8. THE ANALYSIS OF THE POWER QUALITY OF THE TRANSFORMER BHT03 OF MULTIPURPOSE RESEARCH REACTOR G.A. SIWABESSY DURING THE 30 MW OPERATION	69
<i>Abdul Hafid, Teguh Sulisty, Syaiful Bakhri, Geni Rina Sunaryo</i>	
9. PENGARUH PERLAKUAN PANAS PASCA PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK SA533-B1 SEBAGAI MATERIAL BEJANA TEKAN PWR	77
<i>S. Nitiswati, Andryansyah, Mudi Haryanto, Darlis, Deswandri, Geni Rina Sunaryo</i>	
10. ANALYSIS OF PRESSURE LOSS IN CHANNEL EXPERIMENTAL FACILITY	83
<i>Kiswanta, Sudarno</i>	

11.	SIMULASI PERUBAHAN TEMPERATUR BERDASARKAN VARIASI DAYA DAN ALIRAN PADA HEATER KONTAK LANGSUNG UNTAI FASSIP MENGGUNAKAN SOFTWARE ChamCAD versi 6.4.1	91
	<i>Edy Sumarno, Mulya Juarsa, Joko P.W, Deswandri, Geni Rina Sunaryo</i>	
12.	ANALISIS KEMAMPUAN PERTUKARAN KALOR TANGKI COOLER BERDASARKAN PERBEDAAN ARAH ALIRAN UNTAI HEAT SINK SYSTEM	101
	<i>Giarno, Joko Prasetio Witoko, Mulya Juarsa, Deswandri, Geni Rina Sunaryo</i>	
13.	DEVELOPMENT OF INSTRUMENTATION AND CONTROL SYSTEM AT CREEP MACHINE USING LABVIEW SOFTWARE	109
	<i>Kussigit Santosa, Sudarno. Agus Nur Rahman, Kiswanta, Geni Rina Sunaryo, Deswandri</i>	
14.	SENSITIVITY AND UNCERTAINTY ANALYSIS OF J INTEGRAL CALCULATION OF THE RELIABILITY ASSESSMENT OF REACTOR PRESSURE VESSEL	115
	<i>Entin Hartini, Roziq Himawan, Abdul Hafid, Deswandri, Geni Rina Sunaryo</i>	
15.	MODIFIKASI PRE-HEATER MENJADI PRE-COOLER PADA UNTAI UJI BETA	123
	<i>Joko Prasetio W, Dedy H, Mulya Juarsa, Edy Sumarno, Geni Rina Sunaryo, Deswandri</i>	
16.	RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR TEKANAN PADA UNTAI HSS FASSIP BERBASIS LABVIEW.	131
	<i>Sumantri Hatmoko, Kussigit Santosa, Agus Nur Rachman, G. Bambang Heru, Deswandri, Geni Rina Sunaryo</i>	
17.	EFFECT OF CHLORIDE ION AND COPPER ION FOR TANK MATERIAL INTEGRITY OF RSG GAS PRIMARY COOLING SYSTEM	141
	<i>Rahayu Kusumastuti, Sumaryo, Sriyono, Sofia L. Butarbutar, M.Subekti, Geni Rina Sunaryo</i>	
18.	MONITORING TEGANGAN LDR MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA-2560 BERBASIS LabVIEW UNTUK PENGUKURAN KERAPATAN AEROSOL	147
	<i>G. Bambang Heru K, Alim Mardi, Joko P, Edy S, Deswandri, Geni R Sunaryo</i>	
19.	EFFECT OF TEMPERATURE TO ADSORPTION CAPACITY AND DISTRIBUTION COEFFICIENT ON RARE EARTH ELEMENTS ADSORPTION (Y, Dy, Gd) USING SIR	155
	<i>Dwi Biyantoro, Agus Taftazani, Aswati Mindaryani, Supranto, Nofriady Aziz</i>	
20.	STUDI PERENCANAAN ENERGI KELISTRIKAN KALIMANTAN TIMUR DENGAN OPSI NUKLIR	167
	<i>Wiku Lulus Widodo, Rizki Firmansyah Setya Budi</i>	
21.	ANALISIS KEKUATAN MEKANIK ALAT BANTU ULTRASONIK UNTUK PEMERIKSAAN BEAM TUBE RSG-GAS	175
	<i>Dedy Haryanto, Almira Citra Amelia, Aep Saepudin Catur</i>	
22.	PEMBUATAN SILIKON KARBIDA MONOLITIK DAN KARAKTERISTIKNYA	183
	<i>Futichah, Deni Mustika, Heri Hardiyanti, Pranjono, Isfandi, Jan Setiawan</i>	
23.	PROYEKSI NERACA ENERGI INDONESIA HINGGA TAHUN 2060	189
	<i>Edwaren Liun</i>	
24.	MANAJEMEN KONSTRUKSI REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL	199

	<i>Mudjiono, Erlan Dewita, Dedy Priambodo</i>	
25.	EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE STRENGTH OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL SS304	209
	<i>Andryansyah, Mudi H, Arismunandar P S, Darlis, Dwijo M, Deswandri, Geni R. Sunaryo</i>	
26.	PENENTUAN PENUMBRA PADA RADIOGRAFI BENDA BERGERAK	217
	<i>Zaenal Abidin, Angga Fernando, Djoko Marjanto</i>	
27.	ASPEK DEMOGRAFI Mendukung Kegiatan Pra-Survei Tapak PLTN di Bareleng (Batam, Rempang, Galang), Kepri	223
	<i>June Mellawati, Siti Alimah</i>	
28.	PERKIRAAN BIAYA EKSTERNAL DARI Fasilitas Nuklir RDE	231
	<i>Sufiana Solihat, Wiku Lulus Widodo</i>	
29.	ANALISIS Distribusi Temperatur Kanal Terpanas Teras Reaktor Triga Bandung Berbahan Bakar Pelat Menggunakan Program CFD	241
	<i>V. Indriati Sri Wardhani, Henky P. Rahardjo dan Surip Widodo</i>	
30.	GAMBARAN Penerapan Penilaian Diri dalam Pencapaian Budaya Keselamatan (Studi Kasus di Batam)	253
	<i>Farida Tusafariah, Deswandri, Arie Budianti</i>	
31.	ANALISIS Potensi Likuifaksi di Tapak Reaktor Daya Eksperimental Serpong	261
	<i>Eko Rudi Iswanto, Heri Syaeful, Sriyana</i>	
32.	KAJIAN Keselamatan Tapak RDE Berdasarkan Survei Pedologi di Kawasan Puspiptek Serpong, Provinsi Banten	271
	<i>Hadi Suntoko, Heni Susiati</i>	
33.	ANALISIS Pengaruh Waktu Konstruksi Terhadap Kelayakan Finansial Proyek PLTN SMR di Indonesia dengan Pendekatan Probabilistik	283
	<i>Nuryanti, Suparman, Sufiana Solihat</i>	
34.	DETEKSI Cacat Sampel Las Material SA533-B1 Bejana Tekan dengan Metode Uji Tak Rusak	293
	<i>Mudi Haryanto, Sri Nitiswati, Andryansyah, Deswandri, Geni Rina Sunaryo</i>	
35.	ANALISIS Spasial Tataruang Program RDE di Kawasan Puspiptek, Serpong	301
	<i>Heni Susiati, Hadi Suntoko, Sriyana, Habib Subagio</i>	
36.	CLEARING HOUSE Teknologi Nuklir Berbasis Standardisasi: Studi Kasus pada Assessment Teknologi Reaktor Nuklir Generasi IV	313
	<i>I Wayan Ngarayana, Sigit Santosa</i>	
37.	STUDI Dampak Pembuangan Konsentrat Desalinasi RO terhadap Biota Perairan Manggar	321
	<i>Siti Alimah, Heni Susiati, June Mellawati</i>	
38.	PERFORMANCE EVALUATION OF Adhoc Protocols: AODV and DSDV for Mobile Node Requirement Using NS-2	331
	<i>A. A. Waskita, D. Andiwijayakusuma, Deswandri, Geni R. Sunaryo</i>	

39.	PEMANTAUAN METEOROLOGI PADA CALON TAPAK PLTN DI DESA SEBAGIN PULAU BANGKA	339
	<i>Denissa Beauty Syahna, Kurnia Anzhar, Slamet Suryanto</i>	
40.	DESAIN DASHBOARD UNTUK Mendukung PROSES PENGAMBILAN KEPUTUSAN PEMASANGAN KAPASITOR DAYA PADA SALURAN 20 KV DI SEKITAR WILAYAH PLTN	347
	<i>Rizki Firmansyah Setya Budi, Wiku Lulus Widodo</i>	
41.	FAKTOR PENYEBAB PENUNDAAN KONSTRUKSI PLTN DI DUNIA SEBAGAI PEMBELAJARAN UNTUK PEMBANGUNAN PLTN DI INDONESIA	357
	<i>Dharu Dewi</i>	
42.	PEMANTAUAN GEMPA MIKRO DI CALON TAPAK PLTN MURIA JAWA TENGAH TAHUN 2015.	369
	<i>Hajar Nimpuno Adi, Kurnia Anzhar</i>	
43.	KAJIAN IMPLEMENTASI PLTN DI INDONESIA: PEMBELAJARAN DARI NEGARA PENDATANG BARU	379
	<i>Sahala Maruli Lumbanraja, Rr. Arum Puni Rijanti</i>	
44.	ANALISIS STABILITAS SISTEM KELISTRIKAN BATAM DENGAN PENAMBAHAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR	389
	<i>Citra Candranurani, Arief Tris Yuliyanto, Elok Satiti A, Rizki Firmansyah S.B, Rr. Arum Puni Rijanti</i>	
45.	PEMBUATAN SUMBER RADIOISOTOP ¹³⁷Cs SEBAGAI STANDAR KALIBRASI PADA SPEKTROMETER GAMMA	397
	<i>Aslina Br.Ginting, Yanlinastuti, Boybul, Arif Nugroho, Dian A, Gatot W, Hermawan</i>	
46.	MOLTEN SALT REACTOR (MSR) DENGAN DAUR BAHAN BAKAR THORIUM	407
	<i>Erlan Dewita, Sriyana</i>	
47.	KOREKSI VARIASI HARIAN UNTUK SURVEI GEOMAGNETIK DI DAERAH POTENSI URANIUM DAN THORIUM, MAMUJU SULAWESI BARAT	419
	<i>Dwi Haryanto, Adhika Junara Karunianto</i>	
48.	ANALISA DATA GEOMAGNETIK: STUDI KASUS DI WILAYAH CALON TAPAK RDE PUSPIPEK-SERPONG DAN SEKITARNYA	427
	<i>Adhika Junara Karunianto, Dwi Haryanto, Fakhri Muhammad</i>	
49.	STUDI PENGARUH TEMPERATUR BAHAN BAKAR PADA KRITIKALITAS REAKTOR HOMOGENMENGUNAKAN SCALE	437
	<i>Arif Isnaeni</i>	
50.	STUDI KETERSEDIAAN THORIUM UNTUK MENINGKATKAN KEAMANAN ENERGI NUKLIR	449
	<i>Abimanyu Bondan, Siti Alimah, Hadi Suntoko</i>	
51.	KAJIAN SISTEM MANAJEMEN DOSIS PADA DAUR ULANG ZAT RADIOAKTIF TERBUNGKUS CESIUM-137 YANG SUDAH TIDAK DIGUNAKAN	457
	<i>Suhaedi Muhammad, Susyati, Rr. Djarwanti RPS</i>	
52.	ANALISIS DATA RADIOMETRI SEKTOR LEMAJUNG, KALAN, KALIMANTAN BARAT	463

	<i>Heri Syaeful, Suharji, Dhatu Kamajati</i>	
53.	KARAKTERISASI HASIL IMOBILISASI ZEOLIT YANG MENGANDUNG LIMBAH THORIUM	473
	<i>Gustri Nurliati, Yuni K. Krisnandi</i>	
54.	ASSESSMENT OF THE RADIOLOGICAL IMPACT OF THE WASTE TREATMENT FOR HID LAMPS CONTAINING KR-85 AND TH-232	479
	<i>Moch Romli, Suhartono</i>	
55.	PENGAMBILAN LOGAM TANAH JARANG DALAM PASIR SENOTIM	489
	<i>Tri Handini, Sri Sukmajaya</i>	
56.	RANCANG BANGUN OMNIWHEEL ROBOT SEBAGAI SASARAN TEMBAK DINAMIS	495
	<i>Kamaruddin, Amiruddin, Rafiuddin Syam</i>	
57.	POLIGON KECEPATAN DAN POLIGON PERCEPATAN END EFFECTOR PADA RANCANG BANGUN ROBOT PENGANGKUT PAKAN AYAM BROILER	509
	<i>Ruslan Bauna, Rafiuddin Syam, Hairul Arsyad, Amiruddin</i>	
58.	PENENTUAN IN HOUSE STANDARD LOGAM TANAH JARANG	517
	<i>Mutia Anggraini, Samin, Budi Yuli Ani, Kurnia Setiawan W</i>	
59.	IDENTIFIKASI KETERDAPATAN THORIUM PADA ENDAPAN LATERIT BAUKSIT DI DAERAH NANGA TAYAP – SANDAI, KABUPATEN KETAPANG, KALIMANTAN BARAT	527
	<i>Widodo, Putri Rahmawati, Ngadenin</i>	
60.	PEMBUATAN MIKROHIDRO UNTUK MENUNJANG KEGIATAN PENELITIAN DI KAWASAN INSTALASI NUKLIR KALAN, KALBAR	537
	<i>Slamet, Singgih Andy Nugroho, Ahmad Dayani, Eddy Soesanto</i>	
	DAFTAR INDEKS PENULIS MAKALAH	549

THE CONDENSING STEAM TURBINE CASE STUDY FOR A 10 MW_{th} EXPERIMENTAL POWER REACTOR

Sri Sudadiyo, Syaiful Bakhri, Geni Rina Sunaryo

Center for Nuclear Reactor Technology and Safety, BATAN
Kawasan PUSPIITEK Building 80, Serpong, Tangerang 15310
Telp/Fax: (021)7560012/(021)7560913, E-mail : sudadiyo@batan.go.id

ABSTRACT

THE CONDENSING STEAM TURBINE CASE STUDY FOR A 10 MW_{th} EXPERIMENTAL POWER REACTOR. A 10 MW_{th} Experimental Power Reactor (RDE) cooling system integrates helium blower cycle as primary circuit and steam turbine cycle as secondary circuit. This system can achieve higher thermal efficiency and mechanical power through proper utilization of energy by minimizing the energy loss towards a minimum. In this study, effect of the condensing steam turbine operational load such as steam pressure, condenser pressure, and turbine inlet temperature on power output and thermal efficiency of RDE is investigated. Outcome of this study can be utilized in order to simplify RDE's conceptual design with preferable values of efficiency and power. A Cycle-Tempo simulation has been carried out to study effects of the above mentioned parameters on steam turbine cycle. Various components of primary and secondary circuits are modeled including steam generator, blower, pump, condenser, turbine and generator. On this paper, turbine types of SST-60, SST-100, SST-111, SST-300, and SST-600 are used for simulation. Conservation method is proposed to solve equations of mass, momentum and energy for obtaining flow properties of helium in blower cycle and water/steam in turbine cycle. For a case of SST-100, simulation results offer values of turbine efficiency 92.26 %, optimum thermal efficiency 25.5 %, and mechanical power 3650.52 kW under blower speed 3255 rpm. Components characteristics of steam generator, condenser, and pump are also shown by presenting good results for attainable performance.

Keywords: 10 MW_{th} RDE, Rankine cycle, steam turbine, condenser, efficiency

ABSTRAK

STUDI KASUS TURBIN UAP KONDENSASI UNTUK REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL 10 MW_{th}. Sistem pendingin Reaktor Daya Eksperimental (RDE) 10 MW_{th} mengintegrasikan siklus blower helium sebagai sirkuit primer dan siklus turbin uap sebagai sirkuit sekunder. Sistem ini dapat mencapai efisiensi termal dan tenaga mekanis yang lebih tinggi melalui pemanfaatan yang tepat dari energi dengan meminimalkan kehilangan energi menuju minimum. Dalam penelitian ini, pengaruh beban operasional turbin uap kondensasi seperti tekanan uap, tekanan kondensor, dan temperatur masuk turbin terhadap keluaran daya dan efisiensi termal RDE diinvestigasi. Hasil studi ini dapat dimanfaatkan untuk menyederhanakan desain konsep RDE dengan nilai efisiensi dan tenaga lebih sesuai. Simulasi Cycle-Tempo telah dilakukan untuk meneliti pengaruh parameter yang disebutkan di atas pada siklus turbin uap. Berbagai komponen dari sirkuit primer dan sekunder dimodelkan termasuk generator uap, blower, pompa, kondensor, turbin dan generator. Pada makalah ini, jenis turbin SST-60, SST-100, SST-111, SST-300, dan SST-600 digunakan untuk simulasi. Metode konservasi digunakan untuk menyelesaikan persamaan massa, momentum dan energi untuk memperoleh sifat aliran helium dalam siklus blower dan air/uap dalam siklus turbin. Untuk kasus SST-100, hasil simulasi memberikan nilai efisiensi turbin 92,26 %, efisiensi termal optimum 25,5 %, dan tenaga mekanis 3650,52 kW pada putaran blower 3255 rpm. Karakteristika komponen dari generator uap, kondensor, dan pompa juga ditunjukkan dengan menampilkan hasil yang baik untuk kinerja yang dicapai.

Kata kunci: RDE 10 MW_{th}, siklus Rankine, turbin uap, kondensor, efisiensi

INTRODUCTION

The cooling technology of RDE utilizes helium in primary circuit and water/steam in secondary circuit as working fluids to achieve efficient, reliable, and economical power generation [1]. Primary circuit has a source of high temperature and discards heat at a high temperature that can easily be used by secondary circuit as a source of energy. Primary circuit employs blower so that it was also called by helium blower cycle and secondary circuit uses turbine so that it was named with steam turbine cycle. Helium blower cycle and steam turbine cycle are compatible with each other and can be combined in such a way as to attain a 10 MW_{th} RDE power plant [2, 3]. Blower is the cooling circulator device of RDE that works to raise pressure and be placed generally within steam generator chamber [3]. In blower, helium gas streamed under operation conditions of high temperature (about 250 °C) so that the occurred pressure difference is going to provide susceptible effects to steam turbine cycle. Secondary circuit or steam turbine cycle is a steam power plant that has key components of steam generator, feed pump, and condensing turbine [3, 4].

In the 10 MW_{th} RDE, nuclear fuel with pebble type is a major source of energy for making high temperature helium (700 °C) which can be used to produce steam to generate mechanical power in turbine cycle (steam power plant) [5, 6]. Efficiency enhancement of RDE to electric power generation is major issue of turbine cycle therefore implementation for energy conservation is very important. Energy conservation is mainly focused in energy efficiency [7, 8]. Efficiency is a property that enables to determine useful work for energy amount at specified circumstance. Usefulness of turbine cycle depends on each component conditions. Additionally, it had been known that optimum variables which are associated with steam turbine cycle may be highly affected by conditions of operating and performance of the condensing turbine. So, upon RDE, higher efficiency level can be achieved by incorporating enhancements in turbine cycle such as pressure and temperature of turbine, and vacuum pressure of condenser.

Steam turbine cycle consists of following four processes; isobaric heat addition within a steam generator, isentropic expansion in a turbine, isobaric heat rejection in a condenser, and isentropic compression in a pump. Specifically, the condensing turbine remains among one of key components of a secondary circuit that affect RDE performance. Main function of turbine is to expand into vacuum pressure at condenser entry so that specific power output of turbine could be increased. In this study, turbine types of SST-60, SST-100, SST-111, SST-300, and SST-600 were considered as representative of the condensing turbine technology [9]. Furthermore, computer program Cycle-Tempo is used to simulate model of this 10 MW_{th} RDE. Optimum operational conditions can be determined by calculating maximum power output by means of putting thermodynamic parameters on suitable input window of Cycle-Tempo and modeling components that affect performance significantly. The purpose of this case study is to analyze effect of the condensing turbine load on secondary circuit and to present a Cycle-Tempo simulation based on investigation of variations of power output and thermal efficiency on operating parameters such as steam pressure, condenser pressure, and turbine inlet temperature. A methodology is applied to solve the conservation equations of mass, momentum and energy.

THEORY

Figure 1 shows a RDE schematic diagram with primary circuit and secondary circuit, which reactor core could generate thermal power of 10 MW_{th} up to temperature 700 °C. In this figure, helium gas at 1 is circulated to a slightly higher pressure at 2 where helium enters reactor core, and is heated using pebble fuel, resulting in a hot helium at 3 [10]. Hot helium at 3 flows through steam generator, to blower at 1. Hot helium enters to steam generator to transfer heat to water/steam and exits at turbine inlet temperature at 4. Steam at turbine inlet expands to a lower pressure and temperature at 5. Steam at 5 with low pressure and low temperature will condensate in condenser to saturated water. Saturated water, out of condenser at 6 is pumped to a high pressure at steam generator. Then the condensing turbine supplies a power for an generator in producing electricity. Figure 2 shows a diagram of temperature versus enthalpy for turbine cycle at proposed RDE. Blower efficiency can be developed by considering isentropic process to pressure ratio. Ideal and actual processes of turbine expansion are also shown in Fig. 2. Key components of RDE are as follows :

- Helium Blower Model :

Compression ratio of blower is given as [11, 12]

$$r_p = P_2 / P_1 \quad (1)$$

where r_p is compression ratio, P_1 is initial pressure before compression, and P_2 is pressure after compression. Isentropic efficiency of blower (η_B) can be given as [11]

$$\eta_B = (T_2 - T_1) / (T_{2a} - T_1) \quad (2)$$

where T_1 is blower inlet temperature, T_2 is temperature at isentropic process, and T_{2a} is temperature at actual process. Blower work (W_B) can be calculated as [11]

$$W_B = (c_p T_1 R) / \eta_m \quad (3)$$

where η_m is blade efficiency, R is blower characteristic constants, and c_p is specific heat.

- **Reactor Core Model :**

Reactor core is fed with high pressure helium which is being heated at constant pressure before being passed through hot gas duct to steam generator [5, 10]. Core operation is based on energy balance [10, 11],

$$Q_R = m_{he} c_p (T_3 - T_2) \quad (4)$$

where Q_R is thermal energy of core, m_{he} is helium mass flow rate, and T_3 is core outlet temperature. Design parameters of RDE are listed in Table 1.

Table 1. Parameter design in current study [5, 10]

Item	Unit	Value
Thermal power	MW _{th}	10
Helium temperature at reactor inlet / outlet	°C / °C	250 / 700
Primary helium pressure	bar	30

- **Steam Generator Model :**

In this work, steam generator is considered by applying energy balance as follows [4]

$$m_s (h_4 - h_7) = m_{he} c_p (T_3 - T_1) \quad (5)$$

where m_s is steam mass flow rate of, h_4 is enthalpy at end of steam generator towards turbine, h_7 is water enthalpy at steam generator inlet.

- **Steam Turbine Model :**

The energy balance of steam turbine as represented in Fig. 2 gives [6, 13]

$$W_T = m_s (h_4 - h_5) \quad (6)$$

where W_T is turbine work, h_5 is enthalpy at end of isentropic process.

- **Condenser Model :**

The heat rejected (Q_C) in the condenser is given as [11, 14]

$$Q_C = m_W (h_5 - h_6) \quad (7)$$

where m_W is water mass flow rate, h_6 is enthalpy at end of condenser.

- **Pump Model :**

Pump work (W_P) can be determined as [11, 15]

$$W_P = m_W v_6 (P_7 - P_6) \quad (8)$$

where v_6 is specific volume, P_6 is pump inlet pressure, and P_7 is steam generator pressure.

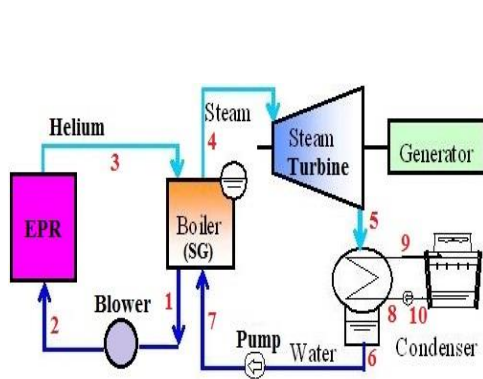


Fig.1. Simplification configuration of key components of RDE [11]

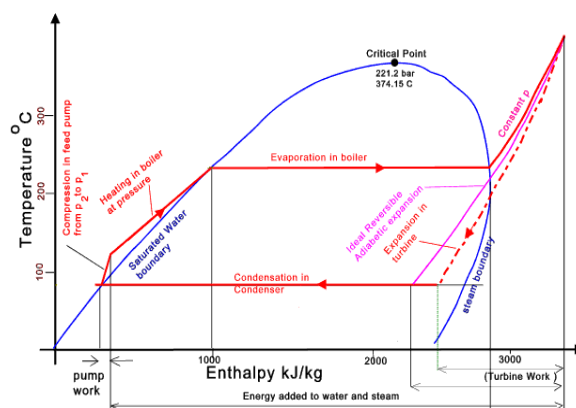


Fig. 2. $T-h$ diagram for steam turbine at secondary circuit [11]

METHODOLOGY

An overview of model simulation is illustrated in Fig. 3. This work was carried out in accordance with the following steps, namely :

- Determination of components models for RDE. Thermal power was designed 10 MW_{th}.
- Thermal flow is plotted by using Cycle-Tempo software. The thermal scheme was drawn in two parts of primary and secondary circuits by using graphic editor.
- Data input of components (apparatus) can be given for core, blower, steam generator, turbine, power generation, condenser, pump, cooling tower, and sink.
- The ambient condition is considered on 1.013 bar and 25 °C, respectively.
- Several adjustments are conducted to arrange thermal flow according to thermodynamic conditions and by referring on the existing literatures [5, 10].
- The simulation by using the fluid properties database of Cycle-Tempo software is validated based on data of HTR-10 in China [5].
- Simulation of blower load is conducted by changing pressure and temperature according to rotational speed and helium mass flowrate.
- Simulation of RDE operational condition was varied on compression ratio of blower load values of pressure 35 bars and temperature 435 °C.
- Simulation is continued by using turbine load for types of the condensing turbine SST-60, SST-100, SST-111, SST-300, and SST-600, respectively [9].

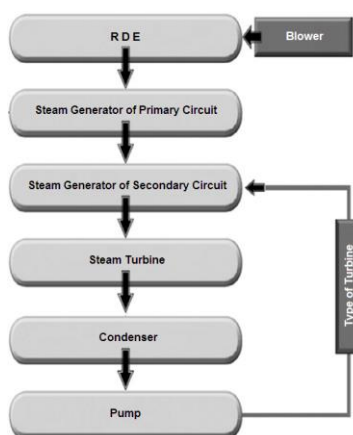


Fig. 3. Algorithm diagram used in this study

DESCRIPTION OF THE CONDENSING STEAM TURBINE

Model simulation is carried out on base of technical data of SST-060, SST-100, SST-111, SST-300, and SST-600, respectively [9]. These steam turbines are the condensing type turbine and were manufactured by Company Siemens AG [9], as shown Table 2.

Table 2. Features overview for the condensing turbine [9]

Type	Feature
SST-060	- Package unit design, oil unit integrated in base frame, and quick-start without preheating - Suitable for saturated steam service, organic Rankine cycle and gas expansion
SST-100	- A single-casing multi-stage steam turbine, compact design, radial exhaust, and short start-up - Oil system integrated in base frame, separation of oil and steam piping, and rapid load changes - Suitable for electric generator, mechanical drive, cogeneration, and industrial power
SST-111	- Compact design, multistage turbine, and oil unit integrated in base frame - Suitable for saturated steam operation and decentralized energy supply system
SST-300	- Compact design, single casing turbine, operational flexibility, and rapid load changes - Suitable for diverse application such as waste-to-energy, chemical industry, and cement
SST-600	- Fast load changes and compact design for simplified transportation - Suitable for many possible applications such as pulp and paper mills, and desalination plants

RESULTS AND DISCUSSIONS

Model validation is done in order to validate current work, and a comparison is done with the existing literatures [5, 7, 10]. An algorithm has been developed to at isentropic efficiency contours, as shown in the Fig. 2, for different pressures values at primary circuit and secondary circuit, while steam generator pressure was remained constant. An isentropic efficiency contour is a curve on which points having same efficiency lie. These curves have been generated for ideal conditions assuming perfect heating process, no pressure drop in reactor core and steam generator and isentropic efficiency equal to 100 % for rotating equipments such as turbine, pumps, and blower. At model validation of Cycle-Tempo, design parameters of RDE is compared with field data of HTR-10 in China [5], as shown in Table 3.

On Cycle-Tempo simulation, first step is to make apparatus models and to entry form of properties on all apparatus and working fluid. Next step is validate all thermodynamics parameters including mass flow rates of helium and steam or turbine power of heat balance. Relative deviation in this validation process is acceptable if it was not more than 5 % [8].

Table 3. Rankine cycle validation for RDE and HTR-10

Item	Unit	RDE	HTR-10 [5]	Deviation [%]
Reactor thermal power	MW _{th}	10	10	0
Inlet / outlet temperatures of core	°C / °C	252.2 / 700	250 / 700	0.88 / 0
Mass flow rate of helium / steam	kg/s / kg/s	4.3 / 3.47	4.31 / 3.47	0.23 / 0
Inlet / outlet temperature of turbine	°C / °C	343 / 41.51	345 / 41	0.58 / 1.24

Effect of operating conditions such as pressure ratio, temperature and pressure on power and thermal efficiency of turbine cycle had been considered in this work. Computer code Cycle-Tempo is utilized to investigate effect of operating conditions on power output and efficiency are obtained from energy balance. Figure 4 shows simulation of turbine cycle on helium flow rate 4.3 kg/s and blower speed 3255 rpm. Pressure and temperature changed by helium blower are calculated depending on blower rotational speed, helium flow rate, blower characteristic constant, pressure ratio, and isentropic efficiency.

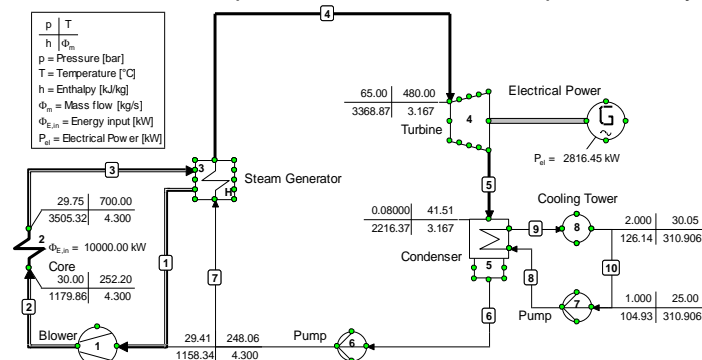


Fig. 4. The Cycle-Tempo simulation for a 10 MW_{th} RDE with turbine type of SST-100

Figure 5 presents relation between thermal efficiency and compression ratio for inlet temperature and pressure of turbine. It can be seen that thermal efficiency increases with compression ratio at higher temperature and pressure. Deviation of thermal efficiency at higher compression ratio is not significant, but variation at lower compression ratio is vital for thermal efficiency of RDE. Temperature and pressure of turbine are crucial for compression ratio. Thermal efficiency at lower compression ratio increases from 22.4 % to 24.4 % with an increase of Turbine Inlet Temperature (TIT) of SST-100 from 435 °C to 480 °C. Thermal efficiency also increases with enhance in compression ratio. However, variation in thermal efficiency is insignificant at higher compression ratio. Thermal efficiency decreases from 25.5 % to 23.3 % when mass flow rate of steam increases from 3.167 kg/s to 3.215 kg/s. Figure 5 illustrates also simulation result which be done by maintaining value of helium flow rate (4.3 kg/s) at reactor core. Primary circuit with helium blower has a high source temperature (700 °C) and rejects heat at a temperature that is conveniently used as energy source for secondary circuit with steam turbine cycle.

Steam energy is converted into mechanical power by expansion process via turbine. Expansion process takes place thru a series of fixed blades and moving blades. Each row of fixed blades and moving blades is called a stage. Moving blades rotate on rotor and the fixed blades are concentrically arranged within circular turbine casing which is constructed to withstand steam pressure. Martensitic stainless steel materials is applied only on high temperature stages [16], where its higher yield, endurance, creep, and rupture strengths are needed. The A-286 material is a nickel-based super alloy that is generally used in hot steam expanders with stage temperatures between 480 °C and 625 °C [17]. Another blade material is titanium with high strength, low density, and good erosion resistance made it a good candidate for high rotational speed or long last stage blade [16]. Turbine cycle is fed with steam under temperature 480 °C, pressure 65 bars, and the enthalpy value 3368.87 kJ/kg, as shown in Table 4. Expanding within turbine, steam produces power 3650.52 kW and goes into condenser under conditions with pressure 0.08 bars and the enthalpy value 2216.37

kJ/kg. The efficiency value of turbine SST-100 is 92.26 %. Hence its reject heat 6.47 MW_{th} to cooling water and the resulted condensate with lower enthalpy value than turbine inlet enthalpy, but with same temperature and pressure comes to feed water pump, as shown in Fig. 6. At expense of pump power 32.2 kW, pressure and enthalpy of the feed water rise to pressure 65 bars and enthalpy 182.57 kJ/kg with which feed water enters steam generator where it is heated and evaporated due to heat added.

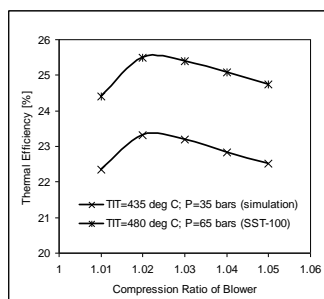


Fig. 5. Diagram of efficiency versus compression ratio

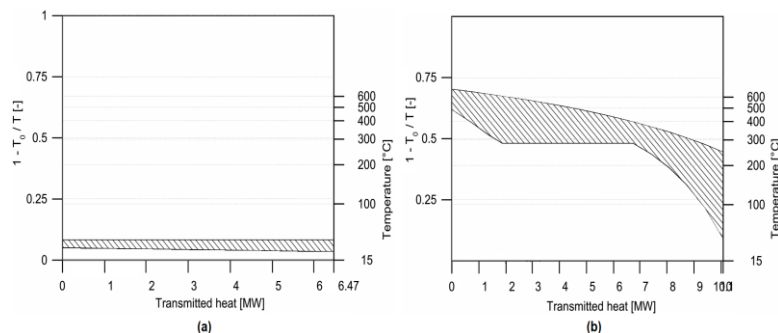


Fig. 6. Transmitted heat diagram for (a) condenser and (b) steam generator

Table 4. Solution of thermodynamic properties for a SST-100 upon RDE

Pipe No.	Pressure [bar]	Temperature [°C]	Mass Flow [kg/s]	Enthalpy [kJ/kg]	Entropy [kJ/kg/K]	Work Medium
1	29.54	248.06	4.3	1158.34	27.3843	Helium
2	30	252.2	4.3	1179.86	27.3934	Helium
3	29.75	700	4.3	3505.32	30.6121	Helium
4	65	480	3.167	3368.87	6.7765	Steam
5	0.08	41.51	3.167	2216.37	7.0837	Steam
6	0.08	41.51	3.167	173.85	0.5925	Water
7	65	42.23	3.167	182.57	0.5994	Water
8	4	25.03	310.906	105.33	0.3676	Water
9	3	30.03	310.906	126.14	0.4371	Water
10	1	25	310.906	104.93	0.3672	Water

Figure 6 shows a diagram of transmitted heat against temperature for condenser, illustrating condensation process is affected by ambient temperature. Turbine outlet temperature is not affected by changes in ambient temperature, however for steam with a lower pressure or a larger curvature of condensation temperature profile. It is possible that a low ambient temperature necessitates a higher condensation pressure. For case of turbine outlet pressure 0.08 bars, it is possible to reduce the cooling water mass flow rate, thereby allowing the cooling water outlet temperature to increase without violating condenser operation. These results in a lower power consumption of the cooling water pump of 131.65 kW, with a positive effect on performance for turbine cycle of a 10 MW_{th} RDE. Figure 6 shows also a plot of net heat duty as a function of temperature at steam generator work. This plot is produced for helium (hot side) and water/steam (cold side). Heat power of 10.1 MW_{th} is found when temperature profile allows two pinch point locations. Pinch points are at bubble point for cold stream of water and at inlet to steam generator for hot stream of helium gas. If steam generator pressure was fixed, temperature does not affect steam generator inlet or outlet conditions on working fluid side, but only pinch point location, since the working fluid condition at steam generator outlet is fixed, and conditions of both streams are determined by pressure independently of temperature. In conceptual design, steam generator could be divided into three parts corresponding to three zones, defined for cold stream of water as preheating, evaporation, and superheating.

Figure 7 displays clearly condenser outlet pressure after every stage of iteration. It can be seen that pressure takes place at first iteration. Saturated liquid flows through pump which increases its pressure to steam generator pressure, where water is first heated to saturation temperature, boiled and superheated to steam at temperature 480 °C and pressure 65 bars. As it can be seen in Table 4, water mass flow rate is about 3.167 kg/s for pumping power 32.2 kW or about 0.322 % of RDE's thermal power. In average, coolant temperature is rising to about 42.23 °C. This shows that pump power is on the order of 0.88 % of turbine power SST-100, and that most of heat addition occurs in two-phase flow region. Thermal efficiency of a 10 MW_{th} RDE is found to be essentially linearly dependent upon

turbine efficiency, but barely affected by pump efficiency. For this work, thermal efficiency value was 25.5 % for electricity of about 2.817 MW_e. Sub cooling would increase heat input in the steam generator, and on the other hand, inclusion of steam into pump would cause poor performance, as shown in Fig. 7 at iteration stages 3 and 4.

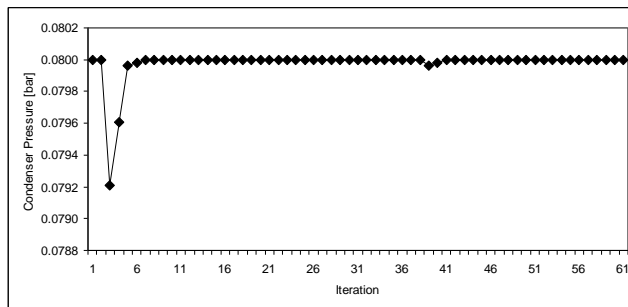


Fig. 7. Plot of pressure behaviour along condenser outlet for SST-100

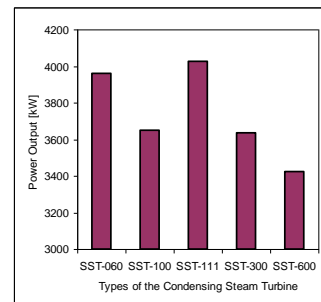


Fig. 8. Comparison for types of the condensing turbine

Table 5 shows technical data and typical dimensions for many of the condensing turbine including SST-60, SST-100, SST-111, SST-300, and SST-600 [9]. Five technologies of the condensing turbine were assessed with respect to power output and thermal efficiencies by using computer program cycle-tempo. From Table 5, it can be seen that thermal efficiency values for output range from 23.2 % to 28.2 %. Mass flow rates of the condensing turbine are 3.129 kg/s (SST-060), 3.167 kg/s (SST-100), 3.107 kg/s (SST-111), 3.24 kg/s (SST-300), and 3.325 kg/s (SST-600), respectively. Steam turbine division of the Siemens Group has focused on design development of turbine to cover range of applications in power output up to 4025.68 kW, as shown in Table 5 and Fig. 8. Final selection of the condensing turbine for RDE was important and is based on a feature overview (as shown on Table 2) and a standard technical data technology (as in Table 5). For a case study SST-100, turbine inlet pressure (65 bars) was more satisfy to steam turbine cycle (secondary circuit) of RDE.

Table 5. Technical data and dimension for many of the condensing steam turbine [9]

Item	Unit	Turbine Type				
		SST-060	SST-100	SST-111	SST-300	SST-600
TIT	°C	530	480	530	520	565
Turbine inlet pressure	bar	131	65	131	120	165
Condenser pressure	bar	0.08	0.08	0.06	0.25	1
Rotational speed	rpm	-	7500	-	12000	18000
Steam mass flowrate ¹⁾	kg/s	3.129	3.167	3.107	3.24	3.325
Steam quality ¹⁾	%	82.31	85.02	81.58	85.68	89.87
Power output ¹⁾	kW	3961.24	3650.52	4025.68	3634.42	3422.77
Electric power ¹⁾	kW	3056.17	2816.45	3105.89	2804.03	2640.74
Thermal efficiency ¹⁾	%	27.7	25.5	28.2	25.1	23.2
Length/width/height	m/m/m	1.5/2.5/2.5	8/3.7/3.4	8/4/4	12/4/5	19/6/5

¹⁾ Calculated by using computer code Cycle-Tempo

CONCLUSION

Results which have been obtained for a 10 MW_{th} RDE shows that operational load of the condensing steam turbine had a significant effect on secondary circuit. Application of turbine has provided to analysis results in thermal energy efficiency and power output. Thermal efficiency values were obtained for output range from 23.2 % to 28.2 %. For case of SST-100, optimum thermal efficiency of about 25.5 % is achievable if heat for steam turbine cycle was efficiently used. Analysis of work output in RDE shows that power of turbine SST-100 was valuable 3650.52 kW mainly dominated to operational load of blower 3255 rpm. Efficiency of turbine SST-100 was 92.26 %. Computer program Cycle-Tempo can be used to assess thermodynamic performance of this RDE as indicated in model validation and results at Table 5. Estimated values of characteristics of components such as steam generator, condenser, and pump can be also calculated with very accurate values of performance of steam turbine cycle itself. Furthermore, accuracy of Graphs as mentioned above will be sufficient for analysis and investigation of present RDE.

ACKNOWLEDGMENT

For this work, author wishes to acknowledge financial support of PTKRN, BATAN of Indonesia with project code of SPDIPA080.01.1.450310/2017.

REFERENCES

1. PRICE R., et al., "Application of systems engineering principles to prioritization of nuclear cycle options", *Energy Policy*, Vol. 53, pp. 205-217(2013).
2. FONTALVO A., et al., "Exergy analysis of a combined power and cooling cycle", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 60, pp. 164-171 (2013).
3. SORRELL S., "Reducing energy demand: a review of issues, challenges and approaches", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 47, pp. 74-82 (2015).
4. IBRAHIM W., "Particle swarm optimization to the steam generator in the nuclear power plant", *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 280, pp. 94-98 (2014).
5. LI Y., et al., "Effect of a flow corrective insert on the flow pattern in a pebble bed reactor", *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 300, pp. 495-505 (2016).
6. CAI L., et al., "Optimization design of removing solid particles from main pipeline of high parameter steam turbine", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 111, pp. 516-525 (2017).
7. JEONG Y, et al., "Hybrid heat pipe based passive in-core cooling system for advanced nuclear power plant", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 90, pp. 609-618 (2015).
8. QUOLIN, S., BROEK, M.D., DECLAYE, S., et al., "Techno economic survey of Rankine cycle system", *Renewable and Sustainable Energy* (2013).
9. SIEMENS A.G., "Industrial power, pre-designed steam turbines", German (2013).
10. PENG W., et al., "Thermophoretic and turbulent deposition of graphite dust in HTGR steam generators", *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 300, pp. 610-619 (2016).
11. CENGEL Y.A. and BOLES M., "Thermodynamics, an Engineering Approach", 8th Edition, McGraw-Hill Publishing (2015).
12. MOOSANIA S.M.and ZHENG X., "Effect of internal heat leakage on the performance of a high pressure ratio centrifugal compressor", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 111, pp. 317-324 (2017).
13. ESFE H.B., et al., "Effects of surface roughness on deviation angle and performance losses in steam turbines", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 90, pp. 158-173 (2015).
14. PACISKA T., et al., "Suitability of some commonly available software for unconventional condenser analysis", *Applied Thermal Engineering*, Vol. 70, pp. 1195-1201 (2014).
15. ZHU R., et al., "The research and test of the cavitations performance of first stage impeller of centrifugal pump in nuclear power stations", *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 300, pp. 74-84 (2016).
16. PANT B., et al., "Studies towards development of laser peening technology for martensitic stainless steel and titanium alloys for steam turbine applications", *Materials Science and Engineering*, Vol. 587, pp. 352-358 (2013).
17. HUANG X., et al., "The of water density on the oxidation behavior of alloy A-286", *Journal of Nuclear Materials*, Vol. 467, pp. 758-769 (2015).

CHANNEL ANALYSIS OF OPERATION POWER FLUCTUATION FOR AP1000 REACTOR

Muh. Darwis Isnaini, Deswandri, Geni Rina Sunaryo
Center for Nuclear Reactor Technology and Safety, BATAN,
PUSPIPTEK Area Building no.80 Serpong, Tangerang Selatan, 15310 Indonesia
email: darwis@batan.go.id

ABSTRACT

CHANNEL ANALYSIS OF OPERATION POWER FLUCTUATION FOR AP1000 REACTOR. A study to analyze the influence of operation power fluctuations on channel analysis of AP1000 reactor has been carried out. The calculation was conducted as channel analysis, because sub-channel analysis could not be done by using COBRA-EN code for transient or power as time function. The calculations found that hot channel at peak linear power of 42.66 kW/m could represent hot sub-channel with peak linear power of 48.88 kW/m, fairly well. Between the two models, it was found that the peak center line fuel temperature, the peak radial average fuel temperature and MDNBR were 5.54%, -2.83% and 6.35%, respectively. For calculations of operation power fluctuations the 12-3-3-3-0.5-0.5-0.5-1 mode was used as a model for the hot channel using fuel and clad thermal properties as temperature functions. The results showed that on full power, 50-percent power and 110-percent power, the peak center line fuel temperatures were found to be 1697.25°C, 840.25°C and 1868.75°C, respectively. Moreover, the MDNBR were 2.65, 5.32 and 2.41, respectively. It was concluded that the reactor could be operated safely, while operation power fluctuation occurred.

Keywords: channel analysis, operation power fluctuation, COBRA-EN, AP1000.

ABSTRAK

ANALISIS KANAL TERHADAP PENGARUH FLUKTUASI DAYA OPERASI PADA REAKTOR AP1000. Telah dilakukan suatu penelitian untuk mengetahui pengaruh fluktuasi daya operasi pada analisis kanal reaktor AP1000. Perhitungan dilakukan dengan analisis kanal, karena pada kondisi transien atau daya fungsi waktu, analisis sub kanal tidak bisa dilakukan dengan menggunakan kode COBRA-EN. Dari perhitungan diperoleh bahwa kanal panas dengan puncak daya linier 42,66 kW/m mampu mewakili sub kanal panas dengan puncak daya linier 48,88 kW/m dengan cukup baik. Antara kedua model, diperoleh perbedaan untuk temperatur puncak sumbu bahan bakar, temperatur puncak rerata radial bahan bakar dan MDNBR masing-masing sebesar 5,54%, -2,83% dan 6,35%. Pada perhitungan fluktuasi daya dengan model 12-3-3-3-0.5-0.5-0.5-1, pada kanal panas dengan sifat termal sebagai fungsi temperatur. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada daya penuh, daya 50-persen dan daya 110-persen diperoleh temperatur puncak sumbu bahan bakar masing-masing sebesar 1697,25°C, 840,25°C dan 1868,75°C. Sedangkan MDNBR masing-masing sebesar 2,65, 5,32 dan 2,41. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa reaktor dapat beroperasi dengan tetap selamat, ketika terjadi fluktuasi daya operasi.

Kata kunci: analisis kanal, fluktuasi daya operasi, COBRA-EN, AP1000.

INTRODUCTION

The coolant channels in pressurized water reactors (PWRs), interconnected with each other over their entire length. In PWR, The thermal hydraulics analysis is usually carried out in two steps, i.e., core analysis and sub-channel analysis [1]. The first step, in PWR core analysis, arrays of 264 fuel rods and 25 guide thimbles that mechanically group into a unit called a fuel assembly. There were 157 fuel assemblies in AP1000. Each fuel assembly is homogenized and modeled as a single channel that are macroscopically having average properties of the fuel rods. Therefore, core analysis is called channel analysis. For details of the flow description within the fuel rod in the fuel assembly, it should be considered by a sub-channel analysis. The second steps, in sub-channel analysis, an analysis is carried out for the fuel rods arranged in the hot fuel assembly only, which utilizes the lateral boundary

condition obtained in the core analysis. And the hot sub-channel was only a fuel rod among 41448 fuel rods in the core.

In research on thermal-hydraulics analysis of radial and axial power fluctuation [1], the channel and sub-channels analysis have been conducted by using COBRA-EN code for beginning, middle and end of cycles of steady state condition. At the beginning of the cycle (BOC), the total peaking factors used in the analysis were 1.79 and 2.60, for hot channel and hot sub-channel, respectively. Using fixed thermal properties of fuel and cladding, the calculation results for hot channel showed that, the peak fuel center line temperature was 1208.65°C and the Minimum Departure from Nucleate Boiling Ratio (MDNBR) was 3.38, whereas for hot sub-channel showed that, the peak fuel center line temperature was 1608.15°C and the MDNBR was 2.49. In other research [2], thermal-hydraulics sub-channel analysis also has been carried out for nominal and over power on steady state condition, using COBRA-EN code. In this analysis, it showed that, for over power condition, the peak fuel center line was 1861.15°C and the MDNBR was 2.10. Other analysis using COBRA-EN also have been conducted for nano fluid application [3], optimizing a gap conductance [4], validation of SIMBAT-PWR [5], comparison analysis using fixed and temperature function of thermal conductivity [6], assessment of LWR performance [7], calculation capability for VVER [8,9,10] as well as thermal-hydraulic modeling of nano fluid [11,12].

Normally, the reactor was operated at nominal power. However, a fluctuation electricity demand in a region sometimes happened. For example, electricity demand increase between 5 a.m and 6 p.m in industry area, whereas for city lighting will increase between 6 p.m and 6 a.m, etc. So that, the electricity demand will increase between 12 p.m and 12 a.m, and decrease from 12 a.m to 12 p.m. It means that the fluctuation of electricity demand happens. Consequently, the change of reactor power was needed as time function. One of the power operation condition as time function was 12-3-6-3 daily load cycle as load follows capability of Nuclear Steam Supply System (NSSS) of PWR reactors. The 12-3-6-3 daily load cycle means the NSSS was operated for 12 hours at full power, decreasing load to 50-percent power over a 3 hour period, remaining at 50-percent power for 6 hours and returning to full power over a 3 hour period, in a simple called power fluctuations. This power fluctuation could be followed daily in PWR's operation, through all of fuel cycles [13].

For analysis of steady state condition, COBRA-EN [14] could be used for channel and sub-channel analysis. However, for transient condition (condition for power operation as time function), COBRA-EN code could be used for channel (core) analysis only, but not for sub-channel analysis. The hot condition was found by sub-channel analysis, which has 2.60 total peaking factor [1,2]. When the total peaking factor of 1.79 (equal to 33.52 kW/m of peak linear power) was used as a hot channel analysis, it was found that the peak fuel center line temperature was too low compared to one of the hottest sub-channel analysis. However, when the total peaking factor of 2.60 (equal to 48.88 kW/m of peak linear power) was used as a hot channel analysis, the MDNBR would drop to be very low. In the channel analysis condition, meant 264 fuel rods in the hot channels had peaking factor of 2.60. When mixing a fuel rod of 2.60 peaking factors with 263 fuel rods of 1.79 peaking factors, it will be found a homogeneous channel of 1.793 total peaking factors. A handy reference by NUREG [15], gave a comparative analysis of LWR fuel designs. For PWR 17x17 assemblies, channel with peak linear power of 13 kW/ft (equivalent to 42.66 kW/m) was advised to be analyzed as a hot channel. To obtain the peak linear power of 42.66 kW/m (equal to the total peaking factor of 2.216), equal to mixing 139 fuel rods of 2.60 peaking factors to 125 fuel rods of 1.79 peaking factors.

This research aims to determine the effect of power fluctuations on the core thermal-hydraulics parameters of AP1000 and study the impact on safety margin. The analysis includes the effect on peak fuel center line and maximum cladding temperature, as well as the Minimum Departure from Nucleate Boiling Ratio (MDNBR). This study is focused on the power fluctuation dynamic of the AP1000, using thermal properties of fuel and cladding as temperature functions, which is conducted by using MATPRO + COBRA-EN code [14]. The AP1000 core consists of 157 fuel assemblies, has an output power of 3400 MWt and effective flow rate of 48.44×10^6 kg/h [1,2,5]. This research was also completing the previous research about analysis on radial and axial power fluctuation [1], thermal-hydraulics sub-channel analysis for nominal and over power on steady state condition [2], validation using standard code [5] as well as analysis using fixed and temperature function thermal conductivity [6].

METHODOLOGY

The problem in the thermal-hydraulics analysis during reactor operation is the fluctuation of the operating power. One of PWR's capabilities is that the reactor can be operated as time functions, such as 12-3-6-3 daily load cycle.

In the thermal-hydraulics calculation on the reactor operation fluctuation, the modeling and calculation were done using the COBRA-EN code and sub routine MATPRO for calculating the thermal properties of fuels and clad as temperature function. The calculation was based on the horizontal power distribution at Beginning of Cycle (BOC) [1] that was modified and converted to linear power distribution, and axial power distribution was found for 157 fuel assemblies at inserted control rod and hot full power conditions at BOC [14], as shown in Figure 1. From Figure 1.a., the peak linear power is 42.66 kW/m (position of H-8) and the axial power factor (F_z) is 1.34, respectively.

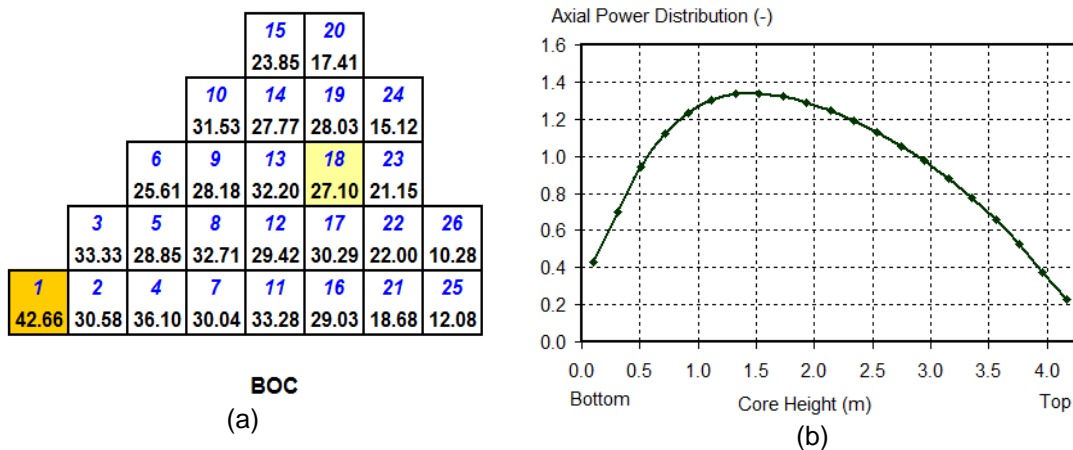


Figure 1. (a). Horizontal peak linear power distribution [1], and (b). Axial power distribution at BOC [14]

In the first step, the core thermal-hydraulics calculations (channel analysis) at full power and steady state condition were conducted, especially for hot channel model which has peak linear power of 42.66 kW/m. The calculation result would be compared to the result of hot sub-channel model which has peak linear power of 48.88 kW/m [1]. The comparison would give priority to the value of the peak fuel center line and average fuel temperature and the MDNBR.

In the second step, the calculations for reactor power fluctuation were conducted as channel analysis model. The reactor was modeled to be operated as time functions. The operation as time function in this model is not for daily operation [13], but the modified model was assumed as a human mistake operation. The modified power operation condition as a time function was 12-3-3-3-0.5-0.5-0.5-0.5-1. It means the reactor was operated for 12 hours at full power (100%), decreasing load to 50-percent over a 3 hour period, remaining at 50-percent power for 3 hours, and returning to full power over a 3 hour period, remaining at full power for 0.5 hour, and then assumed a human mistake occurs by increasing load to 110-percent over a 0.5 hour, remaining at 110-percent power for 0.5 hour, returning to full power over a 0.5 hour, and remaining at full power for 1 hour, as shown in Table 1.

Table 1. Power fluctuation model as time function of reactor operation.

Time (s)	Power (%)
0	100.0
43,200	100.0
54,000	50.0
64,800	50.0
75,600	100.0
77,400	100.0
79,200	110.0
81,000	110.0
82,800	100.0
86,400	100.0

RESULTS AND DISCUSSION

Comparison of core calculation for the hot channel which has peak linear power of 42.66 kW/m and hot sub-channel calculation which has peak linear power of 48.88 kW/m is shown in Figure 2. Calculation for hot channel was done using fuel and clad thermal properties as temperature function, whereas the calculation of the hot sub-channel was using fixed thermal properties of fuels and clad.

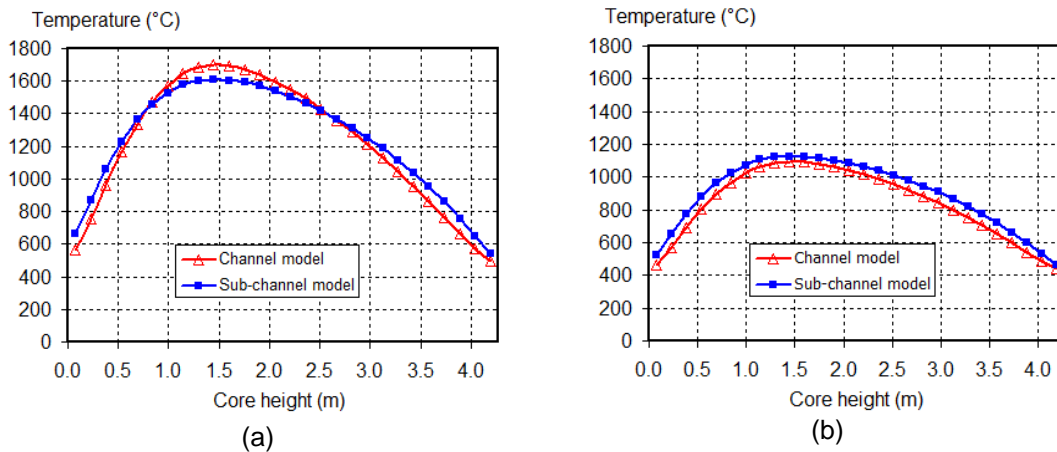


Figure 2. Graph of fuel temperature distribution versus core height. (a). Center line fuel temperature, and (b). Average fuel meat temperature

Figure 2(a) shows that the peak center line fuel temperature of hot channel and hot sub-channel are 1697.25°C and 1608.15°C, respectively. The peak center line fuel temperature of hot channel is 5.54% greater than the hot sub-channel, whereas at the lower and upper ends, the center line fuel temperature of hot channel is 14.78% and 8.87% lower than the hot sub-channel, respectively. This phenomenon happens, because at temperature lower than 1400°C, the average fuel thermal conductivity is greater than the fixed fuel thermal conductivity of 3.6 W/m°C [6]. Thereby, the center line fuel temperature of hot channel is lower than the hot sub-channel at the lower and upper ends. Whereas, at a temperature of higher than 1400°C, the average fuel thermal conductivity is lower than the fixed fuel thermal conductivity of 3.6 W/m°C [6]. Therefore, at around the mid fuel length, the center line fuel temperature of hot channel is higher than the hot sub-channel.

Figure 2(b) shows that the peak average fuel temperature of hot channel is 1094.45°C, about 2.83% less than the hot channel of 1126.35°C. The radial average fuel temperature along the hot channel is lower than the hot sub-channel. This phenomenon happens, because the radial average temperature along the channel is lower than 1400°C, so the average fuel thermal conductivity is greater than the fixed fuel thermal conductivity of 3.6 W/m°C. Therefore, the radial average fuel temperature along the hot channel is lower than the hot sub-channel.

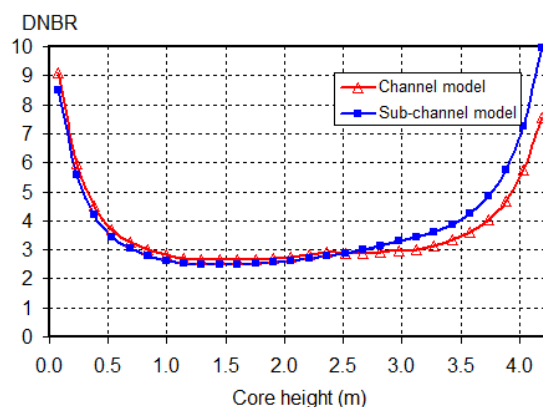


Figure 3. Distribution of DNBR along the hot channel and hot sub-channel

Figure 3 shows the distribution of DNBR along the hot channel and hot sub-channel. The MDNBR of hot channel is 2.65 which is 6.35% higher than the MDNBR of hot sub-channel of 2.49 [1]. It means that hot channel analysis gives better MDNBR than hot sub-channel analysis. The phenomenon is due to the possible effect of homogenizing the channel model. In modeling sub-channel, each fuel rod was surrounded by a flow area of 0.000087914 m^2 , wetted perimeter of 0.02983 m and hotted perimeter of 0.02983 m, Whereas in modeling channel, each homogenized fuel assembly was surrounded by a flow area of 0.024713 m^2 (equal to flow area of 264 fuel rods and 25 guide thimble), wetted perimeter of 8.76088 m (equal to the wetted perimeter of 264 fuel rod and 25 guide thimble), and hotted perimeter of 7.87911 m (equal to the hotted perimeter of 264 fuel rods). Compare to MDNBR of general PWR of 2.17 [2,16], the MDNBR in the hot channel analysis (W-3 correlation) is found to be 14.75% greater.

Based on the deviation of the peak center line fuel temperature, the peak average fuel temperature and the MDNBR, the thermal-hydraulics characteristics of the hot sub-channel of 48.88 kW/m could be well represented by hot channel of 42.66 kW/m in the transient channel analysis. In this channel analysis, operation power fluctuation in the twenty fourth hours is considered for calculation. Figure 4 shows the graph of peak center line fuel temperature and peak average fuel temperature during the power fluctuates.

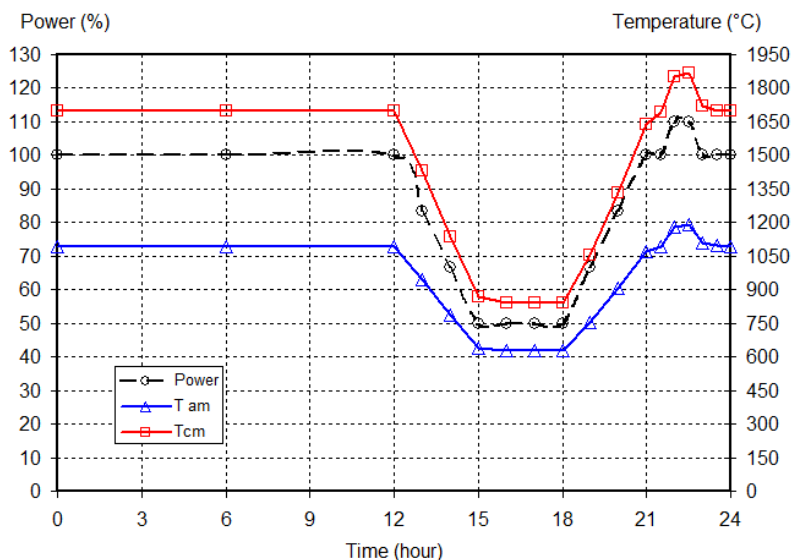


Figure 4. Graph of peak center line and peak average fuel temperatures during the reactor power fluctuation

Figure 4 shows that the peak center line fuel temperatures on full power, 50-percent power and 110-percent power are 1697.25°C , 840.25°C and 1868.75°C , respectively. The graph also shows that the peak center line fuel temperature on full power steady state and at just reached full power are different, i.e., 1697.25°C and 1639.45°C , respectively. Likewise, the peak center line fuel temperature at just reached 110-percent power and in a little while returning to full power are also different, i.e., 1852.85°C and 1868.75°C , respectively. When the power is reached, but the heat generation has not been steady yet, so its temperature is less than steady temperature.

Figure 5 shows the graph of MDNBR(W-3 correlation) during the operation power fluctuation. This figure shows that the MDNBR on full power, 50-percent power and 110-percent power are 2.65, 5.32 and 2.41, respectively. For all those conditions, the MDNBR are greater than MDNBR of general PWR of 2.17 [2,16].

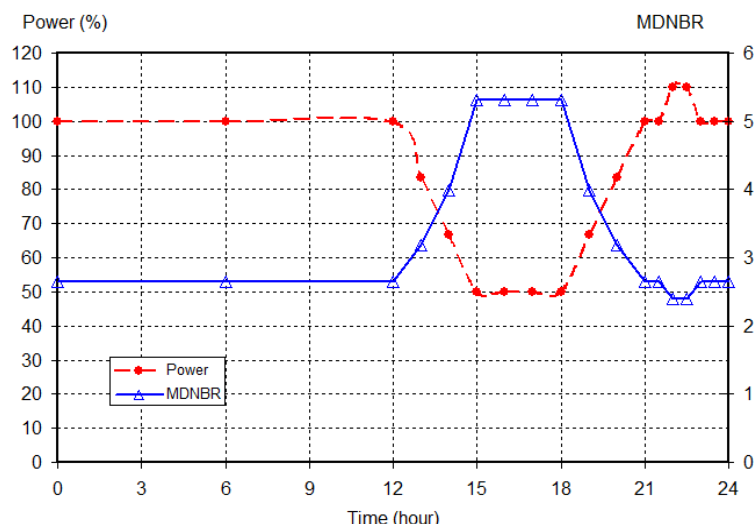


Figure 5. Graph of MDNBR during the reactor power fluctuation

CONCLUSION

The analysis of AP1000 channel thermal-hydraulic for determining the effect of operation power fluctuations was carried out. The analysis using thermal properties of fuels and clad as temperature function, was conducted by using COBRA-EN code + MATPRO. The channel analysis, which has peak linear power of 42.66 kW/m represent hot sub-channel of 48.88 kW/m, fairly well. The operation power fluctuation analysis showed that the peak center line fuel temperatures at full power, 50-percent power and 110-percent power were 1697.25°C, 840.25°C and 1868.75°C, respectively. Moreover, the MDNBR were 2.65, 5.32 and 2.41, respectively. It was concluded that the reactor could be operated safely, while operation power fluctuation occurred.

ACKNOWLEDGMENT

This research was funded by the Center of Nuclear Reactor Technology and Safety in BATAN's DIPA 2017/ Number: SP DIPA 080.01.1.450310/2017.

REFERENCES

1. Isnaini, M.D., Widodo S., and Subekti M., "Thermal-Hydraulics Analysis on Radial and Axial Power Fluctuation for AP1000 Reactor" Tri Dasa Mega, Vol. 17 No. 2, pp. 79-86, Jakarta (2015).
2. Isnaini M.D., and Subekti M., "Analisis Termohidrolika Sub Kanal AP1000 pada Kondisi Tunak Daya Nominal dan Daya Lebih" Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir, p. 673-682, Pontianak (2014). (In Indonesian)
3. Zarifi E., Jahanfarnia G., Veysi F., "Sub-channel Analysis of Nanofluids Application to VVER-1000 Reactor. Chemical Engineering Research and Design 91, pp.625-632, (2013).
4. Rahgoshay M., Tilehnoee M.H., "Optimizing a Gap Conductance Model Applicable to VVER-1000 Thermal-Hydraulic Model", Annals of Nuclear Energy 50, p. 263-267, (2012).
5. Isnaini M.D., Subekti M., "Validation of SIMBAT-PWR Using Standard code of COBRA-EN on Reactor Transient Condition", Tri Dasa Mega, Vol. 18 No. 1, p. 41-50, Jakarta (2016).
6. Isnaini M.D., and Mutiara E., "A Comparison in Thermal-Hydraulics Analysis of PWR-1000 Using Fixed and Temperature Function of Thermal Conductivity", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, Volume 18 No. 1, p. 31-38, Jakarta (2016).
7. Ott L.J., Robb K.R., Wang D., "Preliminary Assessment of Accident-Tolerant Fuels on LWR Performance During Normal Operation and Under DB and BDB Accident Condition", Journal of Nuclear Materials 448, pp.520-533, (2014).
8. Aghaie M., Zolfaghari A., Minucmehr M., Norouzi A., "Enhancement of COBRA-EN Capability for VVER Reactor Calculations", Annals of Nuclear Energy 46, p.236-243, (2012).

9. Rahmani Y., Pazirandeh A., Ghofrani M.B., Sadighi M. "Calculation of the Deterministic Optimum Loading Pattern of the BUSHEHR VVER-1000 Reactor Using the Weighting Factor Method". *Annals of Nuclear Energy* 49, p. 170-181 (2012).
10. Kalkhoran O.N., Minucmehr A., Shirani A.S., Rahgoshay M., "Full Scope Thermal-Neutronic Analysis of LOFA in a VVER-1000 Reactor Core by Coupling PARCS v2.7 and COBRA-EN", *Progress in Nuclear Energy* 74, p.193-200, (2014).
11. Zarifi E., Jahanfarnia G., Veysi F., "Thermal-Hydraulics Modeling of Nanofluids as the Coolant in VVER-1000 Reactor Core by the Porous Media Approach", *Annals of Nuclear Energy* 51, pp.203-212, (2013).
12. Rahimi M.H., Jahanfaria G. "Thermal-Hydraulic Core Analysis of the VVER-1000 Reactor Using Porous Media Approach". *Journal of Fluids and Structures* 51, p. 85-96, (2014).
13. Anonymous "The Westinghouse Pressurized Water Reactor Nuclear Power Plant", *Westinghouse Electric Corporation Water Reactor Divisions*, Chapter 16: Plant Operation, pp. 207-218 (1984).
14. Basile D., Behgi M., Chierici R., Salina E., Brega E., "COBRA-EN : Code System for Thermal-Hydraulic Transient Analysis of Light Water Reactor Fuel Assemblies and Cores", RSICC Code Package PSR-507, May, Oak-Ridge (2001)
15. O'Donnell G.M., Scott H.H., Meyer R.O., "A New Comparative Analysis of LWR Fuel Designs", NUREG-1754, pp.11-1 - 11-25 (2001).
16. Shuffler C., Trant J., Malen J., and Todreas N. "Thermal hydraulics analysis for grid supported pressurized water reactor cores", *Nuclear Engineering and Design* 239. p.1442-1460 (2009).

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

EFFECT OF F / M RATIO AGAINST NEUTRON FLUX DISTRIBUTION ON THE HTGR-10 MWth PEBBLE BED CORE

Hery Adrial, Zuhair, Suwoto, Syaiful Bakhri, Geni Rina Sunaryo

Center for Nuclear Reactor Technology and Safety
Kawasan Puspiptek Gd.80, Serpong, Tangerang Selatan
Email: hery-adr@batan.go.id

ABSTRACT

EFFECT OF F/M RATIO AGAINST OF NEUTRON FLUX DISTRIBUTION ON THE HTGR-10 MWth PEBBLE BED CORE. The research on the effect of F/M ratio on neutron flux distribution in the HTGR-10 MWth pebble bed core has been done. The goal of this research is to know the effect caused by variations of pebble fuel ratio with pebble moderator (F/M) on neutron flux distribution at HTGR-10 MWth core and to obtain optimal F/M ratio to be applied in the HTGR- 10 MWth core. In this research, the first step is completed modeling of HTGR-10 MWt then calculation of the neutron energy spectrum and neutron flux calculation, with variations F/M = 100: 0, 80:20, 60:40, 57; 43, 52; 48, 50 : 50, 40.60, and 20:80. Modeling and calculation are performed using the program package EGS99304 with 36 group vitamin C, MCNP6.1 and VisEd. The calculation results have shown that the resulting neutron spectrum is identical to the neutron spectrum that occurs on the core of the nuclear reactor. The highest neutron flux distribution of $1.32E + 14$ n/cm² sec occurred at F: M = 40:60 with the position at the center of the reactor core. The fuel ratio is also in the range of 40% to 60% to apply to the HTGR10 MWth core with multiplication factor value is in the range of 1.08 to 1.16. From the results of calculation, it can be concluded that highest flux the HTGR-10 MWth is $1.32E+14$ n/cm² sec with F/M ratio is 40:60, while the variation F/M ratio which can be used on HTGR-10 MWth is from the ratio of 40:60 to 60:40.

Keywords: neutron flux, neutron spectrum, HTGR-10 MWth, pebble bed core, F/M ratio

ABSTRAK

PENGARUH RASIO F/M TERHADAP DISTRIBUSI FLUKS NEUTRON PADA TERAS HTGR-10 MWth PEBBLE BED. Telah dilakukan penelitian mengenai Pengaruh rasio F/M terhadap distribusi fluks neutron pada teras HTGR-10 MWth pebble bed. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh yang ditimbulkan akibat variasi rasio bahan bakar pebble dengan moderator pebble (F/M) terhadap distribusi fluks neutron pada teras HTGR-10 MWth dan untuk mendapatkan rasio F/M yang optimal untuk diaplikasikan di dalam teras HTGR-10 MWth. Dalam penelitian ini terlebih dahulu dilakukan pemodelan HTGR-10 MWth secara lengkap kemudian dilakukan perhitungan spektrum energi neutron dan fluks neutron dengan variasi F/M = 100:0, 80:20, 60:40, 57;43, 52;48, 50:50, 40,60, dan 20:80. Pemodelan dan Perhitungan dilakukan dengan menggunakan paket program EGS99304 dengan menggunakan 36 group vitamin C, MCNP6.1 dan VisEd. Hasil perhitungan menunjukkan spektrum neutron yang dihasilkan identik dengan spektrum neutron yang terjadi pada teras reaktor nuklir. Distribusi fluks neutron tertinggi sebesar $1.32E+14$ n/cm² det terjadi pada F:M = 40:60 dengan posisi berada di tengah-tengah teras reaktor. Didapat pula rasio bahan bakar dalam kisaran 40 % sampai 60 % untuk dapat aplikasikan ke dalam teras HTGR10 MWth dengan nilai faktor multiplikasi berada pada kisaran 1,08 sampai 1,16. Dari hasil perhitungan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada HTGR-10 MWth fluks tertinggi dapat mencapai nilai $1.32E+14$ n/cm² det dengan F/M rasio = 40:60 sedangkan variasi F/M rasio yang dapat digunakan pada HTGR-10 MWth adalah dari rasio 40:60 sampai 60:40.

Kata kunci: fluks neutron, spectrum neutron, HTGR-10 MWth, pebble bed, F/M rasio

INTRODUCTION

HTGR-10 MWth is one of the pebble bed reactor design based on the concept of Generation IV nuclear reactor that emphasizes the increasing role of sustainability (sustainable) so that it can extend the life of the fuel supply, minimize the quality and quantity of nuclear material waste, and improve the reliability and nuclear safety. To ensure the reactor concept Generation IV in terms of increased reliability and nuclear safety met HTGR-10 MWth then the HTGR-10 MWth reactor should have a safety feature that is very

special (excellent), which has a great margin of fuel temperature and the large coefficient of reactivity temperature to accommodate the insertion of reactivity^[1-3]. Meanwhile, to support the concept of inherent safety materials used for construction and the HTGR pebble bed fuel and moderator pebble is very dominated by the element carbon (graphite), so that the negative reactivity will be achieved. The other of HTGR pebble bed characteristics is fuel loading can be done directly (on-line) this makes HTGR 10 MWth very economical^[4-6].

With regards to graphite material dominance in the structure of the HTGR 10 MWth including in the pebble fuel and moderator so condition ratio of pebble fuel to the moderator will greatly influence neutron moderation factors and neutron flux that occur in the reactor core of HTGR 10 MWth. The research on the effect of the graphite material to the performance of neutronic HTGR pebble bed has been carried out by other researchers, such as optimization studies on neutron moderation in the core HTR pebble bed^[7-8]. Analysis of calculation reactivity coefficient of fuel and moderator on RGTT200K core^[9]. etc. Therefore, to the complement and increase and fulfill the knowledge of the graphite material effect on the performance of neutronic on the HTGR pebble bed core, a study entitled Effect of Ratio F / M Against the neutron flux distribution in HTGR-10 MWT pebble bed core is conducted. The purpose of this study is to obtain the F / M ratio that is optimal to be applied in all HTGR-10 MWth core based on the neutron flux distribution in the HTGR pebble bed core. Research carried out by using a Monte Carlo program package transport MCNP6^[10-11].

BASIC THEORY

Description HTGR-10 MWth

HTGR-10MWth pebble-bed is a high-temperature nuclear reactor designed to operate in input temperatures of approximately 250 °C and have output temperature of around 700 °C and a thermal power of 10 MW. Coolant fluid of HTGR-10 MWth is an inert helium gas which is directly forwarded to the heat exchanger system (HE). The operational pressure within HTGR-10 MWth pebble-bed core is 3 MPa in which the mass flow rate of the cooling fluid helium for full power is 4.3 kg/s. To realize the concept of inherent safety, then the construction materials of HTGR-10 MWth is very dominated by the carbon element (graphite) which will produce a negative reactivity^[12].

HTGR-10 MWth is constructed to have the active core of 197 cm height with a radius of 90 cm. Reflectors are made of the graphite material which surrounds the core of HTGR-10 MWth with axial thick of 100 cm. In the reflector area within 5 cm from the edge of the reflector, there are the 10 holes arrangement of the control rods each with a diameter of 13.0 cm and an interval of 360 angle. There are also 7 small balls holes absorber as well as 3-holes-irradiation shaped of ellips with diameter of 13 cm. Small absorber ball diameter is 5 mm. Additionally, along with a distance of 50 cm from the edge of the reflector, there are 20 holes helium cooling with a diameter of 4.0 cm. Reflectors are then coated with a core barrel which made of stainless steel with a thickness of 5 cm. The upper reflector with a thickness of 130 cm which is also made of graphite, placed at 41 cm higher than the upper limit active core. Space with thickness is 41 cm between active high and the upper reflector left empty (void). bottom of the core on HTGR-10MWth pebble-bed which funnel-shaped is useful for driving out the former pebble caused of burning result. At the initial of criticality condition, the funnel is filled by pebbles moderator with a diameter of 3 cm which made of graphite. To achieve the equilibrium core condition, then moderator pebble will be issued slowly. At the bottom of the core on HTGR-10MWth pebble-bed is also contained a reflector made of graphite. At a distance of 210 cm from the center of the core is placed tube press (pressure vessel) made of stainless steel with a thickness of 8 cm so can be shackle of HTGR-10 MWth pebble-bed reactor. The Biological shielding with the thickness of 2 m which made of regular concrete with a density of 2.3 g / cm³ is placed 10 cm in the pressure vessel.

A space with a thickness of 10 cm between the vessel pressure and the biological shield which containing dry air is the RCCS room (Reactor Cavity Cooling System) which is used to cool the reactor HTGR-10MWth pebble-bed. Fuel and moderator of HTGR-10MWth pebble-bed is pebble-shaped with a diameter of 6 cm. The fuel pebble is divided into a fuel zone with a radius of 2.5 cm and thickness of a wrapper graphite matrix of 0.5 cm. In the fuel zone is spread of 8335 kernels coated by layers of TRISO particles (TRI structure ISOMaterial). The kernel contains UO₂ fuel with a density of 10.4 gr/cc. The total mass of UO₂ fuel in one pebble is 5 grams. TRISO layers lining the kernel which composed of layers are A porous carbon buffer layer that serves to collect fission gases [8], the inner pyrolytic carbon layer (IPyC), the silicon carbide layer (SiC), the outer pyrolytic carbon layer (OPyC).

While the moderator pebble is made of solid graphite material. Illustrations and completed pebble fuel data are shown in Table 1 and Figure 1.

Table 1. Characteristic of Pebble Fuel and Moderator Ball [13-14]

PEBBLE					
Specification of KERNEL and TRISO					
Specification of KERNEL			Specification of TRISO Layer:		
Kernel	UO ₂	-	TRISO LAYER	Outer Diameter (cm)	Density (g/cm ³)
Enrichment (U-235)	17	%	Buffer	0,0340	1,05
Diameter of kernel	0,050	cm	IPyC	0,0385	1,90
Density of UO ₂	10,40	g/cm ³	SiC	0,0420	3,18
			OPyC	0,0460	1,90
Specification of Pebble Fuel bed and moderator pebble					
Specification of Pebble Fuel bed			Specification of Moderator (dummy ball):		
	Outer Diameter (cm)	Unit		Outer Diameter (cm)	Unit
Diameter of <i>pebble</i> ball	6,00	cm	Diameter of <i>moderator</i> ball	6,00	cm
Diameter of fuel active zone	5,00	cm	Material of Matrix	Graphite	-
Thickness of outer shell of graphite matrix	0,5	cm	Density	1,75	g/cm ³
Density of <i>outer shell</i> graphite matrix	1,75	g/cm ³			

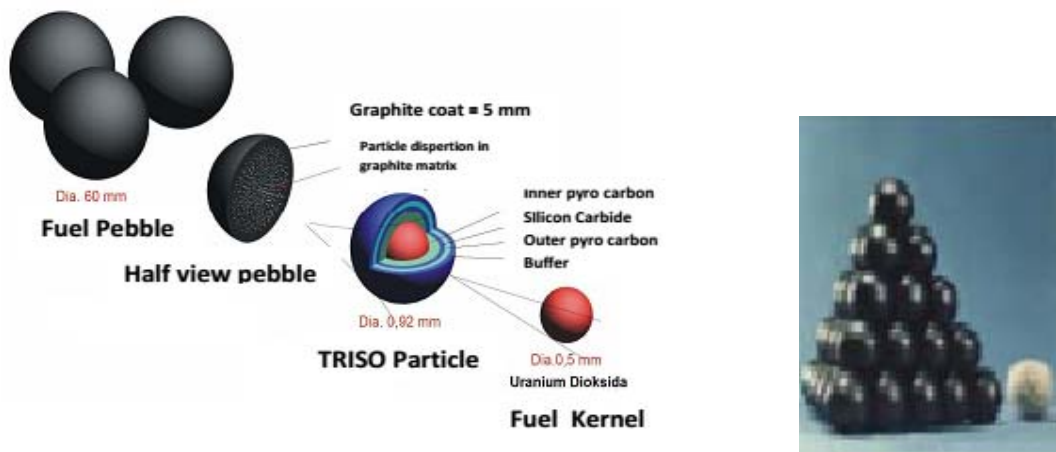


Figure 1. Fuel and moderator pebble construction

In the reactor core, the ratio of the fuel pebble to the moderator on the core has a certain comparison. In this study, variations in ratio of the number fuel pebble to moderator: are: 100: 0, 80:20, 60:40, 57:43, 52:48, 50:50, 40:60 and 20:80. While pebble fuel and moderators are arranged in the form of a lattice BCC (Body Centered Cubic). The variation of the F: M ratio was performed to consider the effective moderation ratio in the reactor core

MCNP Program Packages

MCNP is a widely used program package for calculating transport phenomena in neutrons, photons, electrons, or a combination. The MCNP was designed and developed by the Monte Carlo X-5 team since 2003 on the Manhattan project at Los Alamos National Laboratory. In simulating the life journey of a neutron from birth until absorbed by the

material making up of the reactor, the MCNP uses a process of probabilistic statistical duplication. Therefore the MCNP program package can be used to solve complex problems in three-dimensional form and Complicated issues that can not be done by modeling using deterministic methods

In its development to date, MCNP has launched the MCNP6.1 program package. In the MCNP6.1 program package, users can perform neutronic calculations up to the calculation of burn-up. The MCNP6.1 program package utilizes a continuous energy cross-profile derived from the ENDF / B-VII.1 nuclear data library file^[15-16] and features a burn-up calculation facility using the CINDER-90 depletion program^[17-18]. Cinder 90 is a unique transmutation program package that has libraries of 63 cross section group consisting of 3400 nuclides, 1325 fission products, and more than 30 actinides in the atomic number range of $1 \leq Z \leq 103$.

METHODOLOGY

Research in this paper is done by using MCNP6.1 program package. The Research begins with modeling of HTGR-10MWth construction using MCNP6.1 program package. Data used in accordance with the description that has been described. The modeled HTGR-10MWt construction includes a diameter reactor core of 90 cm surrounded by a reflector made of graphite material for radial, top and bottom directions. Modeling is also done for the cone where fuel and moderator released, control rod channels, helium cooling channels and canals of small balls absorber, irradiation channels, RSCC space and biological shields as thick as 200 cm. The atomic density data of each HTGR-10MWt zone follows the existing atomic zone density data in HTR-10 that has been modified in accordance with the cross-profile library ENDF / B-VII. These data are used as input parameters in the MCNP6.1 program package. Description of each zone on HTGR-10Mwt can be seen in Table 2.

Table 2. Atomic zone density at HTGR-10MWth [19]

No	No. zone	Atomic density of carbon (atom/barn-cm)	Atomic density of boron Natural (atom/barn-cm)	Description
1.	83-90	0.851047E-01	0.456926E-06	Bottom reflector with hot helium flow borings
2.	1	0.729410E-01	0.329811E-02	Boronated carbon bricks
3.	2	0.851462E-01	0.457148E-06	Top graphite reflector
4.	3	0.145350E-01	0.780384E-07	Cold helium chamber
5.	4	0.802916E-01	0.431084E-06	Top reflector
6.	6,7,91-97	0.572501E-01	0.277884E-08	Dummy balls, simplified as graphite of lower density
7.	8	0.781408E-01	0.419537E-06	Bottom reflector structures
8.	9	0.823751E-01	0.442271E-06	Bottom reflector structures
9.	10	0.843647E-01	0.298504E-03	Bottom reflector structures
10.	11	0.817101E-01	0.156416E-03	Bottom reflector structures
11.	12	0.850790E-01	0.209092E-03	Bottom reflector structures
12.	13	0.819167E-01	0.358529E-04	Bottom reflector structures
13.	14	0.541118E-01	0.577456E-04	Bottom reflector structures
14.	15	0.332110E-01	0.178309E-06	Bottom reflector structures
15.	16	0.881811E-01	0.358866E-04	Bottom reflector structures
16.	17,55,72,74,75,76,78,79	0.765984E-01	0.346349E-02	Boronated carbon bricks
17.	18,56,73	0.797184E-01	0.000000E+00	Carbon bricks
18.	19	0.761157E-01	0.344166E-02	Boronated carbon bricks
19.	20	0.878374E-01	0.471597E-06	Graphite reflector structure
20.	21	0.579696E-01	0.311238E-06	Graphite reflector structure
21.	22,23,25,49,50,52,54,66,67,69,71,80	0.882418E-01	0.473769E-06	Graphite reflector structure
22.	24,51,68	0.879541E-01	0.168369E-03	Graphite reflector structure

23.	26	0.846754E-01	0.454621E-06	Graphite reflector structure
24.	27	0.589319E-01	0.266468E-02	Boronated carbon bricks
25.	28,82	0.678899E-01	1.400000E-05	Graphite reflector structure
26.	29	0.403794E-01	1.400000E-05	Graphite reflector structure
27.	30,41	0.678899E-01	0.364500E-06	Graphite reflector structure
28.	31-40	0.634459E-01	0.340640E-06	Graphite reflector, control rod borings region
29.	42	0.676758E-01	0.125331E-03	Graphite reflector structure
30.	43,45	0.861476E-01	0.462525E-06	Graphite reflector structure
31.	44	0.829066E-01	0.445124E-06	Graphite reflector structure
32.	46	0.747805E-01	0.338129E-02	Boronated carbon bricks
33.	47	0.778265E-01	0.000000E+00	Carbon bricks
34.	48	0.582699E-01	0.312850E-06	Graphite reflector structure
35.	53	0.855860E-01	0.459510E-06	Graphite reflector structure
36.	57	0.728262E-01	0.391003E-06	Graphite reflector structure
37.	58,59,61,63	0.760368E-01	0.408240E-06	Graphite reflector, cold helium flow region
38.	60	0.757889E-01	0.145082E-03	Graphite reflector, cold helium flow region
39.	62	0.737484E-01	0.395954E-06	Graphite reflector, cold helium flow region
40.	64	0.660039E-01	0.298444E-02	Boronated carbon bricks
41.	65	0.686924E-01	0.000000E+00	Carbon bricks
42.	70	0.861500E-01	0.861500E-01	Graphite reflector structure
43.	77	0.749927E-01	0.339088E-02	Boronated carbon bricks
44.	81	0.847872E-01	0.000000E+00	Dummy balls, but artificially taken as carbon bricks

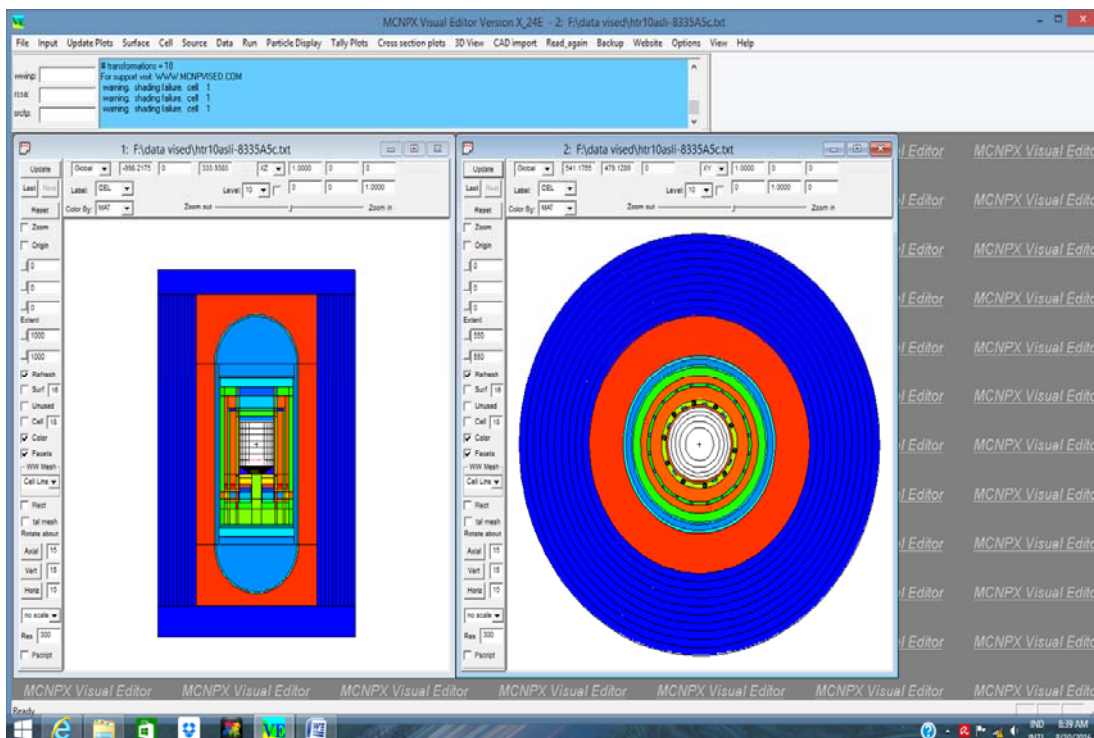


Figure 2. Results of HTGR-10MWth construction modeling using VISED program

Furthermore, HTGR-10MWth core is divided into 25 cells with the same volume, 5 axial lines, and 5 radial lines. The result of modeling can be seen using VISED program package. The results of the modeling illustration of the complete construction of HTGR-10MWth using the VISED program package shown in Figure 2.

The neutron energy distribution curve was obtained by determining the binary energy grid/group structure number in the EGS99304 program using 36 vitamin C groups. This distribution curve is needed to ensure that on the HTGR-10 MWt core there has been a nuclear reaction that transmits neutron particles. The neutron energy distribution curve for flux change per energy has a unique shape of the curve

The next stage was calculating neutron multiplication and neutron flux which had been normalized on every cell on HTGR-10 MWt core with 17% enrichment level and kernel amount at fuel pebble of 8335 curve shape. The ratio of pebble fuel to pebble moderator used is 100: 0, 80:20, 60:40, 57:43, 52:48, 50:50, 40:60 and 20:80. All calculations of neutron multiplication and neutron flux were conducted using MCNP6.1 with KCODE 2500 1.0 10 110 and KSRC 0.0 0.0 0.0 and Mode n p. Thus the calculation will follow 1000 total cycles with the first 10 cycles skipped and the source position lies on the coordinates (0,0,0). While the Tally which is used is the option Tally F4 and Tally En. Tally F4 serves to calculate the average flux in the cell while the En tally is used to obtain the flux distribution obtained by the desired energy bin.

RESULTS AND DISCUSSION

The results of the neutron energy distribution against the neutron spectrum on the HTGR-10 MWt core obtained are shown in Figure 3. This distribution curve is required to ensure that on the HTGR-10 MWt core has been a nuclear reaction with the neutron particle emitter. The resulting curve corresponds to the curves obtained by other researchers on the nuclear reactor core [20-21], so it can be ascertained that on the HTGR- 10MWt has happened nuclear reaction.

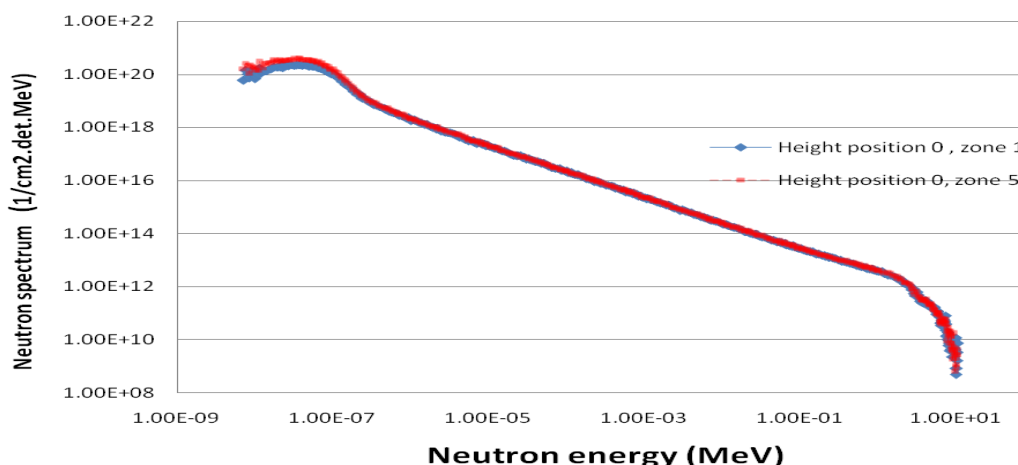


Figure 3. Neutron spectrum profile of neutron energy at center of HTGR-10MWth core

Figure 3 shows the characteristic neutron spectrum shape on HTGR 10 MWth core. In the rapid neutron region, there is a peak decline. This condition is due to the construction on HTGR 10 MWth core is dominated by carbon element. Accordingly, many fast neutrons are moderated.

In position height 0, zone 1 or altitude 0, zone 5 shows the same shape. The higher of the neutron energy than the lower the neutron spectrum. Figure 3 also shows that the maximum neutron spectrum occurs at low neutron energies within the thermal neutron energy group with an energy interval below 0.5 eV. From the neutron spectrum curve, it can be seen that the HTGR-10 MWt reactor core dominantly emits thermal neutrons.

From the results of normalized neutron flux calculations on the HTGR-10 MWt core that have been divided into 25 cells using MCNP6.1 as well as the F4 tally, option obtained results as shown in Table 3.

Tabel 3. Results of MCNP 6.1 for neutron flux on HTGR-10 MWth core

Position of core height	F:M=100:0				
	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5
	$R_{\text{average}}=20.12$	$R_{\text{average}}=48.59$	$R_{\text{average}}=63.32$	$R_{\text{average}}=75.11$	$R_{\text{average}}=85.25$
78.60	5.12E+13	4.73E+13	4.39E+13	4.12E+13	3.84E+13
39.30	7.76E+13	7.15E+13	6.54E+13	5.98E+13	5.44E+13
0.00	9.03E+13	8.22E+13	7.54E+13	6.87E+13	6.22E+13
-39.30	8.86E+13	8.11E+13	7.38E+13	6.69E+13	6.06E+13
-78.60	7.47E+13	6.77E+13	6.12E+13	5.51E+13	4.96E+13
Position of core height	F:M=80:20				
	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5
	$R_{\text{average}}=20.12$	$R_{\text{average}}=48.59$	$R_{\text{average}}=63.32$	$R_{\text{average}}=75.11$	$R_{\text{average}}=85.25$
78.60	5.30E+13	4.97E+13	4.61E+13	4.25E+13	3.91E+13
39.30	8.50E+13	7.85E+13	7.06E+13	6.33E+13	5.70E+13
0.00	1.02E+14	9.26E+13	8.31E+13	7.42E+13	6.64E+13
-39.30	9.89E+13	8.97E+13	8.09E+13	7.22E+13	6.45E+13
-78.60	7.87E+13	7.20E+13	6.51E+13	5.85E+13	5.20E+13
Position of core height	F:M=60:40				
	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5
	$R_{\text{average}}=20.12$	$R_{\text{average}}=48.59$	$R_{\text{average}}=63.32$	$R_{\text{average}}=75.11$	$R_{\text{average}}=85.25$
78.60	5.91E+13	5.44E+13	5.04E+13	4.66E+13	4.28E+13
39.30	9.46E+13	8.62E+13	7.80E+13	7.03E+13	6.26E+13
0.00	1.12E+14	1.01E+14	9.12E+13	8.11E+13	7.19E+13
-39.30	1.10E+14	9.86E+13	8.79E+13	7.86E+13	7.00E+13
-78.60	8.78E+13	7.91E+13	7.03E+13	6.29E+13	5.59E+13
Position of core height	F:M=57:43				
	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5
	$R_{\text{average}}=20.12$	$R_{\text{average}}=48.59$	$R_{\text{average}}=63.32$	$R_{\text{average}}=75.11$	$R_{\text{average}}=85.25$
78.60	5.96E+13	5.55E+13	5.14E+13	4.72E+13	4.30E+13
39.30	9.62E+13	8.72E+13	7.85E+13	6.99E+13	6.22E+13
0.00	1.13E+14	1.02E+14	9.15E+13	8.19E+13	7.29E+13
-39.30	1.11E+14	1.00E+14	9.01E+13	8.01E+13	7.09E+13
-78.60	8.85E+13	8.02E+13	7.18E+13	6.44E+13	5.69E+13
Position of core height	F:M=52:48				
	Thermal neutron flux				

	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5
	$R_{\text{average}}=20.12$	$R_{\text{average}}=48.59$	$R_{\text{average}}=63.32$	$R_{\text{average}}=75.11$	$R_{\text{average}}=85.25$
78.60	6.29E+13	5.81E+13	5.31E+13	4.89E+13	4.49E+13
39.30	1.01E+14	9.13E+13	8.18E+13	7.38E+13	6.67E+13
0.00	1.20E+14	1.08E+14	9.74E+13	8.65E+13	7.68E+13
-39.30	1.16E+14	1.05E+14	9.43E+13	8.40E+13	7.43E+13
-78.60	9.14E+13	8.27E+13	7.38E+13	6.57E+13	5.80E+13
F:M=50:50					
Position of core height	Thermal neutron flux				
	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5
	$R_{\text{average}}=20.12$	$R_{\text{average}}=48.59$	$R_{\text{average}}=63.32$	$R_{\text{average}}=75.11$	$R_{\text{average}}=85.25$
78.60	6.28E+13	5.75E+13	5.33E+13	4.90E+13	4.46E+13
39.30	1.04E+14	9.35E+13	8.32E+13	7.49E+13	6.65E+13
0.00	1.22E+14	1.10E+14	9.84E+13	8.74E+13	7.69E+13
-39.30	1.17E+14	1.06E+14	9.46E+13	8.44E+13	7.47E+13
-78.60	9.30E+13	8.44E+13	7.58E+13	6.71E+13	5.88E+13
F:M=40:60					
Position of core height	Thermal neutron flux				
	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5
	$R_{\text{average}}=20.12$	$R_{\text{average}}=48.59$	$R_{\text{average}}=63.32$	$R_{\text{average}}=75.11$	$R_{\text{average}}=85.25$
78.60	6.98E+13	6.38E+13	5.86E+13	5.39E+13	4.89E+13
39.30	1.13E+14	1.02E+14	8.32E+13	8.24E+13	7.29E+13
0.00	1.32E+14	1.19E+14	1.07E+14	9.46E+13	8.37E+13
-39.30	1.25E+14	1.14E+14	1.02E+14	9.07E+13	7.98E+13
-78.60	9.79E+13	8.96E+13	8.02E+13	7.08E+13	6.20E+13
F:M=20:80					
Position of core height	Thermal neutron flux				
	zone 1	zone 2	zone 3	zone 4	zone 5
	$R_{\text{average}}=20.12$	$R_{\text{average}}=48.59$	$R_{\text{average}}=63.32$	$R_{\text{average}}=75.11$	$R_{\text{average}}=85.25$
78.60	8.39E+13	7.69E+13	7.08E+13	6.52E+13	5.96E+13
39.30	1.39E+14	1.25E+14	1.12E+14	9.98E+13	8.84E+13
0.00	1.67E+14	1.50E+14	1.34E+14	1.18E+14	1.04E+14
-39.30	1.61E+14	1.44E+14	1.30E+14	1.15E+14	1.01E+13
-78.60	1.27E+14	1.14E+14	1.02E+14	9.05E+13	7.92E+13

As an illustration based on table 2, the 3-dimensional shape of the neutron flux on the HTGR-10 MWt core for F: M = 100: 0 can be seen in Figure 4. As an illustration based on table 2, the 3-dimensional shape of the neutron flux on the HTGR-10 MWt terraces for F: M = 100: 0 can be seen in Figure 4.

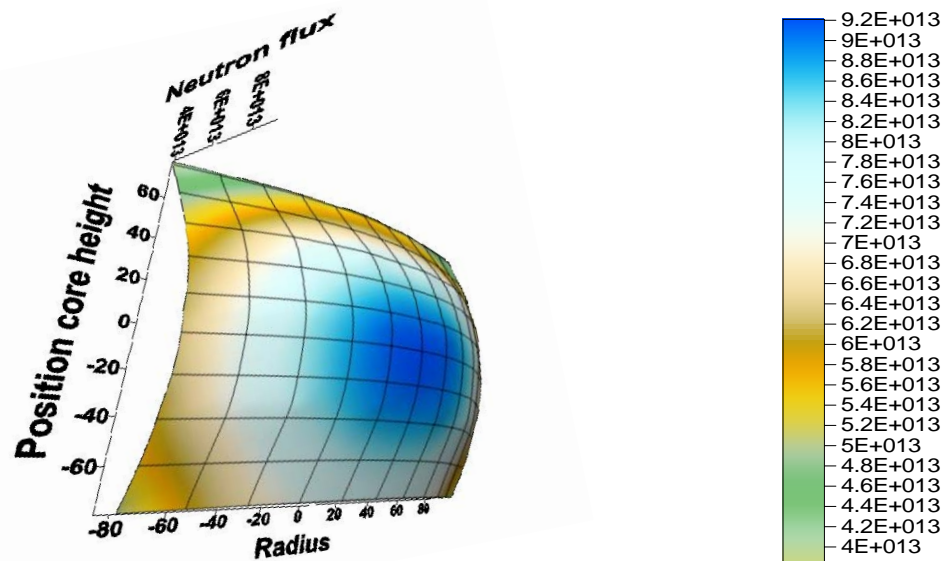


Figure 4. Profile of neutron flux on HTGR-10 MWth in 3-dimensional form F: M = 100: 0

Table 3 and Figure 4, shows that the largest neutron flux is in the middle of the HTGR-10 MWth core at height position of 0 cm and at an interval of 20.12 cm radius zone which is at the center of the terrace and the zone became the center of a nuclear reaction.

Description of the maximum neutron flux distribution based on F: M variation by using the 2-dimensional graph for axial neutron flux distribution can be seen in Figure 5 while for neutron flux radial distribution shown in Figure 6. From Figure 5 it can be seen that the highest neutron flux value occurs when the ratio F: M = 20: 80 while the smallest neutron flux occurs when the ratio F: M = 100: 0. This condition indicates that the more moderator balls that filled the HTGR-10 MWth core then the greater the neutron interaction. In addition from Figure 5 it also gives information that for all FM ratio, the neutron flux value will be lower when the position height of core is higher or lower altitude positions. While from Figure 6 shows that the greater the radius of the core (the more towards the reflector) the more decreasing the value of flux neutrons that occur. While based on the ratio F: M the highest neutron flux distribution value occurs at F: M = 20:80 and the lowest flux distribution value occurs at F: M = 100: 0.

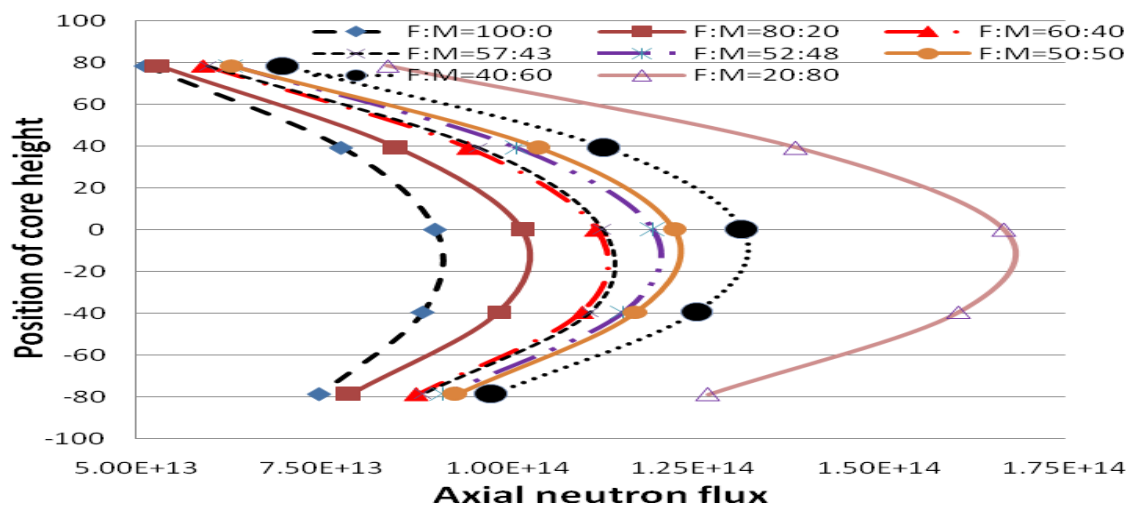


Figure 5. Axial neutron flux distribution for variation F: M at the center core of the radial direction (R radial) = 0

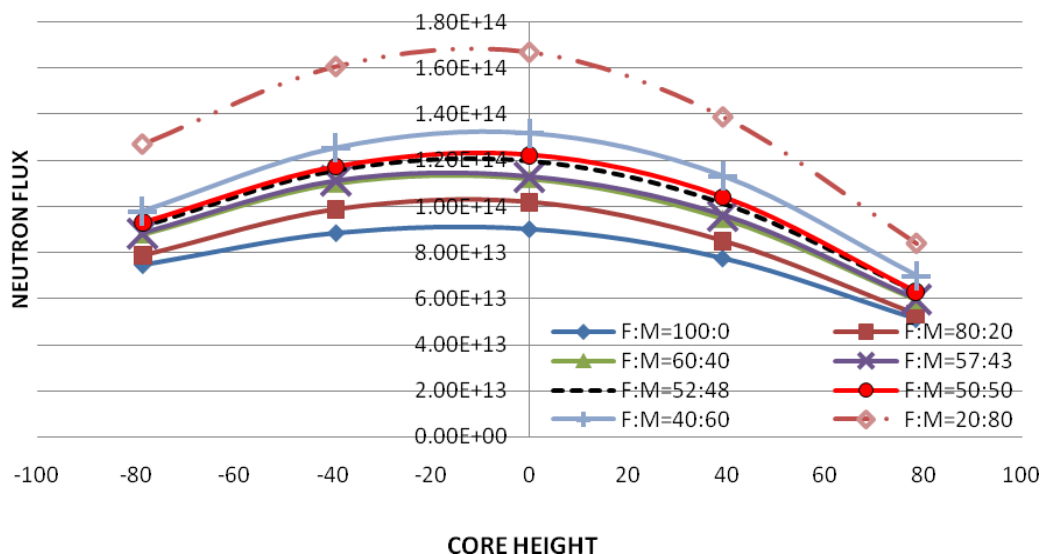


Figure 6. The radial neutron flux distribution for variation F: M at altitude 0

The relationship of neutron flux and the multiplication value against for fuel ratio can be seen in Figure 7. Figure 7, explains that the higher the fuel ratio to the moderator entering the reactor core will result in increased neutron multiplication value following the equation :

$$y = 0,000001 x^3 + 0,022 x + 0,1 \quad (1)$$

Where :

y : multiplication factor

x : fuel ratio (%)

This condition is caused by the more fuel the U-238 enriched or the more moderators inside the core will cause the larger the moderated neutrons so the more neutrons that pound the fuel kernel. Different is indicated by neutron flux, the higher the ratio of fuel to the moderator that goes into the reactor core will result in low flux value of neutrons following the equation :

$$y = -2,0 10^8 + 4,0 10^{10} x^2 + 2,0 10^{14} \quad (2)$$

where :

y : neutron flux

x : fuel ratio (%)

The more moderators that get into the core then its causing more fuel burning so that the higher the burnup happens. It is therefore necessary to find the optimal conditions for the multiplication value to be in the range of values $k_{eff} = 1.03$ to accommodate the reactivity occurs while the flux value of neutrons remains high. Figure 7, shows that optimum conditions can be achieved when the ratio of fuel to the moderator is in the interval of 40% to 60%.

Figure 7 shows that optimum conditions can be achieved as the fuel ratio to the moderator is in the range of 40% to 60%. Table 2 shows that is the more moderator ratios put into the core will result in higher neutron flux values. This condition shows that the more a moderator in the core will lead to greater neutron moderated so that more neutrons pounding the fuel kernel.

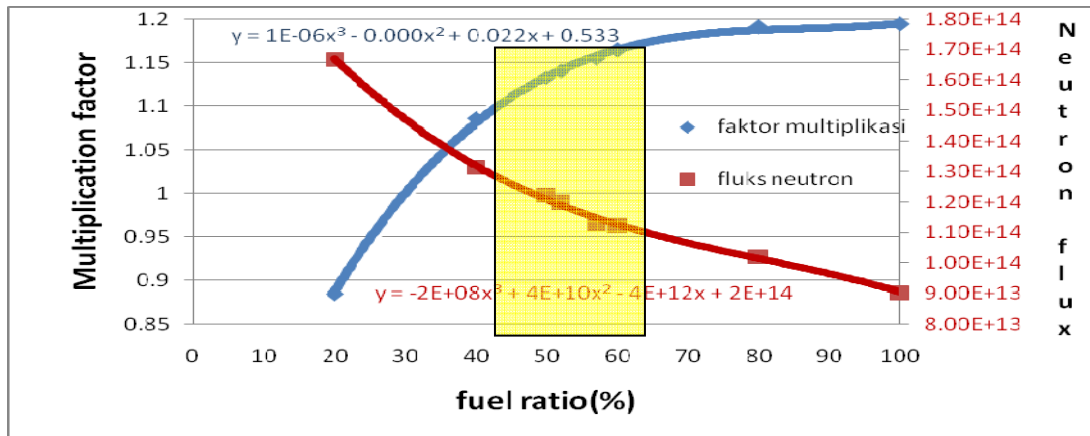


Figure 7. Multiplication factor curve and neutron flux on fuel ratio on HTGR-10MWth

CONCLUSION

From the calculation of neutron flux with all the control rods conditions fully lifted is in the middle of the HTGR-10 MWth core at a height of 0 cm and at a radius of 20.12 cm is the nuclear reaction center. The more moderator ratio put into the core will result in higher neutron flux values.

The highest neutron flux value can reach $1.32E + 14$ n / cm² det at F: M = 40:60 with height of 0 cm and radius 20,12 cm (zone 1) Optimal neutron flux conditions can be achieved when the ratio of fuel to the moderator is in the range of 40% to 60%.

ACKNOWLEDGMENT

The author would like to thank Saiful Bahri Ph D. as the Head of Reactor Physics and Technology Division (BFTR) - PTKRN BATAN for his suggestion and improvement so that this paper can be written and completed properly. Encouragement and help and discussion from our BFTR colleagues are greatly appreciated

REFERENCES

1. HERY ADRIAL, "Efek Fraksi Pebble Dalam Perhitungan Koefisien Reaktivitas Doppler RGTT200K", Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR – BATAN Bandung, 4 Juli 2013
2. Rômulo V. Sousa, Clarysson A. M. Silva, Ângela Fortini, et al, " A Neutronic Evaluation of the HTR-10 Using Scale, MCNPX and MCNP5 Nuclear Codes", *Proc. ASME*. 45936; Volume 3: Next Generation Reactors and Advanced Reactors; Nuclear Safety and Security, V003T05A034. July 07, 2014
3. Fubing Chen, Yujie Dong, and Zuoyi Zhang, "Temperature Response of the HTR-10 during the Power Ascension Test", *Science and Technology of Nuclear Installations Volume 2015 (2015)*
4. ZUHAIR dan SUWOTO, " Studi Perhitungan Faktor Multiplikasi Reaktor Pebble-Bed Sebagai Fungsi Radius Kernel Bahan Bakar pada Berbagai Pengkayaan", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 14 Juli 2009.
5. Hans D. Gougar, R. Sonat Sen, " On The Evaluation Of Pebble Bead Reactor Critical Experiments Using The Pebbed Code", *Proceedings of the HTR 2014 Weihai, China*, October 27-31, 2014
6. Peng Huang, Xihua Liang and Xiaoming Chen, " The Operation Characteristics Of The Fuel Handling System Of HTR-10", *Proceedings of the 18th International Conference on Nuclear Engineering ICONE18* May 17-21, 2010, Xi'an, China.
7. ZUHAIR, SUWOTO, IGN. DJOKO IRIANTO, " Studi Optimasi Moderasi Neutron Dalam Teras HTR Pebble Bed", *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* Vol. 12 No. 2, Desember 2010.

8. Meng-Jen Wang, Rong-Jiun Sheu, Jinn-Jer Peir, et al," Criticality calculations of the HTR-10 pebble-bed reactor with SCALE6/CSAS6 and MCNP5", Annals of Nuclear Energy", Annals of Nuclear Energy Volume 64, Pages 1-518 (February 2014).
9. ZUHAIR dan SUWOTO, "Analisis Perhitungan Koefisien Reaktivitas Bahan Bakar dan Moderator Teras RGTT200K", Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, Bandung, 4 Juli 2013.
10. X-5 MONTE CARLO TEAM,"Monte Carlo N-Particle Transport Code System Including MCNP6.1, MCNP5-1.60, MCNPX-2.7.0 and Data Libraries, 2013
11. X-5 MONTE CARLO TEAM MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code,Version 5 - Vol. I: Overview and Theory, LA-UR-03-1987 (April 2003, revised 2/1/2008).
12. Zuhair, Suwoto, dan Ign. Djoko Irianto A, "Analisis Perhitungan Koefisien Reaktivitas Doppler Partikel Triso Reaktor Temperatur Tinggi", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol. 13 No. 1, Juni 2011
13. Volkan ,Seker, Üner Çolak ,," HTR-10 full core first criticality analysis with MCNP", Nuclear Engineering and Design 222 (2003) 263–270
14. Zuhair, Suwoto, Putranto Ilham Yazid, et al," Studi Model Benchmark Mcnp6 Dalam Perhitungan Reaktivitas Batang Kendali HTR-10", Jurnal Iptek Nuklir Ganendra Ganendra Journal of Nuclear Science and Technology Vol. 9, No. 2, Juli 2016: 95-103
15. Do Heon Kim , Choong-Sup Gil, and Young-Ouk Lee , "Current Status of ACE Format Libraries for MCNP at Nuclear Data Center of KAERI", J Radiat Prot Res 2016; 41(3): 191-195
16. Holly R. Trellue, Robert C. Little, Morgan C. White, et al, "ENDF70: A Continuous-Energy MCNP Neutron Data Library Based on ENDF/B-VII.0", Nuclear Technology / Volume 168 / Number 3 / December 2009 / Pages 832-836
17. Eleonora Bomboni, Nicola Cerullo, Emil Fridman, et al, "Comparison Among MCNP-Based Depletion Codes Applied To Burnup Calculations Of Pebble-Bed HTR Lattices", Nuclear Engineering and Design 204:918-924 · April 2010
18. Sung-Min Kim and Myung Hyun Kim, "A Study on MCNPX-CINDER90 System for Activation Analysis", Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting Pyeongchang, Korea, October 30-31, 2014
19. WILLIAM K. TERRY, ET AL, "Evaluation Of The Initial Critical Configuration Of The Htr-10 Pebble-Bed Reactor". HTR10-GCR-RESR-001 CRIT-REAC, NEA/NSC/DOC(2006)
20. K Tiya Pun1 , M Chintin, S Munsorn, et al," Validation Of The MCNP Computational Model For Neutron Flux Distribution With The Neutron Activation Analysis Measurement", Journal of Physics: Conference Series 611 (2015) 012007
21. Amir Hamzah, "Analisis Laju Dosis Neutron Reaktor PLTN PWR 1000 MWe Menggunakan Program MCNP:", J. Tek. Reaktor. Nukl. Vol. 14 No.2 Juni 2012, Hal. 65-75.

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: Ihda Husnayani (PTKRN-BATAN)

- Kenapa bila F:M=100:0 nilai fluks nya lebih rendah dibandingkan yang lain?

JAWABAN: Hery Adrial (PTKRN - BATAN)

- Pada kondisi $F:M = 100:0$ maka pada teras reaktor tidak terdapat bola-bola moderator sehingga neutron yang berasal dari kernel hanya dimoderasi oleh unsur karbon yang terdapat pada lapisan TRISO dan bahan matrik pada bola bahan bakar sehingga neutron yang termoderasi sangat sedikit. Kondisi ini akan menyebabkan fluks yang terjadi menjadi kecil.

PRELIMINARY STUDY TO PREDICTION OF OXIDATION GRAPHITE SHELL FUEL OF HTGR ON ATWS CONDITION

Elfrida Saragi¹, GeniRina Sunaryo², Syaiful Bakhril³

^{1,2,3}Centre for Nuclear Reactor Technology and Safety, National Nuclear Energy Agency of Indonesia (BATAN), Puspittek Area, Building 80, Serpong, 15310, Indonesia.

Email: frida@batan.go.id

ABSTRACT

PRELIMINARY STUDY TOPREDICTION OF OXIDATION GRAPHITE SHELL FUEL OF HTGR ON ATWS CONDITION. One form of fuel HTGR is a sphere shape. Spherical fuel of high temperature gas-cooled reactor (HTGR) is coated in graphite. One of the causes of the weakness of graphite structure is due to graphite degradation. One of the accidents occurring in a high temperature gas cooled reactor (HTGR) type is air in-leakage to the primary system called air ingress. Air ingress is preceded by a pressure drop (D-LOFC) that leads to the degradation of the graphite shell fuel due to chemical reactions between oxygen and graphite at temperatures above 950 °C and heating reactor core. The events of air ingress occurs in conditions of D-LOFC on the anticipated transient without scram (ATWS). The air ingress is considered as hypothetical scenario. The purpose of this study is to find out the strength of the structure of the graphite shell of HTGR due to oxidation occurring on air ingress-D-LOFC conditions. To determine the effect of oxidation on the integrity of the fuel shell structure, the rate of oxidation is estimated using computational simulations with GRSAC Code. The computational simulation used the data PBMR 400 MWt. The computational simulation is resulted in an oxidation rate of 300 g/min for 60 hours with an ATWS delayed of 2,000 minutes with depressurization for 50 minutes. Fractional weight loss due to oxidation of 0.49 with a time of 125 hours is obviously smaller than the Idaho National Laboratory (INL) results of 0.647. Therefore, strength of the mechanical structure of graphite fuel shell is still in good condition.

Keywords: Shell Graphite, Oxidation rate, Mechanical strength, ATWS, GRSAC code.

ABSTRAK

STUDI AWAL UNTUK MEMPREDIKSI OKSIDASI GRAFIT SHELL BAHAN BAKAR HTGR PADA KONDISI ATWS. Salah satu bentuk bahan bakar HTGR adalah bentuk bola. Bahan bakar bola tipe reaktor berpendingin gas bersuhu tinggi (HTGR) dibungkus dengan grafit. Salah satu penyebab kelemahan struktur grafit adalah karena degradasi grafit. Salah satu kecelakaan yang terjadi dalam reaktor tipe HTGR adalah masuknya udara ke dalam rangkaian sistem primer yang disebut dengan air ingress. Kecelakaan masuknya udara didahului dengan penurunan tekanan (D-LOFC) yang menyebabkan degradasi bahan bakar grafit shell akibat reaksi kimia antara oksigen dan grafit pada suhu di atas 950°C dan pemanasan teras reaktor. Peristiwa ingress udara terjadi pada kondisi D-LOFC pada transien yang diantisipasi tanpa scram (ATWS). Untuk skenario hipotetis ini, dilakukan pada peristiwa air ingress. Tujuan dari studi ini adalah untuk mengetahui kekuatan struktur mekanik shell grafit HTGR akibat oksidasi yang terjadi pada kondisi air ingress-D-LOFC. Untuk mengetahui dampak oksidasi integritas struktur shell bahan bakar, laju oksidasi diestimasi menggunakan simulasi komputasi dengan GRSAC code. Simulasi komputasi menggunakan data PBMR 400 MWt. Hasil simulasi komputasi diperoleh laju oksidasi sebesar 300g/min selama 60 jam dengan waktu tunda ATWS selama 2000 menit dengan depressurize selama 50 menit. Fraksi kehilangan berat selama oksidasi sebesar 0,49 dengan waktu 120 jam, lebih kecil dari hasil INL yaitu 0,647. Oleh karena itu, kekuatan struktur mekanik shell grafit bahan bakar HTGR masih kondisi baik.

Kata kunci: Shell Grafit, laju oksidasi, Kekuatan mekanik, ATWS, Code GRSAC

INTRODUCTION

Experimental power reactor is a type of high-temperature reactor using helium gas as a coolant. One form of high temperature reactor fuel is a spherical fuel element. UO_2 fuel kernel in a matrix containing graphite coated PYC and SiC or ZrC[1-3]. In addition, graphite is relatively inert chemically, thermally highly conductive, have a high heat capacity, easy to make, and has excellent mechanical properties at high temperatures. Therefore, the main component of the terrace as a moderator and reflector of neutrons, fuel element, cladding, as well as in the core structure are designed using graphite material. As discussed by Zhou et al. [1], nuclear grade graphite is widely used as matrix of the spherical fuel elements, thereflectors, and structure material of the HTR-PM. The depressurization and core heat-ups can cause air ingress. Although this is considered to be an 'beyond design base accident' (BDBA), it gets high attention because it can cause oxidation of the reflector graphite and fuel elements so that it can weaken the strength of the structure and decrease the ability of coated particles to maintain the fission product. K. Vierow, K. Hogan, et al discussed about identified for a postulated Loss of Forced Circulation event in a Pebble Bed Modular Reactor[2]. Accidents that occur at high temperature reactor is to have two types; the pressure loss of force coolant (P-LOFC) and depressurize loss of force coolant (D-LOFC) following an accident transients without scram (anticipated transient without scram). Efrida Saragi, et.al has discussed to determine the temperature profile experienced by the fuel on accident scenarios P-LOFC and D-LOFC with ATWS[3].

Anticipated transients without scram (ATWS) accidents are usually follow-on events to LOFC events and involve the control and safety rods, along with the reserve shutdown system (RSS) or small absorber spheres (SAS) not functioning, or with one or more control rods withdrawing at the time of LOFC initiation. Accidents that occur at high temperature reactor are the air ingress or water ingress due to depressurization. After the depressurization stage, it is supposed that air enters the reactor core from the breach due to molecular diffusion and natural circulation of a multi-component gas mixture induced by the distribution of gas temperature and the resulting concentrations in the reactor. Carbon monoxide (CO) and dioxide (CO_2) are produced in the reactor, because the oxygen (O_2) contained in air reacts with the high temperature graphite structures[4-6]. Sign water or water into the main circuit to the terrace will corrode the graphite and accelerated by high temperatures. Chen Zhipeng, et al had discussed rate and severity of the air ingress and potential for oxidation in the 200 MWe Pebble bed Modular High Temperature gas-cooled Reactor (HTR-PM)[4]. One of accidents that occur at high temperature reactor is the air ingress. Liu Peng, et al had discussed on air ingress of the 200 MWe pebble-bed modular [5]. The consequence of air ingress is delayed (delayed entry of air) then depressurization accident occurred at high temperature reactor [5-6]. Therefore, in the case of air ingress conditions on ATWS conditions need to be considered[9-10]. Temperature is an important factor in oxidation process and had a role in the process of degradation due to interaction air with the graphite (air ingress)[12-16]. In 2012, Chang H. Oh, Eung Soo Kim had discussed various water ingress mitigation concept applies to VHTRs that will prevent core damage even in the most extreme scenario[14].

The operating and accident temperatures in the core following a D-LOFC, air ingress could cause significant oxidation. Air ingress into the primary system is a safety concern because of the damage it could cause by oxidizing graphite structures and perhaps other components within the vessel and primary system, and by oxidation damage to the fuel (TRISO particles). The purpose of this study is to predict the strength of the graphite shell of HTGR due to oxidation occurring on D-LOFC conditions. Input data using the data of PBMR 400 MWt. The expected result is the mechanical strength of the graphite due to oxidation on ATWS-DLOFC conditions. The analytical method used is the computational modeling of oxidation rate using GRSAC code [3,6,11,15]. The effect of graphite oxidation on mechanical strength is calculated analytically.

THEORY

Factors that cause degradation of the graphite structure which is resulted in the weakening of mechanical strength of graphite as shown in Figure 1.



Figure 1. Root causes of air-ingress accident [17,19]

As shown in the middle of Fig. 1, the weakening of the graphite structure is caused by (1) oxidation, and (2) high temperature. The root cause of these conditions originates from the temperature and molecular mass differences between the inside and outside of the reactor vessel [14-15]. The oxygen is the main reactant. Graphite oxidation cannot occur without air ingress. Oxidation (air inlet) is the reaction of oxygen with graphite depending on the temperature. The model for heat exchange from the coolant to the adjacent solid node at temperature T_s is used exponential approach method [16].

$$T_{co} = T_{ci} + (T_s - T_{ci}) (1 - e^{-hA/WC_p}) \quad (1)$$

where;

- T_{ci} is the coolant inlet temperature
- T_{co} is the coolant outlet temperatures
- T_s is temperature of surface
- W is helium mass flow, kg/s
- C_p is helium specific heat
- h is heat transfer coefficient
- A is cross section of the core, m^2

The chemical reaction that occurs is: $C + xO_2 \rightarrow yCo + zCO_2$ [4],[15-16]. The oxidation rates and structural failure are greatly affected by how fast the air ingresses. The high temperature in the reactor accelerates the graphite oxidation because the oxidation reaction exponentially increases with temperature according to the Arrhenius model. The purpose of this study was to determine the mechanical strength due to oxidation of the graphite. Effect of graphite oxidation to the mechanical strength by the following equation [4];

$$\frac{S}{S_o} = \exp(-10x) \quad (2)$$

where; x = fractional weight loss due to oxidation
 S = tensile strength

METHODOLOGY

The high temperature reactor is postulated on the condition anticipated transients without scram (ATWS). Postulations accident is the inclusion of air into the primary circuit and toward the reactor core (referred to air ingress). The calculation of the rate of oxidation of graphite using GRSAC code. Stages of the process undertaken to determine of oxidation rate using GRSAC code as follows. The first process is to select a scenario of an accident, and type of fuel. The second process is to provides input data. Input data on GRSAC code design consists of eight categories Nuclear design, core layout design, primary cooling design, graphite prop.& materials oxidation, reactor cavity design, vessel design, fuel element design. Design arrangement of fuel for the reactor core using GRSAC code as shown in Figure 2. . The third process is ATWS. The ATWS condition requires time delayed scram and on D-LOFC accident conditions is select to depressurization.

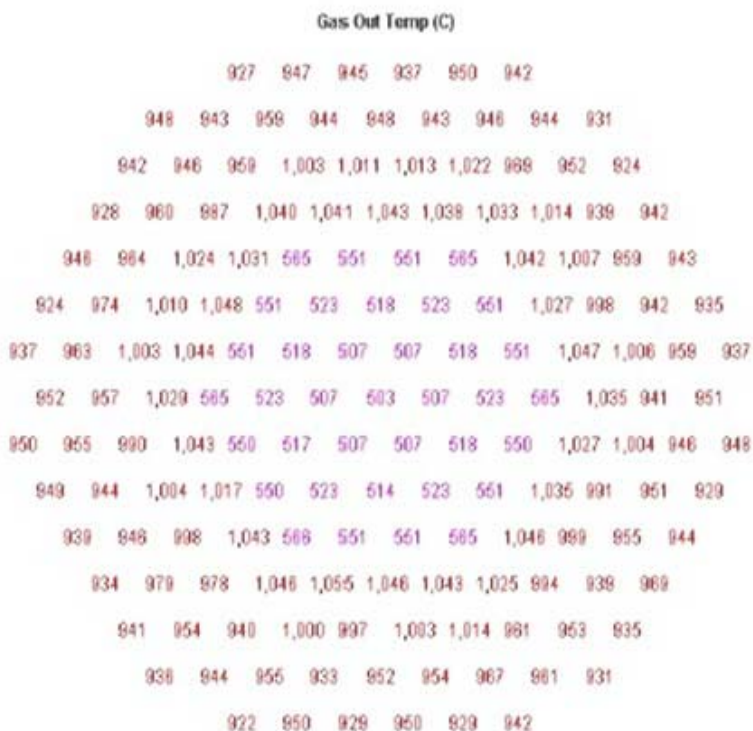


Figure 2. Display fuel arrays using GRSAC [1,3,15,16]

On enter data for cavity reactor is as follows. Reactor cavity design are required data i.e. shield cooler/reactor cooling cavity system (RCCS) area, reactor cavity effective, cavity wall thickness, vault (cavity) volume, air flow into vault, temperature inlet RCCS, flow RCCS coolant, air ingress chimney (on or off), chimney height. In P-LOFC accidents condition, air ingress chimney flag is off. The D-LOFC accidents condition is ON because this condition had occurred loss of coolant (leaked)[3],[16]. The ATWS condition requires time delayed scram and on D-LOFC accident conditions is select to depressurization. Air ingress is preceded by a depressurization accident. Anticipated transients without scram (ATWS) accidents are usually follow-on events to LOFC events and involve the control and safety rods, along with the reserve shutdown system (RSS) or small absorber spheres (SAS) not functioning, or with one or more control rods withdrawing at the time of LOFC initiation. The standard ATWS option in GRSAC is for no negative reactivity insertion, and involves checking the Delayed Scram box in the Programmed Inputs screen in addition to the other inputs as appropriate for the LOFC case[17]. The delay time for a scram to occur can be entered as a preprogrammed scram time, or set as a very large number to ensure that a scram is avoided throughout the entire run. The onset of air ingress is assumed to begin immediately, 2000 minutes (h) and 2500 minutes[15-16] with depressurization time of 50 minutes and 100 minutes. For the simulation data using the data input PBMR 400MWt as shown in Table 1. And input data on GRSAC code using Table 1. The result of program in graphical using a postprocessor program on GRSAC software.

Table 1. Operating Parameters of PBMR 400 MWt[1],[3-6],[14], [15-24].

Parameter	Units	Value
Core full (rated) power	MW(t)	400
RPF decay heat smear factor	dl	0.9
Fraction of refl. heat full power	dl	0.021
Side refl. bypass flow fraction	dl	0.13
Center refl. bypass flow fraction	dl	0.05
Core (active) outer diameter	m	3.7
Core (active) height	m	11
Central reflector diameter	m	2
Initial primary pressure	MPa	9
Initial total mass flow	Kg/s	192.5
RCCS (water) cooling flow	Kg/s	20
RCCS cooling T-inlet	°C	28
Core inlet temp	°C	496
Core outlet temp	°C	900
Ambient air temperature	°C	32
Outlet reflector height	m	1.5
Inlet reflector height	m	1.5
Side reflector outer diameter	m	5.7
Vessel inside diameter	m	6.2
Vessel thickness	m	0.2
Inlet plenum height	m	1
Outlet plenum height	m	1
RCCS emissivity	dl	0.75
Reflector emissivity	dl	0.8
Vessel inside emissivity	dl	0.8
Vessel outside emissivity	dl	0.75
Core barrel inner diameter	m	5.76
Bed void mean value	dl	0.383
core pressure drop	MPa	0.31

RESULTS AND DISCUSSION

Oxidation will cause degradation of the graphite structure, and increase the local load (stress). Internal oxidation between oxygen and graphite will invade the pore structure of graphite resulted in the weakening of mechanical strength. The results of computational simulation on D-LOFC condition are obtained the fuel temperature, the rate of oxidation of graphite on air ingress conditions. The temperature dependence of oxidation behavior for the graphite was investigated using GRSAC code. The model for heat exchange from the coolant to the adjacent solid node at temperature of surface used equation 1. The result of the calculation using equation 1. as shown in Fig.3. From Fig. 3, the graphite shell fuel temperature began to rise and reached a maximum temperature at 1650 °C within 40 hours and then dropped until 1320 °C within 100 hours. The increase of temperature is caused of loss of forced helium flow and loss of coolant (leak). When temperature of the shell fuel is higher than 600 °C, oxygen was almost dissipated by the structure of graphite [18,26]. This can occur because, at this temperature, good chemical reactivity and significantly increase the pore diffusion.

Based on the temperature profile shown in Fig. 3, the oxidation rate can be calculated using GRSAC code and the results are shown in Fig. 4. From Fig. 4, the rate of oxidation decreases slightly and then increases slowly until it reaches the level of the highest oxidation and finally down. Oxidation will occur air ingress. Air ingress caused degradation of the graphite shell fuel due to chemical reactions between oxygen and graphite. In Figure 4.a, the oxidation rate obtained on ATWS condition with Air ingress - DLOFC of 298 grams/min. The oxidation rate shown in Figure 4.a. is greater than that shown in Figure 4.b. This suggests that the rate of oxidation is affected by depressurization time. A faster depressurization time will result in material degradation. Based on the oxidation rates shown in Fig. 4, oxidation percentages versus times can be calculated as shown in Fig. 5.

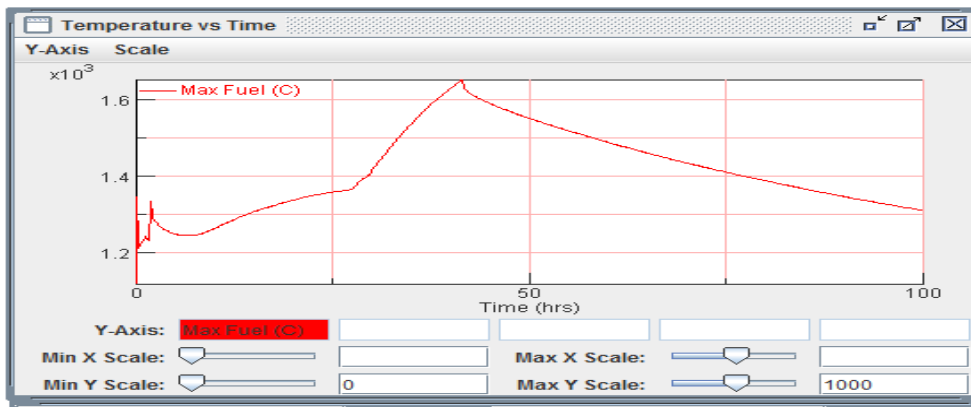


Figure 3. Fuel temperature vs time with delayed ATWS conditions for 2500 minutes on D-LOFC condition

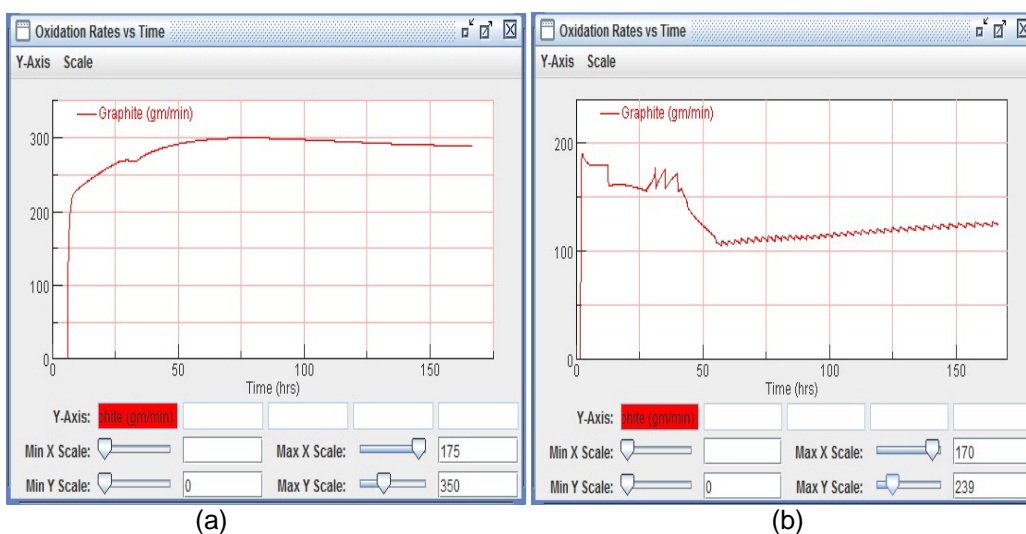


Figure 4. The rate of graphite oxidation predictions versus time on condition ATWS.
a) For 2000 minutes with a depressurization (t) for 50 minutes
b) For 2500 minutes with a depressurization (t) for 100 minutes

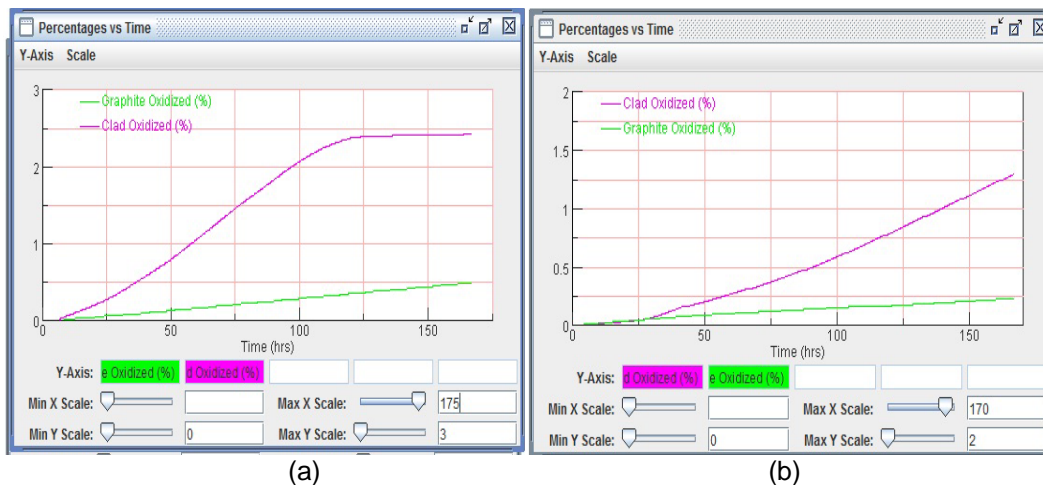


Figure 5. Fractional weight loss due to oxidation versus time on condition ATWS
a. For 2000 minutes with a depressurization (t) for 50 minutes
b. For 2500 minutes with a depressurization (t) for 100 minutes.

Figure 5 shows that fractional losses due to oxidation occur most at a delayed time of 2000 minutes with a depressurization of 50 minutes. This is due to the rapid depressurization time. Compared to the results obtained in the previous study using Langmuir formulation which generated the oxidized graphite percentage of 2.89% [5]. The total oxidized graphite on cladding is only 2.4% by GRSAC and 2.89% by Langmuir formulation [23-24]. The experiments result by INL [25-26], the average weight loss ratio for fracture of IG-110 is 0.647. The maximum weight loss ratio at 125 h is 0.49 with depressurization of 50 minutes which is obviously smaller than the Idaho National Laboratory (INL) results. It can be concluded that the nuclear grade graphite would not fracture and the structure.

Based on the fractional weight loss shell graphite as shown in Fig. 5, effect of graphite oxidation to mechanical forces using the equation 2 as shown in Table 2. For the preliminary calculation on the component subjected to external loads, it may be conservatively assumed that any portion of graphite that oxidized [24].

Table 2. Effect oxidations on material strength

Delayed times (minutes)	Depressurization times (minutes)	Max temperature fuel (°C)	Fractional weight loss due to oxidation (%)	S/So
2500	100	1650	0,22	0,1108
2000	50	1496	0,49	0,006738

CONCLUSION

The oxidation effect of the graphite material is still small ($S / So = 0.006738$), and the greatest weight loss during depressurization during 50 minutes of 1.55 kg for reactor core. The maximum weight loss ratio at 125 h is 0.49 with depressurization of 50 minutes which is obviously smaller than the Idaho National Laboratory (INL) results. The oxidation rate occurs at high temperatures under ATWS conditions with rapid depressurization. Structural failure is strongly influenced by oxidation and high temperatures. The oxidation reaction increases exponentially with temperature according to the Arrhenius model. Therefore, despite the absorption of air currents, the reactor fuel cladding will not release the radioactive material to the environment because the mechanical strength of the graphite fuel structure is still good.

ACKNOWLEDGEMENT

Author is grateful to the Centre for Nuclear Reactor Technology and Safety, National Nuclear Energy Agency of Indonesia for funding the research activity in BATAN's DIPA 2016

REFERENCES

1. X. Zhou, Z. Yi, Z. Lu et al., "Graphite materials in pebble-bed high temperature gas-cooled reactors," *Carbon Techniques*, vol.31, no. 6, pp. 9–13, 2012.
2. K. Vierow, K. Hogan, et al, Application of dynamic probabilistic risk assessment techniques for uncertainty quantification in generation IV reactors, *Progress in Nuclear Energy* 77 (2014) 320-328
3. Elfrida Saragi, Jupiter Sitorus, Sumijanto, "Analysis of Temperature profile the PBMR 400MWt during Anticipated Transient Without Scram Accidents", *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Nuklir 2015*, pp. 413-424, Denpasar - Bali, 15-16 Oktober 2015.
4. Chen Zhipeng, Chen Xiaoming, ZhengYanhua, Sun Jun, Chen Fubing, Shi Lei, Li Fu, Dong Yujie, Zhang Zuoyi, Air ingress analysis of chimney effect in the 200 MWe pebble-bed modular high temperature gas-cooled reactor, *Annals of Nuclear Energy* 106 (2017) 143–153
5. Liu Peng, Chen Zhipeng, Zheng Yanhua, Sun Jun, Chen Fubing, Shi Lei, Li Fu, Dong Yujie, Zhang Zuoyi, Study on air ingress of the 200 MWe pebble-bed modular high temperature gas-cooled reactor, *Annals of Nuclear Energy* 98 (2016) 120–131.
6. Sumijanto, Jupiter Sitorus, Elfrida Saragi, "Graphite oxidation rate estimation during air ingress accident in RGTT200K", *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Nuklir 2015*, pp. 383-388, Denpasar - Bali 15 -16 Oktober 2015.
7. H. Haque, "Consequences of delayed air ingress following a depressurization accident in a high temperature reactor", *Nuclear Engineering and Design* 238 (2008) 3041–3046.
8. Tetsuaki Takeda, Air Ingress Phenomena in Depressurization Accident of Very High-Temperature Reactor, *Proceedings of the 4th International Topical Meeting on High*

- Temperature Reactor Technology, HTR2008, September 28-October 1, 2008, Washington, DC USA
9. Y.M. Ferng, C.W. Chi, "CFD investigating the air ingress accident for a HTGR simulation of graphite corrosion oxidation", Nuclear Engineering and Design 248 (2012) 55– 65.
 10. Xiaowei, L., Xiaotian, L., Suyuan, Y., "Nuclear graphite friction properties and the influence of friction properties on the pebble bed", Nuclear. Engineering and Design 240,(Dec 2010) 2674–2681.
 11. Dawid E. Serfontein, "Sharp reduction in maximum fuel temperatures during loss of coolant accidents in a PBMR DPP-400 core, by means of optimized placement of neutron poisons", Nuclear Engineering and Design 271 (2014) 492–498.
 12. MinggangLanga, Yujie Dong, "The ATWS analysis of one control rod withdraw out of the HTR-10GT core in addition with bypass valve failure", Nuclear Engineering and Design 271 (2014) 459–464.
 13. SUN Yuliang, ZHANG Zuoyi, "Development of Modular HTGR and Other Advanced Reactor Technologies in China", PBNC-2014, Vancouver, August 2014.
 14. J. Stuckert, Z. Hózer, A. Kiselev, M. Steinbrück, "Cladding oxidation during air ingress. Part I: Experiments on air ingress", Annals of Nuclear Energy 93 (2016) 4-17
 15. E. Beuzet, F. Haurais , C. Bals, O. Coindreau, L. Fernandez-Moguel , A. Vasiliev , S. Park, "Cladding oxidation during air ingress. Part II: Synthesis of modeling results", Annals of Nuclear Energy 93 (2016) 18–27.
 16. Syd Ball, Matt Richards, Sergey Shepelev, "Sensitivity studies of air ingress accidents in modular HTGRs", Nuclear Engineering and Design 238 (2008) 2935–2942.
 17. S. J. Ball ,D. E. Holcomb , S. M. Cetiner, "HTGR Measurements and Instrumentation Systems", OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY Oak Ridge, Tennessee 37831-6165, May 2012.
 18. Chang H. Oh, EungSoo Kim, Conceptual study on air ingress mitigation for VHTRs, Nuclear Engineering and Design 250 (2012) 448– 464
 19. Yanhua Z., et al., "Analysis of diffusion process and influence factors in the air ingress accident of the HTR-PM", Journal of Nuclear Engineering and Design, vol. 271, pp. 397–403 (2014).
 20. Dawid E. Serfontein, Sharp reduction in maximum fuel temperatures during loss of coolant accidents in a PBMR DPP-400 core, by means of optimised placement placement of neutron poisons, Nuclear Engineering and Design 271 (2014) 492–498.
 21. 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).
 22. Ferng Y.M., Chi C.W., "CFD Investigating The Air Ingress Accident For HTGR Simulation Of Graphite Corrosion Oxydation, Nuclear Engineering And Design 248 (2012).
 23. Accident Analysis for Nuclear Power Plants with Modular High Temperature Gas Cooled Reactors, IAEA Safety Reports Series No. 54, International Atomic Energy Agency, Vienna (2008).
 24. Anonim" Graphite Design Handbook" General Atomics, 3-30, September 1988.
 25. Wei Xu,1,2,3 Yanhua Zheng,1,2,3 Lei Shi,1,2,3 and Peng Liu1,2,3, Oxidation Analyses of Massive Air Ingress Accident of HTR-PM, Hindawi Publishing Corporation, Science and Technology of Nuclear Installations, Volume 2016, Article ID 6419124, pp 9 (2016)<http://dx.doi.org/10.1155/2016/6419124>.
 26. C.H.Oh, E. S. Kim, H. C.No et al., "Final report on experimental validation of stratified flow phenomena, graphite oxidation, and mitigation strategies of air ingress accidents," Tech. Rep. INL/EXT-10-20759, Idaho National Laboratory (INL), 2011.

DATABASE SYSTEM DEVELOPMENT FOR OPERATIONAL PARAMETER OF RSG-GAS BASED ON WEB

Mike Susmikanti¹, Aep Saepudin², Adrian Soulisa³, M. Subekti¹, Geni Rina Sunaryo¹

¹Center for Nuclear Reactor Technology and Safety,

²Center for Multipurpose Reactor

National Nuclear Energy Agency of Indonesia (BATAN),

PUSPIPTEK Area Building 80 Serpong,

Tangerang Selatan 15310, Indonesia

³Faculty of Computer Science, Gunadarma University

Margonda, Depok, Indonesia

Email: mike@batan.go.id

ABSTRACT

DATABASE SYSTEM DEVELOPMENT FOR OPERATION PARAMETER OF RSG-GAS BASED ON WEB. The Information and data collection for parameter operation are important well documented for the aging management of research reactor RSG-GAS. The RSG-GAS multipurpose reactor has been operating for almost 30 years so it is necessary to be evaluated on using the database system for the management operation of RSG-GAS especially ways of working the structure, system, and components (SSC). The system database SSC of RSG-GAS still static. It is not easy to find the necessary data. The system database based on WEB are expected to be used in an online system to obtain information on operation parameter of each component of the system. The purpose of this study is to create and develop RSG-GAS database system for parameter operation by utilizing web-based technologies. The system database are expected contain the data and information of parameter operation which can be integrated with some certain user and administration to obtain the information of operation processing RSG-GAS. By using this system database can be monitor, that the operation still within the operating limit. The system database has made for The operation recording of some components. The graph of operation has made for some component. The database system based on WEB has built using bootstrap framework technology, PHPMySQL.

Keyword: Database System, RSG-GAS, Operation parameter, WEB, PHPMySQL

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM DATABASE UNTUK PARAMETER OPERASI RSG-GAS BERBASIS WEB. Informasi dan pengumpulan data untuk operasi parameter penting didokumentasikan dengan baik untuk pengelolaan penuaan reaktor riset RSG-GAS. Reaktor serbaguna RSG-GAS telah beroperasi selama hampir 30 tahun sehingga perlu dievaluasi penggunaan sistem basis data untuk pengelolaan operasi RSG-GAS terutama cara kerja struktur, sistem dan komponen (SSC). Sistem database SSC RSG-GAS masih statis. Tidak mudah menemukan data yang diperlukan. Sistem database berbasis WEB diharapkan dapat digunakan dalam sistem online untuk mendapatkan informasi mengenai parameter operasi masing-masing komponen sistem. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat dan mengembangkan sistem database RSG-GAS untuk operasi parameter dengan memanfaatkan teknologi berbasis web. Sistem basis data berisi data dan informasi operasi parameter yang dapat diintegrasikan dengan beberapa pengguna dan administrasi tertentu untuk mendapatkan informasi proses operasi RSG-GAS. Dengan menggunakan database sistem ini bisa dipantau, agar operasi masih berada dalam batas operasi. Database sistem telah dibuat untuk perekaman operasi beberapa komponen. Grafik operasi telah dibuat untuk beberapa komponen. Sistem database berbasis WEB telah dibangun menggunakan teknologi framework bootstrap, PHPMySQL.

Kata kunci: Sistem Basis Data, RSG-GAS, Parameter Operasi, WEB, PHPMySQL

INTRODUCTION

In relation to the RSG-GAS management activities is essential the data collection for parameter operation that is well-documented. Until now, the RSG-GAS has been operating almost 30 years so it is necessary to study the management operation of RSG-GAS especially for structure, system, and components (SSC). The history of operation parameter each SSC can be accessed by interested parties online. With database system based on WEB expected can facilitate the acquisition and tracking of data and information quickly and easily. Besides that, the entry data of parameter operation RSG-GAS can be done online.

During around the years 1999 until 2016, RSG-GAS make a report of operation reactor. RSG-GAS had a database system still static and use Microsoft Access for making a report of toperation reactor. Therefore the team RSG-GAS has updating and revised Document RSG-GAS, "Safety Analysis Report (SAR) RSG-GAS". After then, the database system has development for component reliability especially repairing and maintenance for RSG-GAS based on WEB [1]. IAEA, for long term operation (LTO) has fostering information exchange and establishing databases and provision of SALTO (Safety Aspects of Long Term Operation) which includes the establishment of IAEA Safety Standards and other LTO related documents [2]. A system degradation modeling is proposed for the reliability assessment of digital Instrumentation and Control (I&C) systems in Nuclear Power Plants (NPPs) [3]. Korea has classified the safety of structures, systems, and components (SSCs) for pool reactor based on the IAEA methodology [4]. Beside that, in the system database, modeling with description logic made for the entity-relationship modeling [5]. The relationship modeling with dynamics types has made for subset of entity type instances and across entity [6]. Analysis empirical has done for programming based on Graphic User Interface (GUI) [7]. The life cycle management has been development to find relating of critical structural components in Indian thermal, fast reactors and reprocessing facilities [8]

Data collection system of operating parameters in the process of RSG-GAS is still stored in database static so it is not easy to find necessary the data and information. The data and information not yet integrated with the user. Besides that, the information must more easier to be displayed within operational limits for specific system and components. This are needed in the form of charts related to the value of the minimum limit operation and maximum so it is still within the operating limit.

The aim of this study create and develop RSG-GAS database system for operation parameter some system and component by utilizing web-based technologies. The database system is expected can be integrated with some certain user and administration to obtain the information of operation processing RSG-GAS. Beside that, the charts of operation parameter for specific system and components related to the value of the minimum limit operation and maximum must are within the limits for operation.

The activity is preparing data and information of some system processing and component of the reactor. After then, develops the database system of operation of the multipurpose reactor by utilizing Web-based technology. The application recording a component code, the component name, time spent in the component code. Within the scope of the recording operational of components can make a recording of the list of components, therefore can see how the use of the components on a daily basis in the form graphs. This website is built using PHPMySQL .

METHODOLOGY

The design of the system database RSG-GAS is creating tables of data and information of parameter operation RSG-GAS with Entity Relationship Diagram (ERD). ERD is a modeling technique for the relational database. This is a graphical representation of an information system that shows the relationship between people, objects, places, concepts or events in the system [7]. The design stage is make a structure, database design, and the design view website RSG-GAS. The data and information are from an operating report for each core of RSG-GAS. The study includes establishment a database system open source XAMPP Structure Query Language (SQL) with MYPHPADMIN [1]. The operation parameter and operation total of each core were collected from previous year until now. The data were entry by interactive. XAMPP is free software which has function a stand-alone server (localhost). This software consists of the Apache HTTP Server, MySQL database, and the translator's written in PHP. XAMPP software is an acronym for X (four any operating system) Apache, MySQL, PHP, and Perl. The program is available under the HTML and Guide

Interfaces Graphic (GUI) [7, 9]. This program is easy to use Web server that can serve dynamic Web page display [10, 11, 14, 15].

At this stage, the creation of applications is helping a user in the data managing a component usage in operation and reporting in the form of graphics. This application can be accessed through the website. In this stage, the study begins with the navigation structure, workflow diagrams, and system views. Implementasi this stage using XAMPP and Bootstrap Framework [12, 13, 16].

The follow diagrams describe the activities of the application (Fig. 1). The main menu defined by home page. The next step is to enter the data activity operation and the data corresponding components by admin. An admin or the certain user can enter, modify and delete operational of the component. The output is parameter operation such as lower and upper limit operation and graphic.

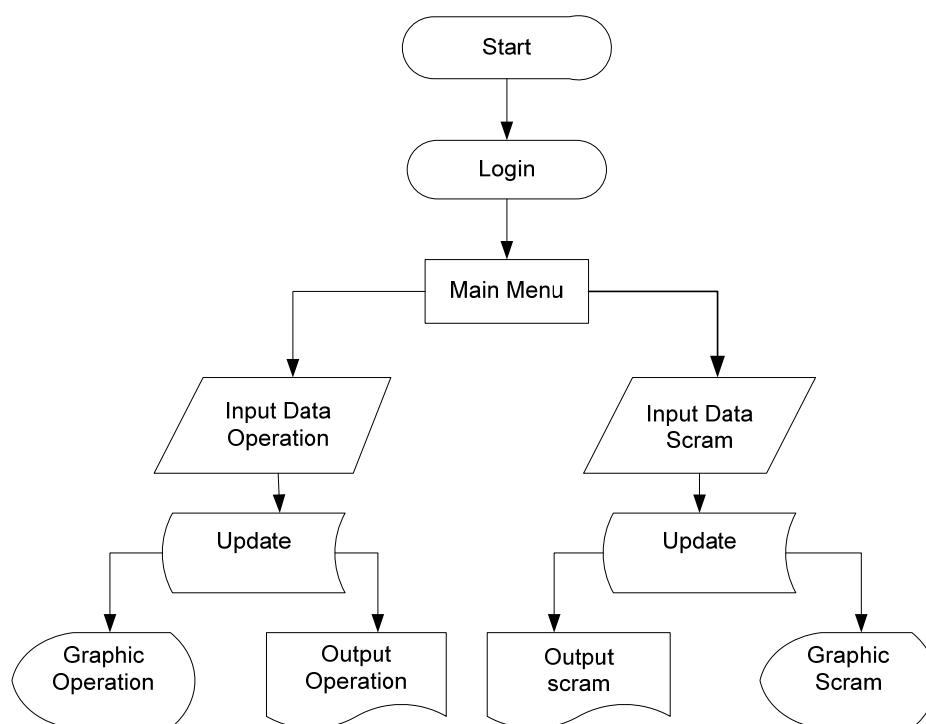


Figure 1. Navigation Structure

RESULTS AND DISCUSSION

The design of ERD is consist of data and information table. The table of data includes data operation, data scam, table of system, table of component, table of core and the person whose operation and responsible. Those tables consist of code and description, NIP and name of person. The information is include graphic operation, graphic scam, operation and scam. Design navigation structure is implemented in websites. The design of ERD of operation and scam RSG-GAS shown in Figure 2.

The stage implementation is required phpMyAdmin as a web-based tool. The database created used DML (Data Manipulation Language) and DDL (Data Definition Language). PhpMyAdmin in the module Apache and MySQL on XAMPP, users can create a new database, the new table, and all activities database settings. The users can also export and import a file extension that contains the script SQL query. This allows the user to move a database from one computer to another. In old database system RSG-GAS with Microsoft Access only for single user. The users can not export and import a file SQL. This can helped to back up data which has entried. The some software Microsot Access is not open source. This can not easy to get this software application.

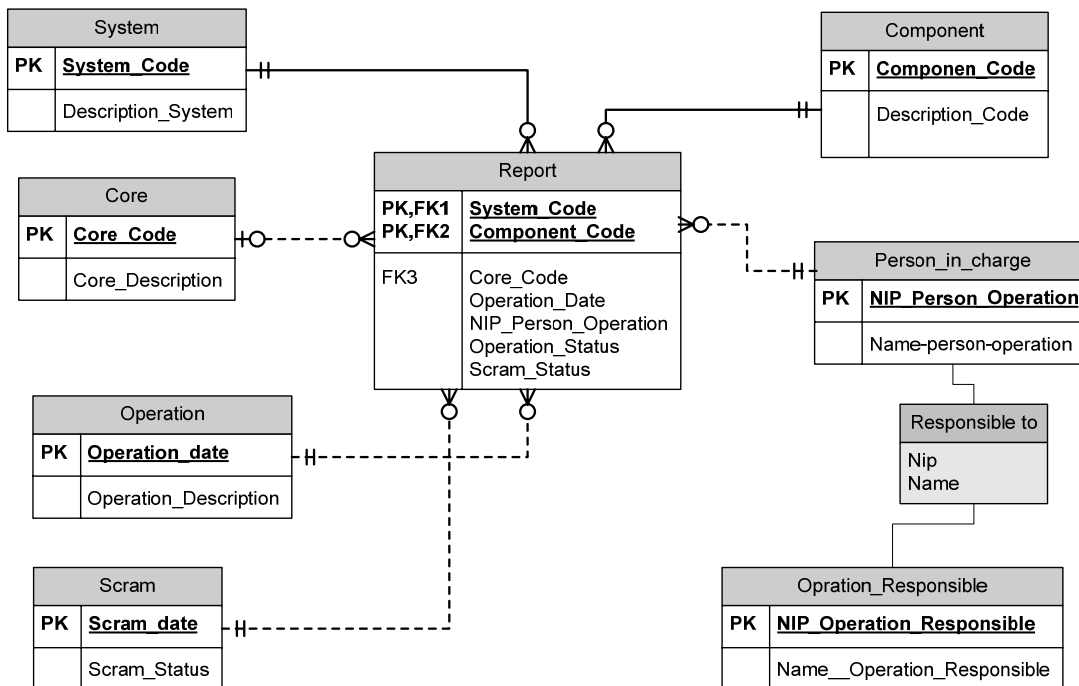


Figure 2. Design ERD of operation and scram RSG-GAS

The first step, the application is make sure the module Apache and MySQL on XAMPP in an active state (Fig. 3).

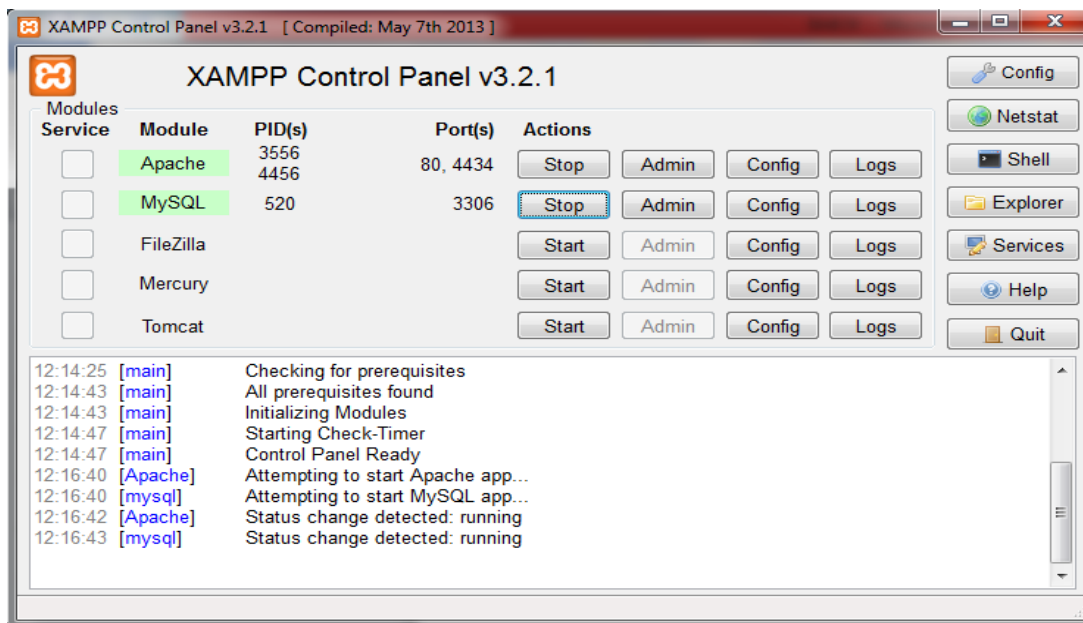


Figure 3. XAMPP Control Panel

After MySQL and Apache module is active, go to phpMyAdmin in a browser by typing the URL address Http: // localhost / PHPMyAdmin (Fig. 4). In the old database system RSG-GAS with Microsoft Access is not based WEB, so to entry database can not online from the other computer and in some certain time. The data not keep on server. After the initial page of phpMyAdmin open, the database creation begins. The first step is to create a database with the name. In the database, there are three tables, admin data, operation data and scram data that each has its column of its own.

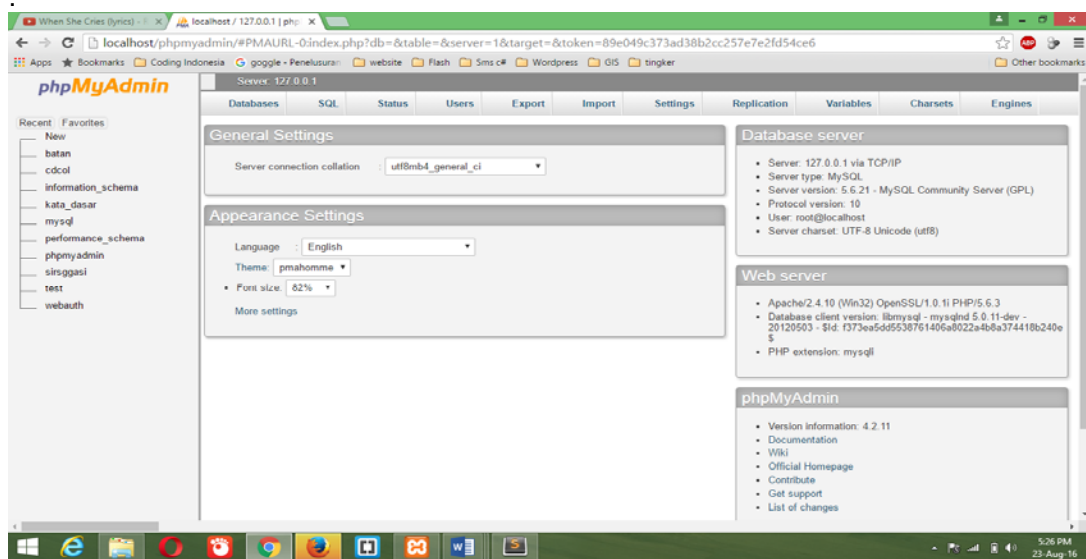


Figure 4. Display PHPMYAdmin

The index page is the first page that appears when a website is accessed system operation and components operation. First opened in a web browser and localhost address name. A certain computer connected to the internet so that it can access the page. While in the old database system, a certain computer not connected to the internet so another certain user and admin can not access the application database system RSG-GAS together. This page will only display the login page. The login page is a page that is used to get into the admin home page so that it can have access to perform the process on the operation of the component. To enter the login page, there are two forms of input and administrators were asked to fill in the username and password previously been input in the database.

Dashboard or homepage is the first page when login successfully accesses the operating of system and components. This page provides instructions on entering data on the using this system so that it can easily conduct data processing and display process data. Nothing like on the old database system with Microsoft Access, it is not easy to display process data. Dashboard display is shown in Fig. 5 [13].



Figure 5. Dashboard Page Views

Operating data page is a page that is used to display data based on the database in operation system. In this table, the admin can modify and delete data that has been entered into the database. While in the old database system, to modify and delete data are not interactive direct such as in new application database system. In the form of operation, are consist of core number, component code, component name, operation date, energy for operation, energi minimal and energi maximal. The operating data table is shown in Fig. 6 [13].

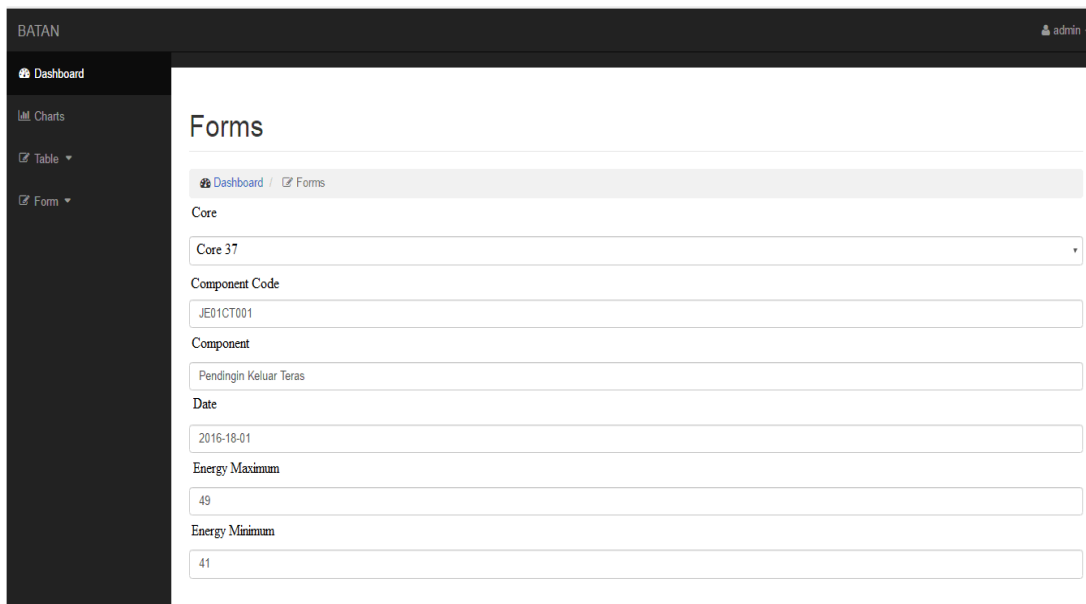


Figure 6. Operating Data Form

The graph (Chart) is used admin to see the data of component operation that has been entered into the database by admin. In the old database system has not been able to display graphics of operational data. The operating graph is shown in Fig. 7. In the operational data graph consist menu for Chart, Form, Table and Dashboard. This data are the data operational in energy (MWD) [13].

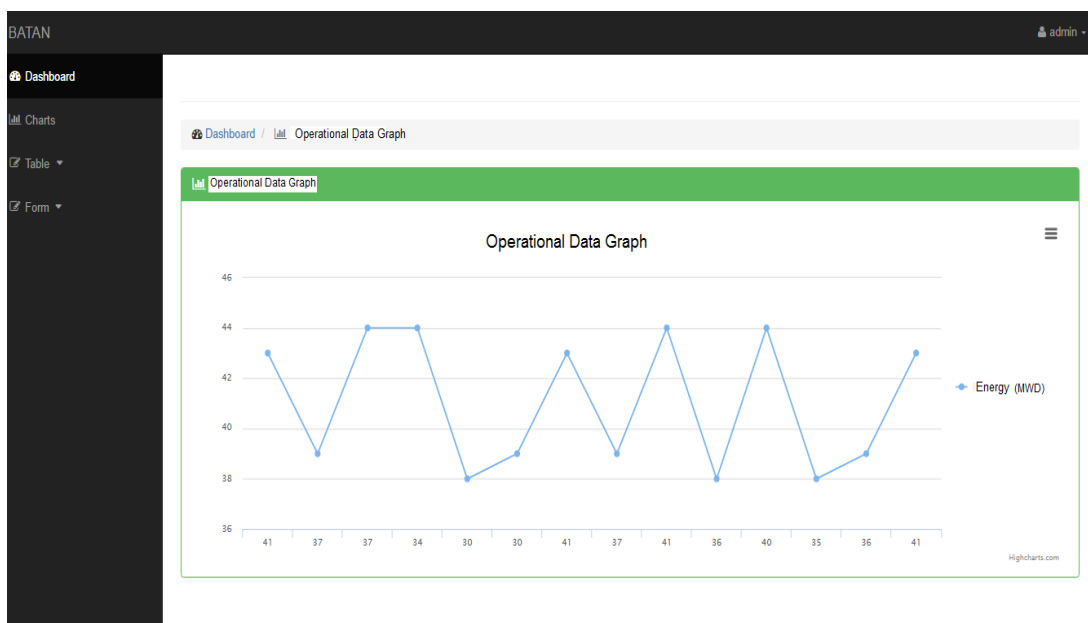


Figure 7. Chart of Operation Information

Scram data is used to determine the cause of the failure component. The admin can be entered into the database. The form of scram data shown in Fig. 8. Scram data form is a page that is used to enter data components - components on the data scram in RSG-GAS based on the energy (MWD) used every terrace to determine the cause of the damage of the component. On page form data scram, admins can enter data that must be entered into the database. In the old database system has not been able to interactive to enter operation data [13].

Figure 8. Scram Data Form

In the scram tables on this page, the admin can view, modify and delete data that has been entered into the database. In the old database system, the admin modify or delete is not interactive. Scram table is shown in Fig 9. The distribution of data consists the data operational in Energy (MWD). The column consist core number, start date, start time, finish date, finish time, duration, energy (MWD), energy cumulative(MWD), update and delete [13].

Username	Core	Start Date	Start Time	Finish Date	Finish Time	Duration Time	Energy	MWD	€ MWD	Update	Delete
admin	Teras 39	2016-18-01	14:15	2016-18-01	15:01	0.33	0.1	0	0	Update	Delete
admin	Teras 39	2016-18-01	15:01	2016-18-01	15:16	0.25	5	0.0521	0.0521	Update	Delete
admin	Teras 39	2016-18-01	15:16	2016-18-01	15:31	0.252	10	0.1042	0.1563	Update	Delete
admin	Teras 39	2016-18-01	15:31	2016-18-01	24:00	8.48	15	5.3021	5.4584	Update	Delete
admin	Teras 39	2016-30-08	12:00	2016-30-08	12:15	0.15	10	15	20.4584	Update	Delete
admin	Teras 39	2016-20-01	24:00	2016-20-01	00:00	24	15	15	35.4584	Update	Delete
admin	Teras 39	2016-21-01	24:00	2016-21-01	00:00	24	15	15	50.4584	Update	Delete
admin	Teras 39	2016-22-01	24:00	2016-22-01	00:00	24	15	15	65.4584	Update	Delete
admin	Teras 40	2016-23-04	23:45	2016-23-04	24:00	0.25	4.454	0.05	0.05	Update	Delete
admin	Teras 40	2016-24-04	00:00	2016-24-04	08:04	8.04	4.454	1.5	1.59	Update	Delete

Figure 9. Scram Table

The output of data operation each core can print or save in excel file or pdf file as well as the output of data scam. While in the old database system, the output of data operation has not been able to print in pdf file. The output consist username, code of component, component name, start date, finish date, time total, energy (MWD), energy cumulative (MWD), and information. The output of data operation shown in Fig 10 [13].

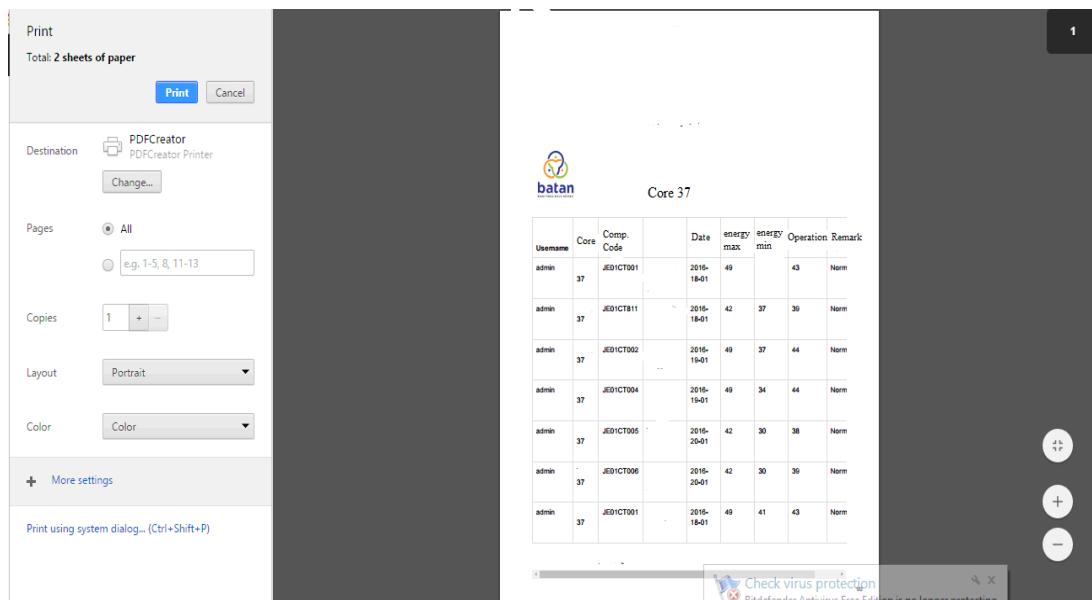


Figure 10. The output of data operation each core

The new database system for RSG-GAS has been created. The admin and certain user can enter data for operation parameter from a certain computer on WEB. The main menu is a dashboard page views. The GUI of operating data forms is used to enter the data operation parameter. The graphics for information operation is a chart of operation data each component. The GUI of scam data form is used to enter the data scam, The table of scam data are consist of collecting of scam data. The output of data operation each core can print in excel or pdf.

CONCLUSION

The RSG-GAS database system for parameter operation was developed by utilizing web-based technologies for data operation RSG-GAS. The system database contains the data and information of parameter operation which can be integrated with some certain user and administration to obtain the information of operation processing RSG-GAS. The system database of RSG-GAS more easy to find the necessary data. By using system database can be monitoring the operation still within the operating limit. The operation of some components is recording on a daily basis graphs. The database system based on WEB is built using Bootstrap framework technology, PHPMySQL.

ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful for the financial support from DIPA of PTKRN-BATAN in 2017. We thank coordinator in this research Sukmanto Dibyo. We are also grateful for the cooperation of my students from Faculty of Computer Science, Gunadarma University in help together making a database information system for parameter operational of RSG-GAS.

REFERENCES

1. SUSMIKANTI M., DESWANDRI, AEP S., Database System Development for Component Development for Component Reliability of RSG-GAS based on WEB. Prosiding SENTEN, PKSEN, (2016)
2. ROBERT K., "Long-term operation of nuclear power plants – IAEA SALTO peer review service and its results", Nuclear Engineering and Design 280, 99–104, (2014)
3. WEI W., FRANCESCO D. M., ENRICO Z., "Component and system level degradation modeling of digital Instrumentation and Control systems based on a Multi-State Physics Modeling Approach" Annals of Nuclear Energy 95, 135-147 (2016)
4. TAE-YONG K. "Safety Classification of Systems, Structures, and Components for Pool-Type Research Reactors", Nuclear Engineering and Technology. Volume 48, Issue 4, 1015–1021 (2016)
5. FU Z., Z.M. Ma, JINGWEI C., "Enhanced entity-relationship modeling with description logic", Knowledge-Based Systems 93, 12-32 (2016)
6. P. RADHA K., ANUSHEREE K., KAMALAKAR A., " Modeling dynamic relationship types for subsets of entity type instances and across entity types", Information Systems 60, 114-126 (2016)
7. ZARKO M., DRAGAN M., " Empirical Analysis of GUI Programming Concerns", Int. J. Human-Computer Studies 72, 757-771 (2014)
8. BALDEV R., P. CHELLAPANDI, U. KAMACHI M., "Life Cycle Management of Structural Components of Indian Nuclear Reactors and Reprocessing Plants" Procedia CIRP 38 8-13 (2015)
9. OZAN A., AYDIN G., ERKAN K., " An Application for Fundamental Computer Programming Learning" Procedia – Social and Behavioral Sciences 176, 291 – 298 (2015)
10. ROHI A., "Easy & Simple Web Programming". PT Elex Media Komputindo, Jakarta (2016).
11. MUTHU R., "Software security requirements management as an emerging cloud computing service", International Journal of Information Management" 36, 580–590 (2016)
12. AXEL B., IVAN K., "Dependent multiplier bootstraps for non-degenerate U-statistics under mixing conditions with applications. Journal of Statistical Planning and Inference 170, 83–105 (2016)
13. ADRIAN S., "Application of Recording operation of the National Nuclear Power Agency Components Based Website", Thesis of Student in Faculty of Computer Science, University of Gunadarma (2016)
14. KAMALENDU P., "A Semantic Web Service Architecture for Supply Chain Management" Procedia Computer Science Volume 109, 2017, Pages 999-1004
15. ARTYOM C, ANITA B., ANASTASYA K., VALENTINE K. "Intelligence Search Engine and Automatic Integration System for Web-Services and Cloud-Based Data Providers Based on Semantics Procedia Computer Science Volume 88, 2016, Pages 272–276
16. WEI HU, CUNXIN JIA, "A bootstrapping approach to entity linkage on the Semantic Web", Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web, Volume 34, 2015, Pages 1–12

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: A. Hafid (PTKRN–BATAN)

- Apakah setiap pegawai dapat mengakses Sistem Manajemen Data Base RSG-GAS?
- Apakah Software data base XAMPP MYPHP dapat mudah diakses?

JAWABAN: Mike S. (PTKRN - BATAN)

- *Untuk mengakses Data base hanya khusus Admin dan Operator Pencatat yang khusus ditunjuk.*
- *Software Data Base berbasis WEB XAMPP MYPHP adalah software yang Open Source*

DEVELOPMENT OF ANALYSIS METHOD OF INFRARED THERMOGRAPHY FOR ELECTRICAL COMPONENT AGING MANAGEMENT

Sudarno, Kussigit Santosa, Kiswanta, Deswandri, Geni Rina Sunaryo

Center for Nuclear Reactor Technology and Safety -BATAN
Puspiptek Area, Building no. 80 -Serpong, South Tangerang, Indonesia
Telp.021-7560912 / Fax. 021-7560913
Email : sudarno@batan.go.id

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF ANALYSIS METHOD OF INFRARED THERMOGRAPHY FOR ELECTRICAL COMPONENT AGING MANAGEMENT.

The GA Siwabessy multiple purpose reactor (GAS MPR) is a research reactor that has been operating for more than twenty years. In the IAEA Safety Standard Series (DS-272) on Safety Requirements of Research Reactors, it is indicated that the sufficient action / effort must be performed for testing and observation in order to detect, evaluate and mitigate the effects of aging. In this research, the development of inspection methods of electrical systems using infrared thermography has been done. The objective of this research is to propose an image processing method to infrared thermography inspection results, so that it simplify the hotspot extraction of infrared thermography inspection results. The methodology of this research is to apply image processing algorithms such as Independent Component Analysis (ICA) for image segmentation and k-means method clustering. The program uses input of infrared thermal image and provides outputs of featured images as segmentation and clustering results. The test results indicated that both methods can be used to improve hotspot detection of the infrared thermography inspection results. Interpretation of clustering result is easier than segmentation. However, segmentation test result with fastICA provided more detail information than clustering method.

Keywords: Infrared Thermography, Independent Component Analysis (ICA), segmentation, k-means clustering.

ABSTRAK

PENGEMBANGAN METODE ANALISIS TERMOGRAFI INFRAMERAH UNTUK MANAGEMEN PENUAAN KOMPONEN KELISTRIKAN.

RSG GAS adalah reaktor riset yang telah beroperasi selama lebih dari duapuluh tahun. Dalam IAEA Safety Standard Series (DS-272) tentang Safety Requirements of Research Reactors antara lain disebutkan bahwa tindakan/upaya yang memadai harus dilakukan untuk pengetesan maupun pengamatan yang bertujuan mendeteksi, mengevaluasi dan memitigasi efek penuaan. Dalam penelitian ini telah dilakukan pengembangan metode inspeksi komponen kelistrikan dengan termografi infra merah. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan metode yang mempermudah dalam melakukan analisis citra thermogram hasil inspeksi. Metodologi yang digunakan adalah pengembangan program komputer untuk pengolahan citra infra merah, secara segmentasi dengan metode Independent Component Analysis (ICA) dan klasterisasi dengan metode k-means. Program tersebut menggunakan input citra infra merah dan menghasilkan output fitur citra hasil segmentasi dan klasterisasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua metode tersebut dapat digunakan untuk mendeteksi jika terdapat hotspot pada citra thermogram hasil inspeksi komponen kelistrikan. Interpretasi hasil klasterisasi lebih mudah dari pada hasil segmentasi. Tetapi hasil segmentasi dengan fastICA memberikan informasi lebih rinci dibandingkan klasterisasi.

Kata kunci: Termografi Inframerah, Analisis Komponen Bebas (ICA), segmentasi, klasterisasi k-means.

INTRODUCTION

Safety is a condition that must always be achieved in the management of a nuclear reactor during the construction, the operation, until the completion of the decommissioning

process. The operation reactor safety is closely linked to the reliability of structures, systems and components (SSC) of the nuclear reactor. All SSC will be affected by aging process and its functionality will be degraded, then the level of SSC reliability will be reduce.

G.A. Siwabessy multiple purpose Reactor (GAS MPR) is a 32 MW research reactor that has been operating for more than twenty years. During the period of operation to present date, SSC of GAS MPR experience aging process. The evaluation of the aging process that occurs on the GAS MPR is integrated into the activities of the aging management [1]. For all kinds of nuclear research reactor there is a constraint of safety requirements, i.e the IAEA Safety Standard Series (DS-272) on Safety Requirements of Research Reactors [2]:

- 1) In the design phase of the research reactor, appropriate and adequate safety margins should be provided to accommodate and anticipate the character of the material at the end of life time.
- 2) an adequate safety margin for all the components should be provided at the design phase, taking into account the ability of the components to function properly in condition of safety deterioration because of the influence of the aging effects. Aging effects must be considered in all normal operating conditions, including during maintenance or not operating period.
- 3) Adequate action / efforts should be performed for testing and observation in order to detect, evaluate and mitigate the effects of aging.

Principally, to ensure the safety of the reactor operation, the SSC of GAS reactor, including electrical components, have been designed and constructed using components that meet standards and safety criteria. However SSC aging will cause degradation effect of component material and then it will lead to function degradation which ultimately it can lead to generate system failure.

In this research, a development of non-destructive inspection method for electrical system with infrared thermography is conducted. The purpose of this research is to obtain computerized tools which can assist the extraction of thermal pattern information. As one of the predictive maintenance methods, infrared thermography can be used to monitor equipment performance quickly and reduce or avoid unnecessary component replacement [3,4]. The advantages of infrared thermography include: non-contact measurement method, capability to monitor heat quantity in a relatively wide area and its measurement results are displayed in visual images and digital data [5]. More detailed analysis can also be done with the help of infrared image analysis software. In this research we explored the use of the Independent Component Analysis (ICA) for image segmentation and k-means method clustering of infrared image (thermogram) to assist analysis of infrared image of electrical system inspection result. The segmentation method is used to separate objects and their boundaries in the image [6,7,8,9], while clustering method is to classify the color distribution [6,10,11].

THEORY

Infrared Thermography

Temperature is the most easily monitored variable. Almost all natural phenomena will result in a change in temperature. Temperature measurements can be made both contact and non-contact. Most of the measurements by contact method are carried out using thermometers and thermocouples. While non-contact measurements using infrared sensors are increasingly being developed and begin to be widely used.

Infrared rays are part of electromagnetic waves, as well as visible light or radio waves. The infrared wavelength band between 0.78 - 1000 μm , lies in the spectrum of electromagnetic waves between visible light and microwaves (Figure 1). The main source of infrared radiation is heat or thermal radiation. Any object that has a temperature above absolute zero (0 Kelvin or -273.15° Celsius) emits infrared radiation. Even the objects that we consider very cold, like ice, also emit infrared radiation [12].

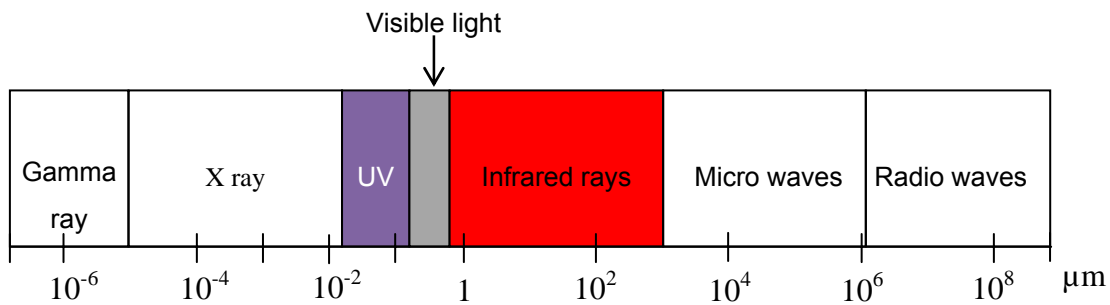


Figure 1. Spectrum of electromagnetic wavelength.

In general, the total amount of infrared energy emitted by an object can be calculated by the following Stefan-Boltzmann equation [12]:

$$W = \sigma T^4 \quad (1)$$

where :

σ = Stefan-Boltzmann constant = $5,6705 \times 10^{-12}$ [W / cm² • K⁴]

T = temperature (K)

From (1) it can be seen that the infrared energy is proportional to the temperature of the fourth power. Therefore, relatively small temperature change will provide a relatively large change in infrared energy. Thus infrared thermometers are very sensitive temperature sensors.

However, the surrounding environment, the material surface properties, the type of materials and others contribute to the intensity of infrared emission. These parameters are noise and must be taken into consideration when analyzing temperature distribution patterns.

Segmentation Method Using Independent Component Analysis (ICA)

In computational science, segmentation refers to the process of partitioning digital images into multiple segments. Common image segmentation is used to find objects and boundaries (lines, curves, etc.) in an image. More precisely, image segmentation is the process of placing labels or marks for each pixel in an image for certain visual characteristics. In this research, infrared image segmentation was conducted to identify the thermal pattern using Independent Component Analysis (ICA) method.

An event is said to be statistically free if the event is not related to each other. Mathematically, the probability of inter-event is the multiplication of the probability of each event :

$$P(y_1, y_2) = P(y_1).P(y_2) \quad (2)$$

The measured signal originating from independent sources, can be statistically expressed as :

$$x_j = a_{j1}s_1 + a_{j2}s_2 + \dots + a_{jn}s_n \quad (3)$$

Where x denotes the measured signal X, s denotes the source S and a are the unknown mixing matrix A. The equation (3) is the basic idea of ICA [13]. The above equation can be written in the form of matrix equation:

$$X = A S \quad (4)$$

The purpose of ICA is to look for the estimated signal y that is determined by the equation :

$$Y = W X \quad (5)$$

where $W = A^{-1}$

The process of separating signals with the ICA model can be illustrated by the block diagram in Figure 2.

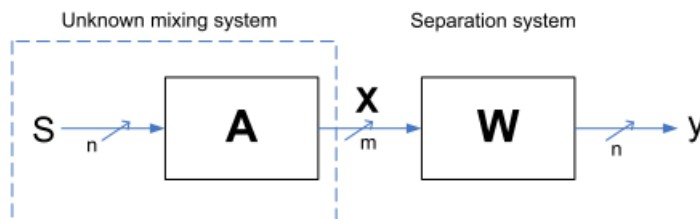


Figure 2. Separation of signals by Independent Component Analysis (ICA) model [13].

The problem of ICA model is to find the separator filter W . The proper and optimal selection of W filter will affect the estimated signal quality. There are several ICA algorithms, in this research we use FastICA algorithm.

The W filter separator computation using FastICA algorithm is described as follows [14]:

1. Initialize W_0 (random value)
2. Update the value of W :

$$W^t = W - \frac{E\{xg(w^T x)\} - \beta w}{E\{xg(w^T x)\} - E\{g'(w^T x)\}w} \quad (6)$$

Where E is the function of means, g is a non-quadratic function.

3. Normalization W :

$$W = \frac{w}{\|w\|} \quad (7)$$

4. If it has not converged yet, repeat to step 2.

K-means Clustering Method

Image feature (thermal pattern) can be analyzed using cluster analysis method. This method will assist the extraction of images obtained from infrared thermography. The purpose of cluster analysis is to classify objects according to similarity between components and organize data in groups. In this research, clustering is done by K-means algorithm. The principle of the algorithm is to divide the objects in the image into K groups that have the same characteristics in each group. In image analysis, these characteristics are the color and distance to the center point.

The algorithm of K-means clustering is as follows [15]:

Choose K centroid points at random.

Reassignment. Group the data to form K clusters with the centroid point of each cluster is the centroid point that has been selected previously. The process of grouping data into a cluster can be done by calculating the closest distance from a data to a centroid point. Euclidean distance calculation can be used to calculate the distance between 2 pieces of data. The equations for calculating the distance are:

$$d(x_i, x_j) = (|x_{i1} - x_{j1}|^2 + |x_{i2} - x_{j2}|^2)^{1/2} \quad (8)$$

where d is the distance between two points x_i and x_j .

Recomputation. Update the centroid point :

$$\mu_k = \frac{1}{N_k} \sum_{q=1}^{N_k} x_q \quad (9)$$

where : μ_k = the centroid point of the k -th cluster

N_k = number of data in the k -th cluster

x_q = q -th data to k -cluster

Repeat steps 2 and 3 until the values of centroid points converge.

METHODOLOGY

Images of inspection result using infrared camera consists of two images, namely thermal distribution image and visual images. Then the thermal distribution image is saved as BMP bitmap format, in order to apply image processing of segmentation and clustering. In this research, the computer programs for segmentation with fastICA and clustering with k-means are developed in MATLAB. The input images are selected from the infrared thermography images that have a hotspot, in order to observe the effect of segmentation and clustering on hotspot and non-hotspot objects. The output images are displayed separately according to their thermal patterns.

RESULTS AND DISCUSSION

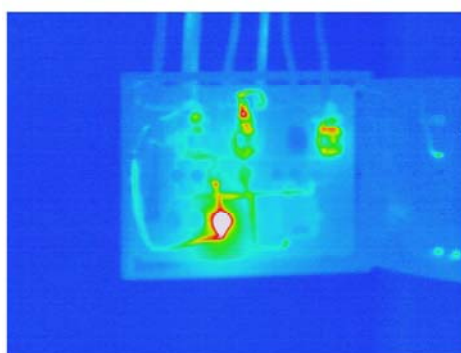
In principle, the electrical load at GAS MPR is connected to the main distribution panel redundantly. The redundant power supply system consists of:

- a. Normal Power Supply 380 VAC;
- b. Emergency Power Supply 380 VAC;
- c. Uninterruptible Power Supply 24 VDC.

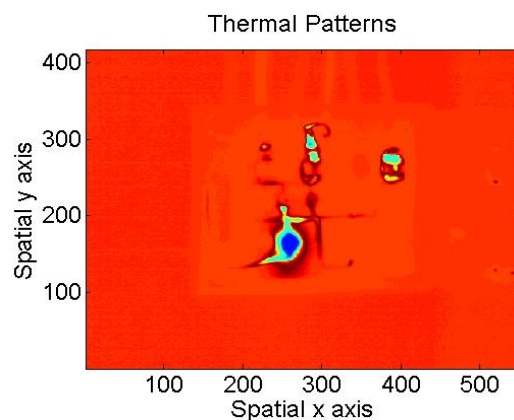
In the normal power supply, the electric source of GAS MPR is supplied by PLN with 3030 kVA. Under normal power supply condition, the reactor can operate because its power is sufficient to supply all SSC including primary and secondary cooling pump. As emergency power supply, the electric source of GAS MPR is supplied by 3 generators with capacity of 560 kVA each. Under emergency power supply conditions, the reactor cannot be operated because its power supply is reserved for reactor safety related SSC only.

Three Uninterruptible Power Supply (UPS) of 24 VDC serves to provide power to the safety related system immediately when electric supply from PLN is off, until the power from the generators is available. Each UPS consists of rectifiers + 24V and -24 V, Batteries, and Distribution Panels. The 24 VDC system also supplies Reactor Protection Systems (including primary isolation valves) and Instrumentation and Control equipment.

In this research, testing the developed method of segmentation and clustering on thermography images of electrical system inspection has been conducted. The thermal image selected for the test is the image that contains a hotspot. Here is the result of infrared image classification testing using fastICA method and clustering using K-means algorithm for electric panel with hotspot on one of its fuse.



(a)



(b)

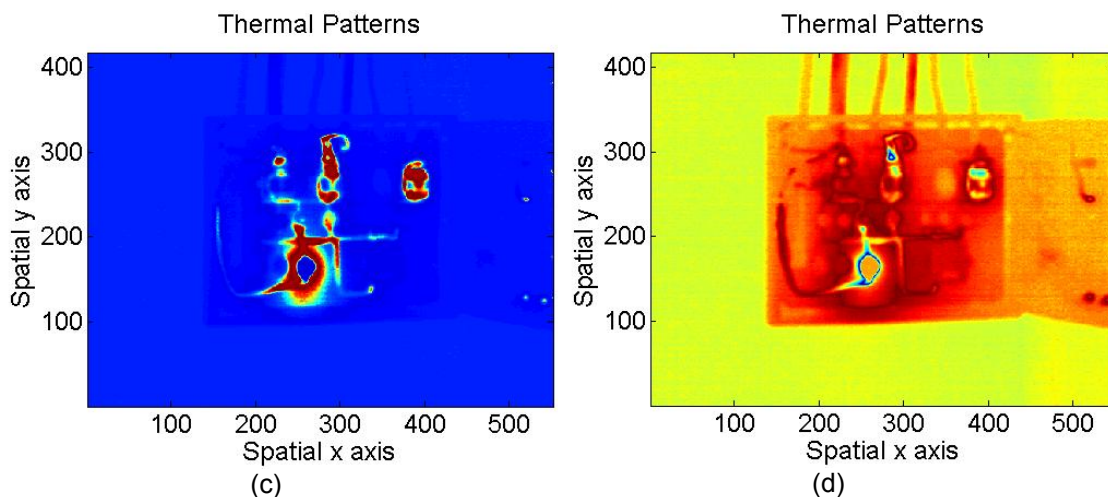


Figure 3. (a) Infrared thermal image of electric panel no.1 with hotspot. (b) Results of thermal pattern segmentation 1. (c) Results of thermal pattern segmentation 2. (d) Results of thermal pattern segmentation 3.

From the test results, the application of fastICA segmentation method to the thermogram image Figure 3(a) can separate hotspot and non hotspot objects. Display results of fastICA segmentation also still shows the existence of temperature degradation at hotspot area. The result of fastICA segmentation of Figure 3(b) shows the extraction of the object, so there is clear difference between the object and the background image. This object classification and background image are based on their temperature values. In Figure 3(c), we can see the hotspot extraction from the object. Figure 3(d) shows a better colour contrast as the boundary between objects or an object with a background image.

The disadvantages of fastICA method in the above test is the result of always three thermal pattern segmentation. This is because the input image of thermogram is in BMP bitmap format. The image by the fastICA program is separated into three components of its constituent colors, namely red, green and blue. The intensity of each color component is used as input data to be processed by fastICA algorithm. Segmentation errors can occur because the thermal pattern values are not always proportionally represented by each red, green and blue component.

Figure 4(a), 4(b) and 4(c) show the testing results of infrared thermal image clustering by K-means algorithm for the electrical panel image of Figure 3(a).

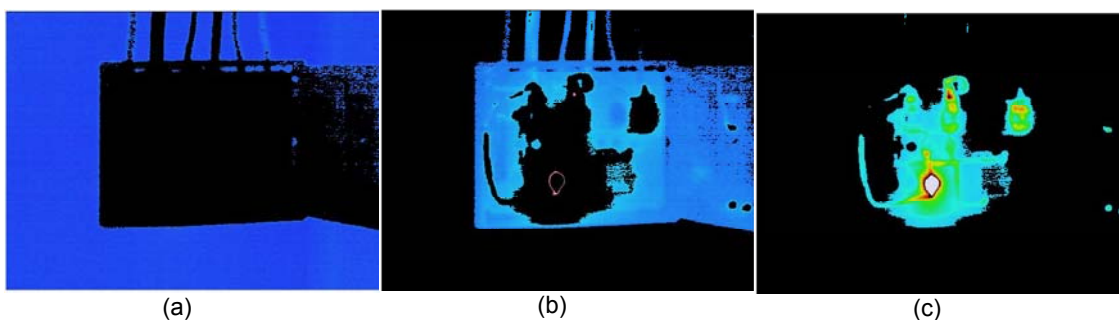


Figure 4. (a) Objects in cluster 1. (b) Objects in cluster 2. (c) Objects in cluster 3.

Figure 4(a) shows the cluster 1 which represents two different temperature of object and background. Figure 4(b) shows the cluster 2 which represents the object with relatively medium and high temperature. The existence of hotspot is slightly detected in this cluster 2. Figure 4(c) shows the cluster 3 representing object with temperature from medium to high. Low, medium and high temperature values are not constant, but relative to the measured temperature range in the thermography image.

Clustering test results with k-means method also generate three clustered objects output, because thermogram image input is in BMP format. Clustering results are simpler than segmentation, making it easier to interpret the output. However, segmentation test result with fastICA provided more detail information than clustering method. Also we remark that image output of the segmentation and clustering is thermal pattern image but it does not match to the color scale commonly used in thermogram (eg. shine scale). Thus it is necessary to read carefully the temperature values of the segmentation and clustering results.

CONCLUSION

In this research, we have developed the method of infrared thermography image analysis using fastICA segmentation method and k-means clustering. Test results on the thermography image showed that the segmentation and clustering method can extract information on the existence of hotspot, objects and background. Interpretation of clustering result is easier than segmentation. However, segmentation test result with fastICA provided more detail information than clustering method.

ACKNOWLEDGEMENT

This research is funded by DIPA PTKRN (Center for Nuclear Reactor Technology and Safety)–BATAN fiscal year 2016.

REFERENCES

1. M. Dhandang P., dkk, "Dokumen Manajemen Penuaan RSG-GAS", P2TRR Batan, 2003.
2. IAEA, "Safety Requirements of Research Reactors", IAEA Safety Standards Series DS-272 (Draft), International Atomic Energy Agency, Vienna, 2003.
3. Sudarno, Edi Sumarno, Giarno, "Pemantauan Kondisi Instalasi Listrik Menggunakan Termografi Infra Merah", Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, Yogyakarta, 9 September 2014.
4. Teguh Sulistyono, Kiswanto, Roziq Himawan, Ari Satmoko, "Diagnosis Penuaan Panel Busbar Utama II Sistem Kelistrikan RSG-GAS Menggunakan Infrared Thermography" Prosiding PPI-PDIPTN, PTAPB – BATAN, Yogyakarta, 2007.
5. Chen C., Qin W., Fang Z., Zhang Y., "Infrared image transition region extraction and segmentation based on local definition cluster complexity" International Conference on Computer Application and System Modeling, Vol. 3. pp. 50–54, 2010.
6. Linda G. Shapiro and George C. Stockman "Computer Vision", Prentice-Hall, ISBN 0-13-030796-3, pp 279-325, New Jersey, 2001.
7. Jiehong Wu, Po Zhang, Xiangbin Shi and Fang Liu, "An efficient infrared image segmentation method," Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC), pp. 1449-1452, Shengyang, 2013.
8. E. Erdil *et al.*, "Nonparametric Joint Shape and Feature Priors for Image Segmentation," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 26, no. 11, pp. 5312-5323, Nov. 2017.
9. V. Cherukuri, P. Ssenyonga, B. C. Warf, A. V. Kulkarni, V. Monga and S. J. Schiff, "Learning based image segmentation of post-operative CT-images: A hydrocephalus case study," 8th International IEEE/EMBS Conference on Neural Engineering (NER), pp. 13-16, Shanghai, China, 2017.
10. Bharathi P.T and P. Subashini, "Texture based color segmentation for infrared river ice images using K-means clustering," 2013 International Conference on Signal Processing, Image Processing & Pattern Recognition, pp. 298-302, Coimbatore, 2013.
11. T. J. Ramirez-Rozo, J. C. Garcia-Álvarez and C. G. Castellanos-Domínguez, "Infrared thermal image segmentation using expectation-maximization-based clustering," XVII Symposium of Image, Signal Processing, and Artificial Vision (STSIVA), pp. 223-226, Antioquia, 2012.
12. NEC San-ei Instruments, Thermo Tracer TH9100 Series Operation Manual, NEC San-ei Instruments, Ltd., 2001.
13. Aapo Hyvärinen and Erkki Oja, "Independent Component Analysis: A Tutorial", http://www.cmap.polytechnique.fr/~peyre/cours/x2005signal/ica_tutorial.pdf, Helsinki University of Technology, April 1999. Last accessed January 25th, 2017.

14. Hyvarinen, A., "Fast and robust fixed-point algorithms for independent component analysis", *IEEE Transactions on Neural Networks*, 10, pp. 626-634, 1999.
15. P.N. Tan, M. Steinbach, and V. Kumar, "Introduction to Data Mining", (First Edition). Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2005.

THE ON-GOING PROGRESS OF INDONESIA'S EXPERIMENTAL POWER REACTOR 10 MW AND ITS NATIONAL RESEARCH ACTIVITIES

Taswanda Taryo, Rokhmadi, Syaiful Bakhri, Geni Rina Sunaryo

Center for Technology and Nuclear Reactor Safety-BATAN,
KawasanPuspipstek, Gedung 80, Serpong 15310, INDONESIA
Email address: taryo@batan.go.id

ABSTRACT

THE ON-GOING PROGRESS OF INDONESIA'S EXPERIMENTAL POWER REACTOR 10 MW (RDE-10) AND NATIONAL RESEARCH ACTIVITIES. The RDE-10 program was firstly launched to the Agency for National Development Planning (BAPPENAS) in 2014. The RDE-10 program is expected to devote positive impacts to community prosperity, self-reliance and sovereignty of Indonesia. The RDE-10 availability will be able to accelerate advance nuclear technology development and hence Indonesia will turnout to be the nuclear champion in the ASEAN region. The application of RDE-10 performs an added value of local content and hence develops a model to fulfill the need of raw-material industry which is still imported from other countries. The success of development, operation, maintenance and utilization of RDE-10 will be able to enhance public acceptance on nuclear technology in Indonesia. This paper entitles background and design specification of RDE-10, challenging on budgeting and site licensing, national capacity building and its significant implementing research activities, concluding remarks, acknowledgement and references. Indeed, the paper can be assigned as a reference in planning, construction and operation of RDE-10 in Indonesia.

Keywords: RDE-10, Indonesia, current status, development.

ABSTRAK

STATUS TERKINI PEMBANGUNAN REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL INDONESIA (RDE-10) DAN KEGIATAN RISET TERKAIT NASIONAL. Program pembangunan RDE-10 sampai saat ini telah berjalan sejak awal 2014 ketika pertama kali Blue Print (Cetak Biru) RDE-10 disampaikan ke Bappenas. Program pembangunan dan pengoperasian RDE diharapkan akan memberikan dampak positif terhadap kesejahteraan masyarakat, kemandirian dan kedaulatan bangsa. Keberadaan RDE dapat mengakselerasi berkembangnya teknologi nuklir generasi maju di Indonesia sehingga menjadi unggul di kawasan regional. Aplikasi RDE dapat meningkatkan nilai tambah produk sumberdaya lokal, sehingga dapat dijadikan model dalam memenuhi kebutuhan industri bahan baku, yang selama ini bergantung pada impor. Keberhasilan nasional dalam pembangunan, pengoperasian dan perawatan serta pemanfaatan RDE dapat meningkatkan penerimaan publik terhadap teknologi nuklir. Makalah ini menyampaikan latarbelakang dan desain spesifikasi RDE, tantangan pendanaan dan perijinan, pengembangan SDM nasional dan kegiatan litbang utama terkait, kesimpulan, penghargaan dan acuan. Sangat diharapkan makalah ini dapat dijadikan pedoman dalam perencanaan, pembangunan dan pengoperasian RDE-10 di Indonesia.

Kata kunci: RDE-10, Indonesia, status terkini, pembangunan.

INTRODUCTION

The Act number 17 year 2007 on the Long Term of National Development Plan (RPJPN 2005-2025) and The Attachment of The Government decree Number 14 Year 2015 on The Master Plan of National Industry Development 2015-2035 (RIPIN 2015-2035) have authorized the application of nuclear energy considering very strict safety in 2015-2019, as well as the use of nuclear-energy-generated industry commencing 2020 [1,2]. In addition, in the Plenary Meeting of the National Energy Chamber (DEN) held in June 2016, the President of the Republic of Indonesia commanded the development of power research reactor and supporting laboratories in which Indonesian nuclear experts are able to express, interact, create and support all nuclear research activities in the country and all significant

results can be preserved to strengthen international collaboration and hence the world latest nuclear technology always be well informed.

Based on the Act number 10 Year 1997 as well as the Government Decree Number 2 Year 2014, BATAN (The National Nuclear Energy Agency) has the authority to implement nuclear research activities as well as to construct, operate and commission of non-commercial nuclear reactor in the country. In regards with that subject and as the World trends [3], BATAN decided to develop High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR) to be available in Indonesia. The HTGR technology has been selected since the HTGR not only has a very safe performance but also can be utilized for other purposes, such as, water desalination, hydrogen production, coal liquefaction, etc. [4]. The reactor not only consumes fuel flexibility [5], but also is proven technology, competitive price, and has a commercial prospect in the near future as some advanced countries (Germany, USA, PRC, Japan, RoK) have performed significant R&Ds on these kinds of HTGRs since 1980s [6-14]. The reactor can also be expanded to support small-medium electric power in the Eastern part of Indonesia.

The impression to develop HTGR, called as RDE-10 project, was originated from a talk between the Vice Minister of National Development Planning and Chairman of BATAN at the end of 2013. The idea was then conferred in the trilateral meeting between BAPPENAS, Ministry of Finance and BATAN. Due to appeal of BAPPENAS, the main related stakeholders of University of Indonesia/UI, Bandung Institute of Technology/ITB, Gadjah Mada University/UGM and The Agency for Assessment and Application of Technology/BPPT then supported the development of RDE-10 in Indonesia [15]. Indeed, there have been nine pre-project activities since 2014 including preparation of land use for RDE-10, RDE blue print, site license process, conceptual design and FEED (Front End Engineering Design), feasibility study, pre safety analysis report (PSAR), reactor main data, reactor information design, international collaboration, ten drafts for construction permit, project management and technology trainings held in domestic and foreign country and the establishment of project management organization [16].

Vision, Aims of RDE-10

The vision to build RDE-10 is to enhance Indonesia to be a nuclear champion in ASEAN region as well as nuclear technology provider to advance HTGR for electricity and cogeneration for industry in the future as seen in Figure 1. The final aim of RDE development is of the country strategic policy in energy sovereignty and the existence of the nation in the future. The RDE is utilized to condense the fossil-generated electricity, self-reliance on energy, and not only to enlarge local industry participation and to lead the regional and global economy, but also to strengthen politics and energy diplomacy. RDE will technically produce 2.9 MWe (Mega Watt electric) and only 0.4 MWe will be utilized for internal operation and the rest will be applied for BATAN internal electric supply as well as for community-need electricity around the RDE site. Moreover, the 1 MWe will be indeed equivalent to 1,000 house holds or 1,000 Watt each. Moreover, RDE is devoted for a demo plant from nuclear research reactor producing electricity. RDE can be a reference plant of small-power generating plant and is also very suitable to support small-medium-electricity-need regions. The RDE is projected to reinforce local industry participation and hence reducing the import dependence on other countries. The RDE is keen to intensify public acceptance on nuclear power plant (NPP) and is believed to advance national capacity building not only in nuclear research activities, but also in manufacturing and construction to support nuclear industry in Indonesia.

RDE Site has been selected in Puspipstek Serpong, Kota Tangerang Selatan and the site provided is around 8,674 ha. The site has been decided based on a temporary use permit from the Ministry of Research, Technology and Higher Education Number 1402/A/PL/2015, dated August 21, 2015, and the Ministry of Finance Number S-26/MK.6/2016, dated on 14 March 2016. The location of RDE is around 500 meters from the existing 30 MW RSG-GAS reactor in which BATAN has safely functioned it since 1987. It is noted that the national nuclear regulatory body (BAPETEN) has declared a site permit for RDE dated on January 23, 2017 and the permit is valid for 4.5 years.

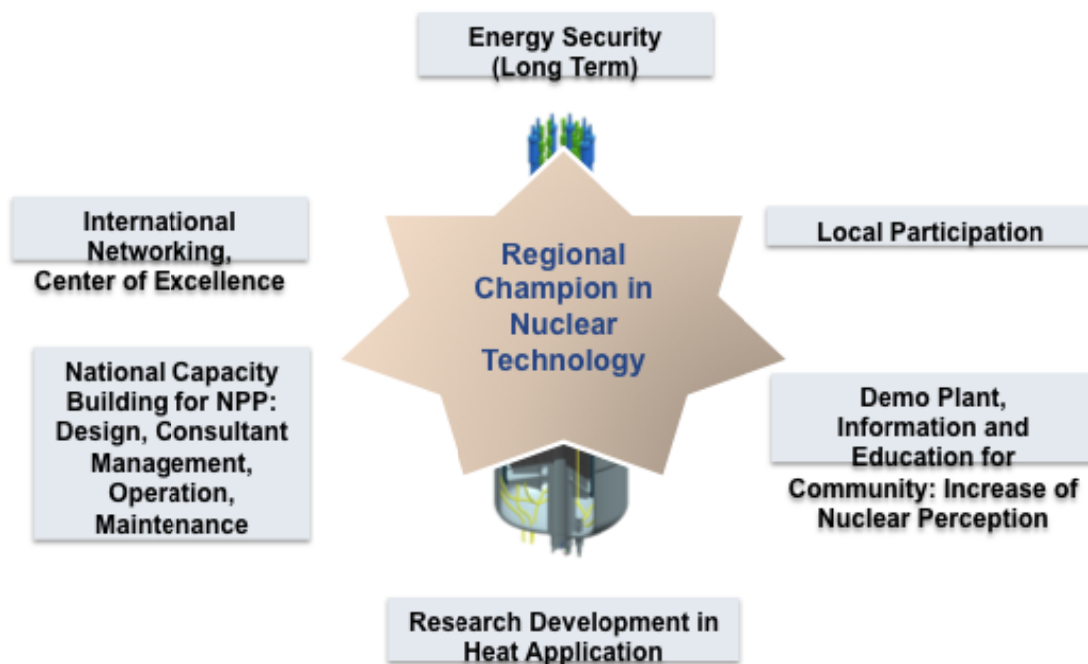


Figure 1. The advantages of RDE-10 project

The users for RDE are BAPETEN, BATAN, research agencies/ministries to proceed R&Ds on new and renewable energy, universities to educate qualified, young researchers, the related state-owned companies to support energy-mixed, local government to reinforce technological tourist object, local industry manufacturer, petrochemical and mineral companies, international institutions to do joint research in RDE, etc. By the existence of RDE, Indonesia will face a new era of advance nuclear technology Gen-IV and become a nuclear champion in ASEAN region and hence implementing welfare-self-reliance-sovereignty based community. This paper entitles background and design specification of RDE, challenging on budgeting and site licensing, national capacity building and its significant research activities, concluding remarks, acknowledgement and references.

CURRENT STATUS OF DEVELOPMENT FOR RDE-10

Design features of RDE-10

The Generation-IV consortium seeks to develop a new generation of nuclear energy systems for commercial deployment by 2020–2030 and one of the systems selected for development is a very high-temperature gas-cooled reactor (VHTR) [3]. The safety of a high gas temperature reactor (HTGR), one of the VHTR types, is very definite and the HTGR is becoming world trend to fulfill not only the need of electricity, but also to apply for other purposes, such as, hydrogen production, water desalination, coal liquefaction etc. The first success of HTGR was introduced in Germany when HTGR fuels were successfully invented in Harwell 1957. Through five decades of development, the German UO₂ coated particle and US LEU UCO coated particle represent the highly successful coated particle designs up to now [17]. The development of HTGR fuels has been of major concern of the world trend in the last two decades. However, referred to the success of HTGR operation, at the end of 2000, the Chinese 10 MW high temperature gas-cooled reactor (HTR-10) attained its first criticality on December 21, 2000 [13]. RDE, an HTGR type, and also one of the VHTR types as mentioned earlier, has been selected since RDE-10 is also taken into account the Multipurpose Power Reactor. In general, the design specification of RDE-10 is shown in Table 1.

Table 1. Design specification of RDE-10 [18].

Basic data		
Reactor power (thermal)	10	MW (Thermal)
Mean power density	2	2 MW/m ³

Core diameter	1.8	M
Mean core height	2.0	M
Primary system pressure	30	Bar
Flow direction	Downwards	
Primary coolant temperature (inlet/outlet)	250/700	°C
Fuel	Low-enriched uranium	(LEU)
Feed method	Multiple recycle	(MEDUL)

Equilibrium core nuclear data

No. of radial enrichment zones	1	
No. of fuel element recycles (avg.)	5	
Heavy metal charge	5	g/fuel element
No. of fuel elements in core	27,000	pcs.
Integral fuel element residence time	1,160	VLT
Fuel element dwell time	230	VLT
Enrichment	17	w/o
Target burn-up	80,000	MWd/MgU
Mean fuel element output	0.37	kW/fuel element

Fuel inventory

Heavy metal (excluding fission products)	138	Kg
fissionable materials	23.5	Kg
Maximum neutron fluency at side reflector (E greater than or equal to 0.1 MeV; after 32 full-load years)	6.8×10^{21}	cm^{-2}

1st Shutdown System (Reflector Rods) -> New: Rods outwardly going

Rods	10	Pieces
Absorber length	2,200	Mm
Absorber diameter	100	Mm
Maximum travel	2,600	Mm
Normal speed	1	cm/s
Absorber material	B ₄ C	

2nd Shutdown System

Shutdown units	7	Pieces
Small ball shutdown element diameter	5	mm
No. of small ball shutdown elements per unit	2.7×10^5	Pieces
Absorber material	B ₄ C in graphite matrix	(25% B ₄ C by volume)

RDE site licensing and budgeting

Referred to the applied law as mentioned in the beginning of this paper, for the construction of new commercial and non-commercial nuclear reactors, some permits must be fulfilled, such as, site and construction permits, commissioning, and operation licenses [19]. To date, BATAN has possessed a nuclear power site permit for RDE since January, 23, 2017. This must be appreciative since the site permit is the first history in the ASEAN region released by the national nuclear regulatory. Based on the law, RDE is categorized as a non-

commercial nuclear research-based power reactor, so that BATAN can propose the site permit to BAPETEN. BATAN had a lot of efforts to bear the site permit through firstly initiating a document of management system as well as that of site evaluation program to the regulatory body in September 2014. The former displays system management on planning, design, construction, commissioning, operation and decommissioning of RDE. The latter demonstrates all regular schedules, implementation and evaluation of site investigation activities dealing with earthquakes/seismology, volcanoes, geo-technic and foundation, meteorology, hydrology, human-base accident, and dispersion and populated distribution.

To deal with process of site licensing, firstly, BAPETEN has collaborated with The State University of Indonesia (UI) dealing with management system. Secondly, the Regulatory Body was in cooperation with Bandung Institute of Technology (ITB) covering all site aspects. As a licensee, BATAN also collaborated with the Agency for Meteorology, Geophysics and Earthquake (BMKG) and the Agency for Geology. Program of Site Evaluation and Management System of Site Evaluation was approved by BAPETEN on 25 February 2015. BATAN then proposed an application for Site Licensing for RDE to BAPETEN in October 2015. As standard operational procedure, the site licensing proposal documents were reviewed and all findings were then delivered to BATAN. BATAN completed a lot of efforts to revise all findings and BAPETEN fortunately held some trilateral meetings among BATAN, BAPETEN and its technical consultant. In three lateral meetings, all participants have ever visited site inspection especially for hydrology, seismic and foundation aspects. After all findings revised, BAPETEN finally released the site licensing for RDE on January 23, 2017. It was originally planned to have a trilateral formal meeting among BATAN, BAPETEN and IAEA (*International Atomic Energy Agency*) in September 2016. However, the three-party meeting was then employed in the last week of March 2017 and in the meeting, the Agency accomplished that BAPETEN has implemented all site licensing standard processes as properly as other countries do.

At the end of 2015, consortium of Indonesia-Germany completed conceptual design and FEED (front end engineering design), feasibility study, design information question (DIQ), main specification of reactor and pre safety analysis report (PSAR) of RDE. Come along with all documents carried out by the consortium, in 2016, BATAN completed Revision 0 of Document for Construction Licensing of RDE, Review Process and Quality Improvement of Site Licensing Documents delivered to BAPETEN, Preparation of Bidding Documents/TORs for Consultant of Planning and Company for EPC-RDE), Feasibility Document to support Bluebook RDE delivered to BAPPENAS. For the time being, BAPPENAS is still reviewing the Feasibility Study Document of RDE Revision 2 [16] to become a National Blue Book. The Blue Book is expected to be concurred by BAPPENAS in May 2017 and hence a green book consisting of the real agenda of RDE project will be released seven months later. The green book is considered to assure the civil construction of RDE to be commenced in 2018.

NATIONAL RESEARCH ACTIVITIES TO SUPPORT RDE-10 AND NATIONAL CAPACITY BUILDING

Referred to the Government Decree Number 79 Year 2014, the Indonesia Government supports and strengthens the development of energy industry and hence speeding up the energy supply and its application, national economy extension and labor worker absorption [20]. Based on the decree, it is estimated that the national need for electricity is 115 GWe by 2025 and to reduce the dependence on coal, the use of new and renewable energy (NRE) cannot be neglected. The previous mentioned decree also mandated that the application of NRE of 17% should be implemented. To become the use of NRE for electricity, as nuclear is one of NREs, the use of nuclear-based electricity has been adopted as mentioned in Ref. [21]. For dense population, such as, Java and Sumatera islands, the bigger nuclear power of 1,000 MWe is very proper. However, for the Eastern part of Indonesia which has smaller population, the smaller nuclear powers of 200-300 MWe will be suitable. The HTGR, RDE-base type having the power range of 150 MWe to 200 MWe, will be very appropriate in that area. To begin with and to support the mandate on the acceleration of NRE industry, nuclear-base research activities should be soon determined.

Local industry participation

During the construction of RDE-10, there will be a lot of knowledges dealing with project management organization and all aspects, such as, nuclear and safety, mechanical, electrical, process, instrumentation and control (I&C) and civil. In the first quarter of 1980s, Indonesia, specifically BATAN in Puspiptek area Serpong, had ever experiences on the construction of Multi Purpose Reactor, called RSG-GAS reactor, and its supporting laboratories, such as, centers of radioisotope, radiopharmaceutical, and nuclear research reactor fuel element production, and both are now belonged to the state-owned company Indonesia Nuclear Industry (INUKI). In addition, the others are also fuel element, nuclear safety and technology and radioactive waste treatment centers as well as nuclear facility engineering center and most of these facilities have safely operated since 1987. It is highlighted that all civil construction and non-nuclear-safety related devices supervised by the reactor vendor were executed by Indonesia engineering companies. From the latest assessment carried out, it is estimated that all RDE construction will be at least 40% supported by local engineering companies as seen in Table 2.

Table 2. Local participation for RDE construction [22].

No.	Cost component	%	Cost element					Total of cost element	Local participation (%)
			L (20%)	Com (18%)	ME (40%)	FD/ID (8%)	E/D/P (14%)		
1.	Plant concept, SAR, detail eng.	03.94	10	10	25	8	7	60	02.36
2.	BOP	17.87	20	15	30	8	12	85	15.21
3.	Buildings	12.88	20	15	35	8	14	92	11.85
4.	Electrical Systems	06.44	20	15	30	8	10	83	05.35
5.	I&C	09.67	10	9	20	8	7	54	05.22
6.	NSSS	48.84	0	0	0	0	0	0	0.0
	Component handling	0.36	20	18	40	8	14	100	0.36
7.	Total Cost	100.0							40.35

Note: L: Labor; Com: commodities; ME: major equip; FD/ID: filed/in direct; E/D/P: Eng/Des/Proc.

Due to the construction of RDE-10 and to maximize participation of the local companies in nuclear industry, a lot of integrated research activities should be begun and collectively implemented in ministries, agencies and universities. They are requested to propose such research activities and hence all research activities being able to be collectively carried out to achieve national goal on self-reliance of nuclear technology and industry. All collective research activities should be principally integrated by the Ministry of Research Technology and Higher Education.

Main stakeholder responsibilities

To begin with the national goals as stated in RIPIN 2015-2035 [2] and due to RDE-10 research activities, the Ministry also published The Master Plan for National Research 2015-2045 (RIRN 2015-2045). National Research activities for 2015-2019 are based on The long Term National Development Planning (RPJPN) 2005-2025, RPJMN 2015-2019, *Buku Putih Iptek* (white paper of research technology), The Agenda of National Research (ARN 2015-2045) [23], RIPIN 2015-2035, *Nawacita* and other relevant important documents. The related agencies, ministries and agencies have tasks as follows:

1. The Agency for National Development Planning/Ministry of National Development Plan (BAPPENAS) and Ministry of Finance (MoF): To make decision on mid and long term national planning especially in nuclear energy-based industries and to guarantee finance for their research activities which can be supported from national budget, joint venture as well as from G to G soft loans.

2. Ministry of Research Technology and Higher Education: To integrate all nuclear-base research activities in the country. For universities/institutions, researchers can be from University of Indonesia (UI), Bandung Institute of Technology (ITB), Gadjah Mada University (UGM) can be requested to take parts on nuclear research activities to develop and achieve nuclear industry in the country.
3. Ministry of Industry: To integrate all research activities on the engineering-based nuclear energy industry
4. Ministry of Energy and Mineral Resources: To ascertain national energy need in the future as well as to implement research activities on new and renewable energy following the Government Decree Number 79 Year 2014 on National Energy Policy 2014-2050 as well as the General Plan of National Energy till 2050.
5. Ministry of Cabinet Secretary and Ministry of Law and Human Rights: To institute all applicable laws to support research activities on new and renewable energy,
6. Ministry of Public Work and People Housing: To do research and development on nuclear-based civil construction.
7. BAPETEN: To set up all nuclear safety laws of nuclear-energy-based electricity for advance nuclear technology.
8. BATAN: To form and improve technical support organization (TSO) on present and advance nuclear technology.
9. BPPT: To establish a clearing house for all non-nuclear technology,
10. Agency for National Standard (BSN): To bring about all national standards to support peaceful uses of nuclear technology,
11. Universities: To implement nuclear-based research and to support the human resource development to do R&D in nuclear science and technology,
12. Ministry of State-owned company (Pertamina, PLN, Engineering Company): To establish research collaboration between state-owned companies and ministries/agencies to achieve nuclear industry,
13. Ministry of Foreign Affairs: To implement the lobbying on politic and nuclear energy policy in the ASEAN and global regions.
14. Ministry of Communication and Information: To establish public education and public information on nuclear energy.
15. LIPI: To prepare and establish research activities on social engineering and hence people living in the NPP-surrounding site can accept nuclear technology freely.

As mentioned earlier, the local content percentage of RDE-10 construction will involve as minimum as 40%. For local industry participation, Republic of Korea and Japan are now dealing with 90% of all NPPs (nuclear power plants) available in their countries and the rest of 10% is taken into account to balance the global economy [24]. For Indonesia, it is very reasonable to maximize the local nuclear industry participation of 70% by 2035. A lot of integrated industry-based research activities should be implemented as late as 2018. Indeed, the philosophy of what ministries/agencies/universities doing what activities should be clearly defined. The summary of research activities to develop and establish nuclear industry in the country is displayed in the following Table.

Table 3. Goals of research activities for nuclear industry 2015-2035

	Ministries or Agencies	Goals of Research activities	Duration	Big Goal 2035
1	National Planning and Finance	Decision on strategic planning of national industry development and on supporting its financing	2018-2035	
2	Ministry of Research Technology and Higher Education	Coordinating and budgeting of integrated research activities	2018-2025	
4	Energy and Mineral Resources	Establishment of national energy need in the future	2018-2025	
5	Ministry of Law and Human Rights	Establishment of applied law and rules to support integrated national research	Every year	

		activities		
6	Ministry of Public Work and People Housing	To implement research development on civil nuclear-based construction	2018-2035	
7	Ministry of Industry	To coordinate all applied researches on engineering-based nuclear energy industry		
8	Ministry of Cabinet Secretary	To support the establishment of government and president decree dealing with nuclear research activities	Every year	70% LOCAL-BASED NUCLEAR INDUSTRY
9	BAPETEN	Preparation and establishment of nuclear applicable law	2018-2025	
10	BATAN	Establishment of technical support organization on nuclear technology	2018-2025	
11	BPPT	Clearing house on non-nuclear technology	2018-2025	
12	Agency for National Standard	Preparation and establishment of national standard for nuclear industry	2018-2025	
13	Universities	Implementing nuclear-based research and supporting HRD	2018-2025	
14	State owned company (BUMN): Pertamina, PLN, Engineering Company	Establishment of collaboration for research activities on mechanical, electrical, instrumentation, balance of plant, etc.	2018-2025	
15	Foreign Affairs	Implementation of lobbying on politic and nuclear energy policy	2018-2025	
16	Communication and Information	Promotion and public education on nuclear energy	2018-2025	
17	LIPI	Research establishment on research of nuclear-based social engineering	2018-2025	

National research activities to support nuclear industry

To support national research activities for nuclear industry, the main topical researches should be focused on plant concept and detail engineering, buildings, electrical, instrumentation and control system (I&C) and nuclear steam supply system (NSSS). Every topical research will be explained in the following paragraphs.

Firstly, In general, the construction of RDE will begin with its conceptual design and as mentioned earlier, the conceptual design of RDE was completed at the end of 2015. The RDE conceptual design was carried out by consortium of local engineering company, Rekaya Engineering, for non-nuclear islands and German company called NUKEM GmbH for nuclear islands. Furthermore, it should be highlighted that 40% of the design was successfully done by local company, and the rest was carried out by the foreign company as previously explained. To continue the activities of RDE, in 2016, BATAN developed project management organization (PMO) to mediate such activities in which BATAN and vendor candidates are involved. In addition to PMO, BATAN also established mainly some teams, such as, budgeting-feasibility team, site and licensing team, safety analysis report (SAR) team, and design team. While, the feasibility team is persistent to collaborate with BAPPENAS team to speed up the RDE-10 project to be one of the Program Blue Books for 2017, the site and licensing team was successfully to bear the RDE-10 site licensing in

January 2017. The SAR team also developed pre safety analysis report (PSAR) of RDE and the report was already reviewed by the Agency Representatives. The reviewer considered the RDE report classified as the PSAR world class.

Secondly, BATAN has recently established the RDE design team to improve the RDE conceptual design and hence becoming the RDE basic engineering design package (BEDP). By using the BEDP, the cost of the RDE EPC (engineering, procurement and construction) can be estimated accurately. Furthermore, the Ministry of Industry has recently been interested in collaborating with BATAN to implement the project RDE into the phase of EPC. Some local engineering companies are also very impressive to construct the RDE at due time and they even estimate the local content for RDE around 50%, 10% more than previous estimate. The result of BEDP should however be reviewed by foreign nuclear engineering company or the reviewer from the International Atomic Energy Agency (IAEA) due to IAEA code of conduct for nuclear safety.

Thirdly, as previously mentioned, RDE basically consists of balance of plant, buildings, electrical systems, Instrumentation and control (I&C) and component handling and those are classified as non-nuclear islands. However, NSSS is nuclear island which is mostly supported by foreign nuclear companies. Moreover, balance of plant is one of the main parts in RDE and the BOP mainly contains chillers, diesel gensets, gas compressors, generators etc. [25]. BATAN is possibly to collaborate with some local engineering companies especially for dealing with BOP implementation for EPC of RDE. From Table 3, it is clear that, 85% of BOP work will be able to be conducted by the local engineering companies. Those have been proven when BATAN implemented the RSG-GAS construction and its supporting laboratories in Kawasan Puspiptek Serpong from 1980s to 1990s. From BATAN investigation, steam turbine and generator, power of more than 1000 MW thermal, which are mainly those of BOPs have even been fabricated in Cilegon industry area. It is then assured that there should not be more research activities to be done on BOP.

Fourthly, for the buildings as previously mentioned in Table 3, 92% of all works can be supported by local engineering companies and the rest is only related to the installation of NSSS, such as, pressure vessel, reactor core, primary cooling system etc, and the work deals with mainly on welding of the NSSS installation classified as nuclear standard. Moreover, from Table 3, it is shown that electrical system of RDE can be 85% supported by local companies since this is a group of non-safety related electrical system. However, the electrical system related to nuclear controlling system is classified as nuclear island system and the research collaboration with foreign nuclear institution should be developed.

Finally, instrumentation and control (I&C) of RDE covers display, monitoring and control and the first and second parts can be surely handled by the local engineering companies, since they have been long involved in big power of coal plant in Indonesia. Furthermore, the control system of RDE, or NPP in general, is classified as nuclear-safety related system, so that the collaboration between local and foreign-nuclear companies can not be neglected. Lastly, Nuclear Steam Supply System (NSSS) is 100% nuclear islands, so that the cooperation on research activities with important foreign institutions should be soon defined and implemented.

CONCLUSIONS

The RDE development has become a progressive national program since the program has been fully supported not only by the related Acts, but also the mandate of President of the Republic of Indonesia in which nuclear Indonesia experts are able to express, interact, create and support all nuclear research activities in the country and all significant results can be preserved to strengthen international collaboration and hence the world latest nuclear technology always be well informed.

The RDE will be a very good experience, especially for BATAN and related stakeholders, to gain national capabilities in nuclear fields. The smaller power of RDE developed in the eastern part of Indonesia can optimize the use of natural resources, such as, thorium, zirconium and others. Since the RDE project will be partly financed by national budget, the existence of the project will open opportunities to local industries to participate in the RDE construction, especially in civil construction as well as in non-safety related devices to achieve the goal of 70% local-based nuclear industry in 2035, all integrated research activities focusing on nuclear industry should be soon defined and implemented by the responsible ministries/agencies/universities. For nuclear research activities concentrated on

nuclear safety-related systems, the collaboration with foreign institutions and/or Agencies should be soon carried out.

ACKNOWLEDGEMENT

The author acknowledges the Chairman of BATAN who has assigned the author as chief of project management organization of RDE to organize all activities and hence the RDE can be safely operated due to meet with national and international standards. The author also thanks to the committee of guidance for researcher to review and finally develop this paper qualified. Indeed, the author is also very appreciative to Head of Center for Nuclear Reactor Technology and Safety as well as staff of Division of Reactor Safety Technology and hence enabling the author to develop this paper being possibly worthwhile for nuclear community in Indonesia.

REFERENCES

1. SEKRETARIAT KABINET, "Undang Undang Nomor 17 Tahun 2007 Tentang Rencana Jangka Panjang Pembangunan Nasional, halaman 81, Jakarta, (2007).
2. SEKRETARIAT KABINET, "Lampiran Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Industri Nasional (RIPIN) 2015-2035, halaman 29, Jakarta, (2015).
3. ABRAM, T., ION, S., "Generation-IV nuclear power: A review of the state of the science, *Energy Policy* **36**", pp. 4323–4330, (2008).
4. ZANG, Z., DONG, Y, LI, F., ZHANG, Z., WANG, H., HUANG, X., LI, H., LIU, B., WU, X., WANG, H., DIAO, X., ZHANG, H., WANG, J., "The Shandong Shidao Bay 200 MWe High-Temperature Gas-Cooled Reactor Pebble-Bed Module (HTR-PM) Demonstration Power Plant: An Engineering and Technological Innovation", *Journal of Engineering* **2**, page 112–118, (2016).
5. NABIELEK, H., KAISER, G., HUSCHKA, H., RAGOSS, H., WIMMERS, M., THEYMANN, W., *Fuel for pebble bed HTRs*, *Nuclear Engineering and Design* **78**, pp.155-166, (1984).
6. NABIELEK, H., KUEHNLEIN, W., SCHENK, W., HEIT, W., CHRIST, A., RAGOSS, H., 1990, "Development of advanced HTR fuel elements", *Nuclear Engineering Design* **121**, pp. 199–210, (1990).
7. STANSFIELD, O.M., Evolution of HTGR Coated Particle Fuel Design, *Energy* **16** No. ½, pp. 33-45, (1991).
8. LEE, Y. W., PARK, J.Y., KIM, Y.K., JEONG, K. C., KIM, W. K., KIM, B.G., KIM, Y.M., CHO, M. S., "Development of HTGR-coated particle fuel technology in Korea, *Nuclear Engineering and Design* **238**", pp. 1-2, (2008).
9. NICKEL, H., NABIELEK, H., POTT, G. AND MEHNER, A.W., "Long time experience with the development of HTR fuel elements in Germany", *Nuclear Engineering and Design* **217**, (2002).
10. PETTI, D.A., BUONGIORNO, J., MAKI, J.T., HOBBS, R.R. AND MILLER, G.K., "Key differences in the fabrication, irradiation and high temperature accident testing of US and German TRISO-coated particle fuel, and their implications on fuel performance", *Nuclear Engineering and Design* **222**, (2003).
11. PARK, K.H., PARK, J.Y., KIM, W.J., LEE, Y.W., CHANG, J.H., "Porosity evaluation of PyC in TRISO-coated fuel particles by the depth sensing indentation method", In *Proceedings of the HTR-2006 Third International Topical meeting on High Temperature Reactor Technology*, Johannesburg, South Africa (Paper No. B00000125) (2006).
12. SAWA, K., SUZUKI, S., SHIOZAWA, S., "Safety criteria and quality control of HTR fuel", *Nuclear Engineering and Design* **208**, (2001).
13. TANG, C., TANG, Y., ZHU, J., QIU, X., LI, J., XU, S., "Research and development of fuel element for Chinese 10 MW high temperature gas-cooled reactor", *Journal of Nuclear Science Technology* **37**, (2000).
14. TANG, C., TANG, Y., ZU, J., ZOU, Y., LI, J., NI, X., "Design and manufacture of the fuel element for the 10 MW high temperature gas-cooled reactor", *Nuclear Engineering and Design* **218**, pp. 91–102, (2002).
15. BATAN, "Forum Grup Diskusi Tentang RDE-10 dengan Para Pemangku Utama BATAN", Jakarta, (2016).
16. BATAN, "Studi Kelayakan RDE-10 Revisi 2", pp 961-968, (2017).

17. ZHOU, X.W., TANG, C.H., "Current status and future development of coated fuel particles for high temperature gas-cooled reactors", *Progress in Nuclear Energy* **53**, pp. 182-188, (2011).
18. TARYO, T., "The Current Status of Indonesia Experimental Power Reactor 10 MW (RDE-10)", *Proceeding of The national seminar of nuclear energy*, ISSN 2355-7524, Batam, Indonesia, pp. 961-968, (2016).
19. SEKRETARIAT KABINET, "Peraturan Pemerintah Nomor 2 Tahun 2014 Tentang Perizinan Instalasi Nuklir Dan Pemanfaatan Bahan Nuklir", halaman 6-8, Jakarta (2014).
20. SEKRETARIAT, "Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional", halaman 19, Jakarta, (2014).
21. BATAN, "Indonesia Nuclear Energy Outlook 2014", ISBN 978-602-71166-0-3, page (2014).
22. BATAN, "Forum Grup Diskusi Tentang RDE antara BATAN Kementerian Perindustrian", Slide 35, Jakarta, April 13, 2017, (2017).
23. Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi, "Rencana Induk Penelitian Nasional 2015-2045 (RIRN 2015-2045)", Versi 3.5.2, halaman 48-51, Jakarta (2016).
24. Personal communication with Mr. Sriyana, PKSEN-BATAN, Serpong, 19 April 2017 at 01.00 pm, (2017).
25. www.proenergyservices.com/energy-parts/balance-of-plant-equipment, 19 April 2017, at 11.30 am, (2017).

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

THE ANALYSIS OF THE POWER QUALITY OF THE TRANSFORMER BHT03 OF MULTIPURPOSE RESEARCH REACTOR G.A. SIWABESSY DURING THE 30 MW OPERATION

Abdul Hafid¹, Teguh Sulisty², Syaiful Bakhri¹, Geni Rina Sunaryo¹

¹Center For Nuclear Reactor Technology and Safety BATAN, PUSPIPTEK AREA Building No. 80,
Tangerang Selatan - 15313

²Center for Multipurpose Reactor BATAN, PUSPIPTEK AREA Building No. 30, Tangerang Selatan
email: ahafid@batan.go.id

ABSTRACT

THE ANALYSIS OF THE POWER QUALITY OF THE TRANSFORMER BHT03 OF MULTIPURPOSE RESEARCH REACTOR G.A. SIWABESSY DURING THE 30 MW OPERATION. Age of Multipurpose Reactor G. A. Siwabessy (RSG GAS) is 30 years old. Aging is a problem to be controlled. The power supply on component is always expected to have good quality. RSG-GAS electricity is supplied from State Electricity Company through a transformer, one of which is a BHT03 transformer. Measurements have been made on the low voltage side of BHT03 RSG-GAS transformer. Measurements were made to obtain the RSG GAS power feasibility data. The purpose of this research is to know the quality of power transformer BHT03 RSG-GAS at 30 MW reactor operation. The method used is direct measurement using Power Quality Analyzer (PQA) 3197. The result of the measurement analysis shows that on the operation of 30 MW, there is a flow of current at neutral phase of 61 A. From the calculation result of imbalance of electric current in BHT03 transformer By 1.98%. The power factor is very good with the lowest value 0.92 and the highest 0.95, the average of 0.94. The power quality of the transformer BHT03 is eligible because the General Electrical Installation Requirement (PUIL) states that the electrical imbalance is less than 20%.

Keywords: power quality, transformer, 30 MW operation, electric current, imbalance

ABSTRAK

ANALISIS KUALITAS DAYA TRANSFORMATOR LISTRIK BHT03 REAKTOR SERBA GUNA G.A. SIWABESSY SAAT OPERASI REAKTOR 30 MW. Usia Reaktor Serba Guna G. A. Siwabessy (RSG GAS) sudah 30 tahun. Penuaan merupakan masalah yang harus dikontrol. Pasokan listrik pada komponen senantiasa diharapkan memiliki kualitas yang baik. Listrik RSG-GAS dipasok dari Perusahaan Listrik Negara melalui transformator, salah satunya adalah transformator BHT03. Telah dilakukan pengukuran pada sisi tegangan rendah transformator BHT03 RSG-GAS. Pengukuran dilakukan guna mendapatkan data kelayakan daya listrik RSG GAS. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas daya listrik transformator BHT03 RSG-GAS pada saat operasi reaktor 30 MW. Metode yang digunakan adalah pengukuran langsung dengan menggunakan alat ukur Power Quality Analyzer (PQA) 3197. Hasil analisis dari pengukuran menunjukkan bahwa pada pengoperasian 30 MW ini, terdapat aliran arus pada fasa netral sebesar 61 A. Dari hasil analisis perhitungan ketidakseimbangan arus listrik pada transformator BHT03 sebesar 1,98%. Faktor daya listrik sangat baik dengan nilai terendah 0,92 dan tertinggi 0,95 dengan rata-rata sebesar 0,94. Kualitas daya listrik pada transformator BHT03 memenuhi syarat karena Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) menyatakan bahwa ketidakseimbangan listrik adalah kurang dari 20%.

Kata kunci: kualitas daya, transformator, operasi 30MW, arus listrik, ketidakseimbangan

INTRODUCTION

To ensure that the reactor can be operated safely, continuous inspections and evaluations are required. At present, many of the components malfunction and faults may due to the supply power problems, the aging components and the effect of environments. To overcome these operating problems, the power quality analysis is required to understand the supply stabilities and disturbances [2]. This power quality analysis is necessary to

prevent the possibility of future unintended consequences which in turn jeopardize the safety of the reactor[3].

RSG GAS electricity is supplied from the PLN (State Electricity Company) through 3 transformers, i.e. namely BHT01, BHT02 and BHT03. Each transformer (BHT01, BHT02, BHT03) has a capacity of 1600 kVA, 20 kV / 400 VAC [4]. Electrical loads distribution may be initially balanced, however due to the unsynchronized starting time of each electrical equipment during operation from the start up to shutdown of reactor sometimes causing asymmetrical voltage and current (known also as a load imbalance) which affect the quality of line supply in general. Load imbalance between each phase causing the neutral current flows [5] which in turn also harm the electrical components. It means that it is very important to understand the produced power quality of transformers during a full mode operation of the RSG-GAS from start-up to shutdown with the nominal power [6].

Considering this challenges, therefore, the purpose of this study was to analyze the power quality of the electric power transformer of the RSG-GAS during reactor operation 30 MW. To achieve the above objective, a power quality analysis was carried out using a direct measurement method with a Power Analyzer Equipment. Measurements were made on the low voltage side of the High Voltage Transformer BHT03 as one of transformer in RSG-GAS. Data was recorded from the beginning of operation, up to 30 MW nominal power, until the reactor is shut down. The acquired data was then analyzed to indicate the various characteristics of power quality problems as well as to indicate the baseline quality data for future assessments.

Based on this analysis, it is expected that this paper play a significant role as the rationale for the periodical safety analysis report document which must be submitted mid of 2017 to describe the capacity of electrical equipment in maintaining the safe operation of RSG-GAS. In addition, the analysis is also beneficial for the maintenance and the operation of the RSG-GAS, as well as for the aging management program in RSG GAS.

THEORY

The Power Transformer is passive electrical devices that transform electric power from high voltage to low voltage or vice versa with the primary coil and the secondary coil by using the principle of electromagnetic induction at the same frequency [7]. The Primary and secondary coils were wound on a ferromagnetic core. Generally there are three types of connection in the three-phase transformer, the star connection (Y), delta connection (Δ) and the zig-zag connection. The three-phase winding both for the primary side and secondary side can be combined in the form of a star-star (YY), star-delta (Y- Δ), delta-star (Δ -Y) and delta-delta (Δ - Δ) connections [8].

RSG-GAS reactor building is supplied by three (3) unit of transformers 3 (three) phases, i.e. BHT01, BHT02 and BHT03 with a capacity of 1600 kVA, 20 kV / 400V [4]. The function of the transformers, BHT01, BHT02 and BHT03 is to decrease the high voltage supply of PLN 20 kV to low voltage at 400 VAC. This type of connection of the primary and secondary coils is delta - star (Δ -Y) respectively.

For the primary - secondary connection Δ - Y, the voltage wire (V_{LP}) to the primary wire equal to the primary phase voltage ($V_{LP} = V_{phP}$), and the phase voltage secondary side (V_{phS}) as well as primary and secondary voltage ratio as in equation 1 and 2 [8]. The connection diagram of Δ - Y is shown in Figure 1.

$$V_{LS} = V_{phS} \sqrt{3} \quad (1)$$

$$\frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{V_{phP}}{V_{phS} \sqrt{3}} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

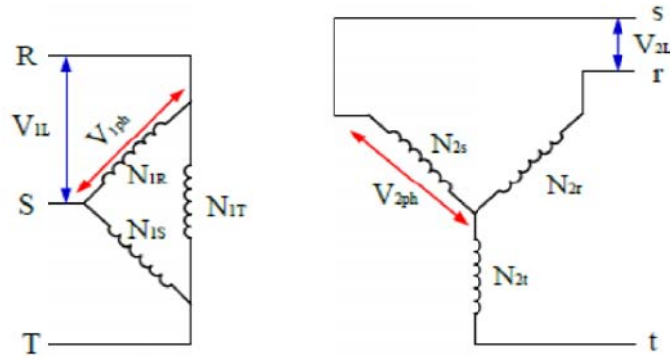


Figure 1. The three phase transformer circuit with the connection of Δ-Y [3]

The calculated power transformer (P) from the high-voltage side (primary) point of view can be expressed as the equation 3. In this case V is the primary voltage across the transformer in a units of Volt (V) and I is the grid current in units Ampere (A). Thus, the full-load current of transformer can be calculated by Equation 4 [5].

$$P = V I \sqrt{3} \tag{3}$$

$$I_{FL} = \frac{P}{V\sqrt{3}} \tag{4}$$

To analyze the condition of the transformer can be done by calculating the balance of the load. A transformer is considered to be in a balanced load state when the three vectors of electric current or electric voltage has a similar magnitude and separated with an angle of 120° each other. If one or both of these conditions is not met, then the transformer is called under an unbalanced load state. In the balanced condition, the current of R, S, T (I_R, I_S, I_T) produce a vector such as in Figure 2a, where the sum of three vectors will be 0 (zero). However the unbalanced condition will produce an electric current values, i.e. neutral current (I_N) as shown in Figure 2b. The more unbalance voltage or current occurs, the greater the

value of I_N . To obtain a percentage value of loading ($\%load$), the average current ($I_{average}$) is divided by the full electric current (I_{FL}). The average current is obtained by summing the absolute value of I_R, I_S, I_T divided by 3 as shown in Equation 5 and 6, so that the active power (P_{active}) of transformer can be calculated by equation 7.

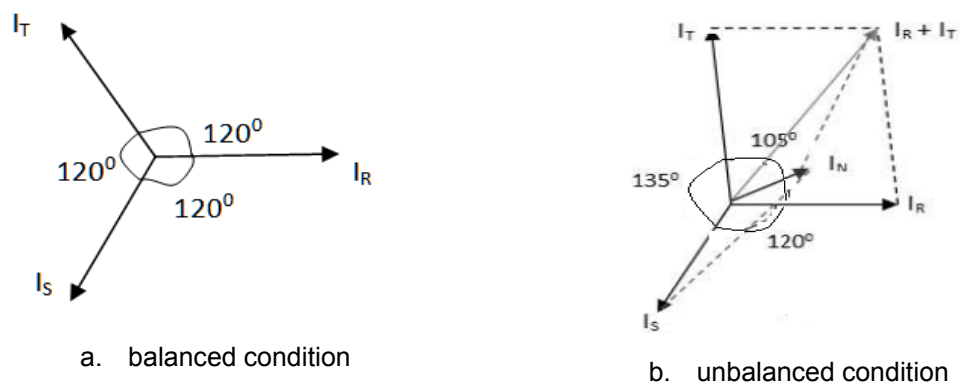


Figure 2. The balanced vector of electric current

$$I_{average} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \tag{5}$$

$$\text{Percentage of loading } (\%_{load}) = \frac{I_{average}}{I_{FL}} \times 100\% \quad (6)$$

$$P_{active} = P \cos \phi \quad (7)$$

Power quality has a variety of problems in the different phenomena [9]. Power quality is determined by the quality of current, voltage, frequency, harmonics, power loss, $\cos \phi$, grounding and the balanced system. These problems can also be identified using quality of power measurements [9]

METHODOLOGY

In order to achieve the objectives of this study, the methodology used was to perform direct power quality measurements on the transformer BHT03 RSG G.A. Siwabessy as given in Figure 3 and the data in Table 1. This research employs *Power Quality Analyzer (PQA) 3197, flexible clamp on sensor 9667* for the electric current measurement and differential voltage probe for the voltage measurement busbar of phase R, S and T. The equipment capable of measure both current and voltage with the maximum range of voltage 600.0 V AC, and current 500.0 mA to 5.000 kA AC. The measurement data is then analyzed to identify and determine the quality of power based on the related indication.

Table 1 and 2 shows one of the transformer specification in RSG GAS, BHT03 RSG-GAS and the load of the transformer for the train C.

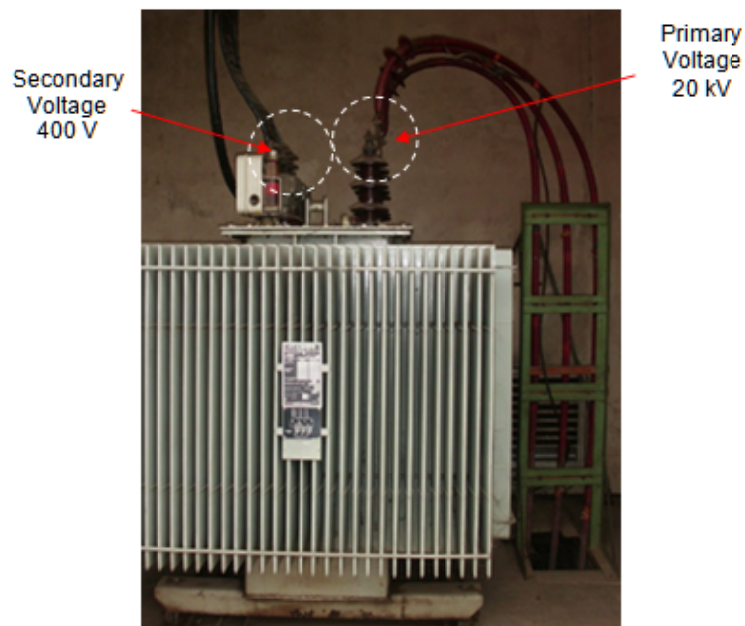


Figure 3. The oil-cooled type Transformer BHT03 RSG-GAS

Table 1. Transformer Specification BHT03 RSG-GAS [11]

Parameters	Specifications	
Type of Transformer	3 phase; 50 Hz	
Cooling type	oil-cooledDIALA-B	
Years	1992	
Standard Compliance	76/SPLN-50IEC Standard	
Short Circuit Voltage	6 %	
The Temperature increase (°C)	Oil: 53 °C Winding : 58 °C	
Basil Isolation Level	125 kV	
Weight	Oil : 850 kg Total : 3,750 kg	
	Primary	Secondary
Nominal Power (kVA)	1,600 (kVA)	1,600 (kVA)
Connection type	Delta	Star N5
Nominal Voltage (volt)	20 (kV)	400 (volt)
Current Nominal (amp)	46.2 (A)	2,309.5 (A)

Table 2. Load of the BHT03 transformer Train C

Name	Power (kVA)
Main Busbar I BHC	580.53
Main Busbar II BHF	588.62
Emergency Busbar BNC	270.13
Total Connected Load Transformator BHT03	1,439.28

RESULTS AND DISCUSSION

Full load current flowing in the secondary connection of the transformer can be calculated using equation 4. Based on the data in Table 1, by using the nominal power of 1,600 kVA and nominal voltage 400 V, the full load current (I_{FL}) will be at 2,309.47 A. Based on the measurement data processing with the power quality analyzer, it is obtained an average value of electric current in phase R, S, and T as given in Table 3. Then, using the equation (5), the average current for three phase load is about 965.97 A. The obtained percentage of load by using equations 6 is around 41.83%.

Table 3. The average value of electric current for the transformer phase R,S, and T at the reactor power 30 MW

Description	Phase R	Phase S	Phase T	Neutral Phase
	(I)	(I)	(I)	(I)
Minimum	870.00	915.00	898.00	-
Maximum.	1,087.00	1.143,00	1,152.00	61.00
Average (A)	937.29	987.35	973.27	-

The measurement of power factor ($\cos \phi$) shows a fluctuated values, between the maximum of 0.95 and minimum 0.92. The fluctuations in the power factor measurement is shown in Figure 4.

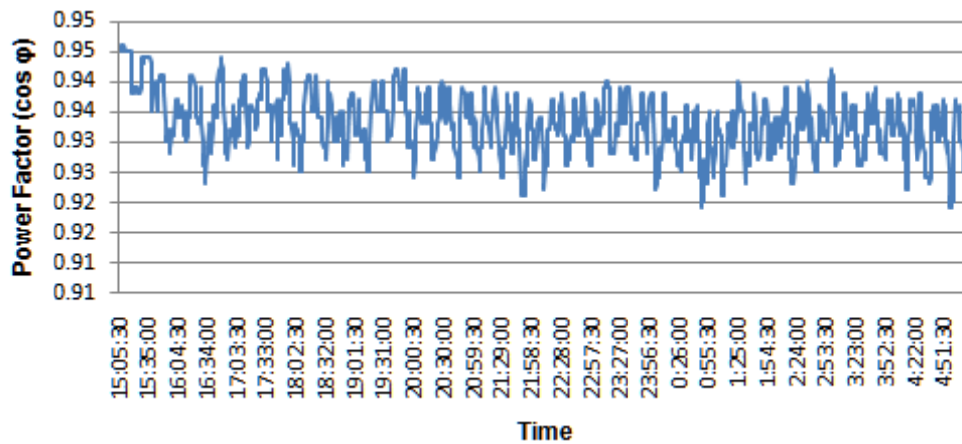


Figure 4. The fluctuation of $\cos \varphi$ of the transformer BHT03 during the 30 MW operation

The average value of $\cos \varphi$ in Figure 4 is 0.94. It means that the measured power factor have is quite good for the operation and maintenance RSG-GAS. The high power factor will reduce an extra monthly charges payment possibilities from PLN, reduce the possibility of voltage drop, decrease the power system loses and improve the capacity of carrying more loads in the existing circuit. Based on the equation 7, the can be obtained active power transformer BHT03 during reactor operation of 30 MW at around 1,504 kW.

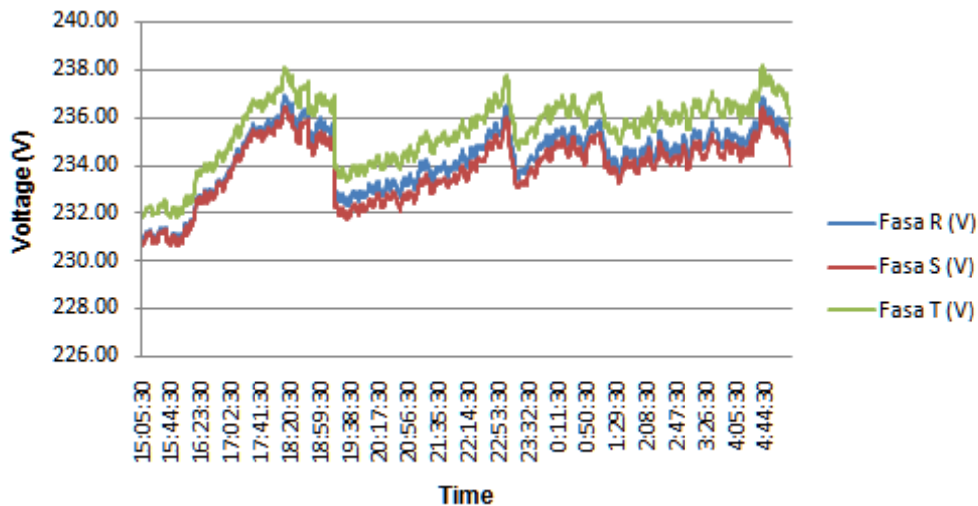


Figure 5. Electrical voltage of transformer BHT03 during the 30 MW operation.

In addition of $\cos \varphi$, for the reactor operation 30 MW, electric voltage and electric current was also measured. Figure 5 shows the measurement results of BHT03 power supply voltage. Figure 5 shows that the operation mode of 30 MW of RSG-GAS from start-to shutdown was not affect to the electrical voltage supply as shown by a small voltage drop during the whole operation. Furthermore, for the electric current measurements, it was revealed neutral phase values as shown in Figure 6. The purple line indicates the current neutral phase flowing. The maximum value of the measured neutral phase current is around 61 A.

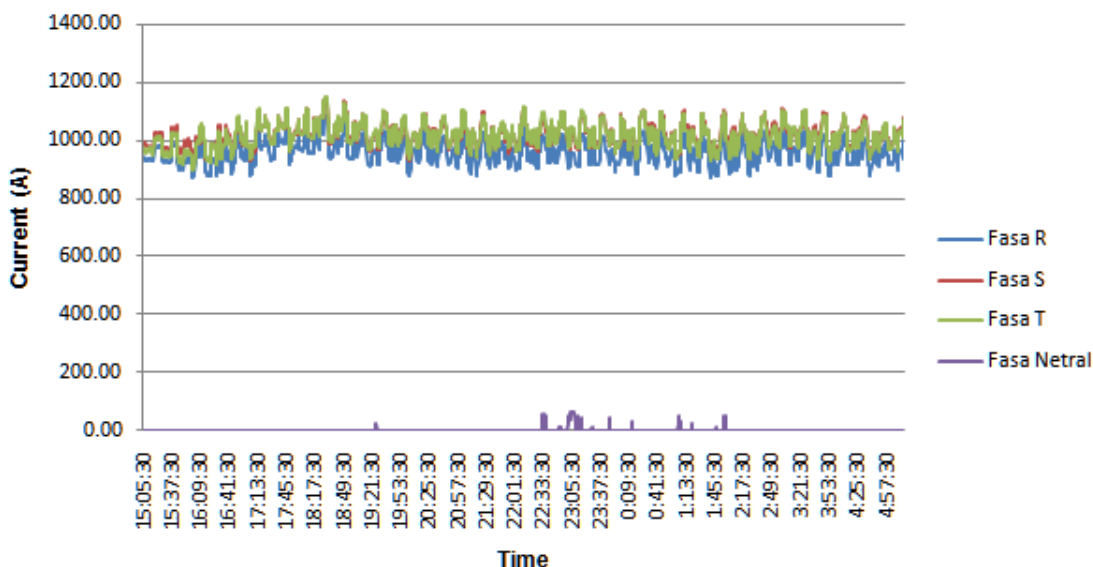


Figure 6. The electric current of BHT03 transformer during the reactor 30 MW operations

The neutral phase is certainly evident in the sine graph of the results of the measurements in Fig. 7. If all the conditions of the R, S, and Weigh phases are on the sine graph only the 3 sine line drawings, the sine line of phase R (green), the S phase (Red color) and phase T (blue). The sinus line (gray color) will coincide with the axis. It will be because of the fact that there is a neutral phase of 61 A then the image of the sine graph on the screen will be identified in Fig. 7.

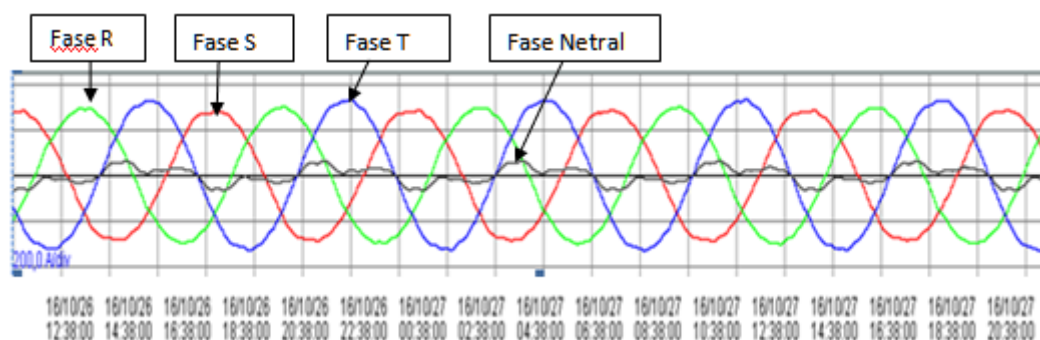


Figure 7. Sine phase graphs R, S, and T, the result of PQA transformer BHT03

The existence of a neutral phase currents indicate that there are three phases of the electrical current phase or of transformer which does not form an angle of 120° , or imbalance load. By comparing each phase of current to the average current value, the detected current instability in the phase R, S and T is 0.97, 1.02 and at 1.01 respectively. The average value of the electric load current imbalance is around 1.98%. According to the General Requirements Electrical Installation in Indonesia (PUIL) the load imbalance must be under 20% [10]. It means that the load imbalance of BHT03 transformer is very small so and can be ignored.

CONCLUSION

The results of electrical power quality measurements on the RSH-GAS transformer BHT03 showed the highest average power factor value of 0.95 and the lowest 0.92 with an average of 0.94. Power factor value is quite good. On the measurement of electric current obtained there is a flow that flows into neutral that indicates the state of the load is not balanced. After calculation, the percentage of BHT03 transformer imbalance is 1,98%. BHT03 transformer unbalance percentage values still qualify from General Electrical Installation Requirements (PUIL) where load unbalance is not feasible if it exceeds 20%.

ACKNOWLEDGMENT

Further thanks to Center for Nuclear Reactor Technology and Safety (PTKRN) BATAN that has funded this research pursuant fund DIPA 2017 and also to Center for Multipurpose Reactor G. A. Siwabessy (PRSG) BATAN who has given permission to inspection and analysis transformator RSG-GAS.

REFERENCES

1. S. NITISWATI, DJOKO H.N, YUDI PRAMONO, "Kajian Perpanjangan Umur Operasi Reaktor Riset di Indonesia", Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir, 2009.
2. MARCO A. RODRIGUEZ-GUERRERO, RENE CARRANZA-LOPEZ-PADILLA, ROQUE A. OSORNIO-RIOS, RENE DE J. ROMERO-TRONCOSO, "Anovel methodology for modeling wave forms for power quality disturbance analysis", ElectricPowerSystemsResearch, (2017).
3. SARAH RÖNNBERG, MATH BOLLEN, Power quality issues in the electric power system of the future, The Electricity Journal, 2016.
4. KOES INDRA, KUSUMA, YAYAN ANDYANTO, KISWANTO, Pengaruh Kapasitor Bank Pada Busbar BHA, BHB dan BHC di Pusat Reaktor SerbaGuna GA. Siwabessy, Prosiding Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir VII, Yogyakarta, 2012.
5. KOES INDRAKOESOEMA, YAYAN ANDRYANTO, M TAUFIQ, Pengaruh Ketidakeimbangan Beban Transformator Kering BHT02 RSG GA Siwabessy Terhadap Arus Netral dan Rugi-Rugi, Prosiding Seminar Penelitiandan Pengolahan Perangkat Nuklir, Yogyakarta, 2012.
6. LUQMAN ASSAFFAT, Pengukuran dan Analisa Kualitas DayaListrik di Paviliun Garuda RumahSakit dr. Karyadi Semarang, Jurnal Media ElektriKa, (2009)
7. ZUL FAHMI DHUHA, SYAMSUL AMIEN, Analisis Berbagai Hubungan Belitan Transformator 3 Fasa dalam Keadaan Beban Lebih (Aplikasi pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT. USU), Jurnal Singuda Ensikom Vol. 13 no. 36, (2013).
8. MOHD YOGI YUSUF, FERANITA, "Analisa Konfigurasi Hubungan Primer dan Sekunder Transformator 3 Fasa 380/24 V Terhadap Beban Non Linier", Jom FTEKNIK Volume 3 No. 1 (2016).
9. NIRAV PATEL, KENIL GANDHI, DIGPAL MAHIDA, PRAFUL CHUDASAMA, "A Review On Power Quality Issues and Standards", International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), (2017).
10. PERSYARATAN UMUM INSTALASI LISTRIK (PUIL), 2000.
11. LAK

DISKUSI/TANYA JAWAB

1. PERTANYAAN: R. Arum Rijanti (PKSEN–BATAN))

- Pada Gambar 6 dalam arah sumbu-x (time) di bagian paling bawah terdapat garis-garis. Tolong jelaskan tentang hal tersebut!
- Berapa besar fluktuasi tegangan listrik pada waktu reactor beroperasi hingga 30 MWth? Apakah kualitas listriknya masih layak?

JAWABAN: Abdul Hafid (PTKRN - BATAN)

- *Garis-garis sinyal di Gambar 6 pada bagian bawah tersebut menunjukkan bahwa terdapat fasa netral pada arus listrik yang mengalir.*
- *Besar fluktuasi tegangan listrik pada prinsipnya tidak tergantung pada besar daya operasi reaktor. Pada waktu pengukuran yang dilakukan, setelah dihitung dan dianalisis diperoleh besar fluktuasi tegangan listrik rata-rata 0,21 %. Nilai ini masih tergolong baik dan layak berdasarkan Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL), 2000.*

PENGARUH PERLAKUAN PANAS PASCA PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK SA533-B1 SEBAGAI MATERIAL BEJANA TEKAN PWR

S. Nitiswati, Andryansyah, Mudi Haryanto, Darlis, Deswandri, Geni Rina Sunaryo

Pusat Teknologi Dan Keselamatan Reaktor Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional

Puspiptek Gedung No. 80, Tangerang Selatan 15313,

Banten-Indonesia

Email: nitis@batan.go.id

ABSTRAK

PENGARUH PERLAKUAN PANAS PASCA PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK SA533-B1 SEBAGAI MATERIAL BEJANA TEKAN PWR. Bejana tekan reaktor air bertekanan (*Pressurized Water Reactor*) adalah komponen utama paling kritis di PLTN yang dikonstruksi dengan cara di las *circumferential* dan *longitudinal*. Dalam proses pengelasan akan menimbulkan tegangan sisa yang merupakan tegangan internal material dan mempunyai potensi menurunkan sifat mekanik material. Ada cara untuk mengurangi tegangan sisa akibat pengelasan yaitu dengan memberikan perlakuan panas. Penelitian ini mendiskusikan pengaruh perlakuan panas pasca pengelasan terhadap sifat mekanik SA 533-B1 sebagai material bejana tekan PWR. Tujuan penelitian ini adalah untuk menginvestigasi sifat mekanik SA533-B1 yang telah diberikan perlakuan panas pada temperatur 400°C dengan variasi *holding time* dari 3 jam, 50 jam, 75 jam dan 100 jam. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan pengujian mekanik terdiri dari pengukuran kekerasan dan pengujian tarik logam las-lasan SA533-B1 pada posisi *cross weld*. Model bidang patahan dari hasil pengujian tarik juga dipelajari. Disimpulkan bahwa material SA533-B1 yang mengalami perlakuan panas pada temperatur 400°C dengan *holding time* 75 jam menunjukkan nilai kekerasan dan sifat mekanik pada kondisi yang hampir sama dengan material segar atau terjadi *recovery* mendekati ke keadaan semula.

Kata kunci: Perlakuan panas, SA533-B1, sifat mekanik, bejana tekan PWR.

ABSTRACT

INFLUENCE OF POST-WELD HEAT TREATMENT ON SA533-B1 MECHANICAL PROPERTIES AS PWR PRESSURE VESSEL MATERIAL. PWR pressure vessel is the most critical component in nuclear power plant, was constructed through *circumferential* and *longitudinal* welds. In the welding process can generated residual stress as internal stress and has potential decreased in mechanical property of the material. Post weld heat treatment is the most widely used form of stress relieving of welded structures. This research discussed on influence of post-weld heat treatment on SA533-B1 mechanical properties as PWR pressure vessel material. Objective of this research is to investigate SA533-B1 mechanical properties that has been heat treated in temperature of 400°C and holding time variation of 3 hours, 50 hours, 75 hours, and 100 hours. The method used by conducted mechanical testing consist of hardness measurement and tensile testing of SA533-B1 weld metal in *cross weld* position. Fracture facet model of tensile testing results are also discussed. As conclusion that SA533-B1 material has been heat treated in temperature of 400°C and holding time of 75 hours, shows hardness value and mechanical properties have similar condition to the fresh material or recovery has been occurred closed to the previous condition.

Keywords: Heat treatment, SA533-B1, mechanical property, PWR pressure vessel

PENDAHULUAN

Bejana tekan reaktor air bertekanan (*Pressurized Water Reactor*) adalah salah satu komponen utama paling kritis di PLTN yang dikonstruksi dengan cara di las *circumferential* dan *longitudinal* [1]. Pengelasan adalah metode yang paling umum digunakan untuk menyatukan bagian-bagian menjadi satu kesatuan komponen pada proses pabrikasi atau konstruksi komponen PLTN. Prinsip dasar proses pengelasan terdiri dari pelelehan dan pendinginan.

Hasil dari siklus panas proses pengelasan menimbulkan tegangan sisa yang merupakan tegangan internal material dan mempunyai potensi dapat menurunkan sifat

mekanik material dan dapat menimbulkan retak. Ada cara untuk mengurangi tegangan sisa akibat pengelasan yaitu dengan memberikan perlakuan panas [2-4]. Penelitian tentang pengaruh perlakuan panas konvensional pasca pengelasan untuk material bejana tekan PWR dengan variasi temperatur dari 600°C sampai 880°C dengan *holding time* maksimum 10 jam sudah dilakukan oleh peneliti lainnya. Namun penelitian pada temperatur $\leq 600^\circ\text{C}$ dengan variasi *holding time* ≥ 10 jam belum dilakukan.

Penelitian ini akan mendiskusikan pengaruh perlakuan panas pasca pengelasan terhadap sifat mekanik SA 533-B1 sebagai material bejana tekan PWR. Tujuannya adalah untuk menginvestigasi sifat mekanik SA533-B1 yang telah diberikan perlakuan panas konvensional pada kondisi temperatur sama 400°C dengan variasi *holding time* 3 jam, 50 jam, 75 jam dan 100 jam. Sifat mekaniknya meliputi: kuat luluh, *ultimate tensile strength* (UTS), kuat tarik, dan perpanjangannya. Nilai kekerasan dan model bidang patahan dari hasil pengujian tarik juga dipelajari untuk mendapatkan model patahannya (*fracture mode*).

Metode yang digunakan adalah dengan melakukan pengelasan SMAW (*Shielded Metal Arc Weld*) pelat SA533-B1 dan pengujian mekanik terdiri dari pengukuran kekerasan dan pengujian tarik logam las-lasan SA533-B1 pada posisi *cross weld* yang telah diberikan perlakuan panas konvensional. Pengelasan SMAW yang dipilih karena jenis pengelasan ini yang paling sering digunakan untuk fabrikasi komponen PLTN dibandingkan dengan pengelasan GTAW.

TEORI

Perlakuan panas pasca pengelasan adalah proses pemanasan ulang pada temperatur dan *holding time* tertentu (spesifik) dan dilanjutkan pendinginan dengan kecepatan yang terkendali dari suatu obyek yang telah dilakukan pengelasan [2]. Perlakuan panas perlu dilakukan karena akibat proses pabrikan suatu komponen PLTN yang menggunakan proses pengelasan akan menimbulkan tegangan sisa dan kemungkinan menimbulkan cacat material misalnya porositas dan retak. Hal ini mengakibatkan degradasi material.

Tegangan sisa yang ditimbulkan akibat pengelasan dapat mendekati atau melebihi kuat luluh material khususnya apabila bagian material yang di las cukup tebal. Tegangan sisa yang timbul harus seminimal mungkin karena dapat memicu timbulnya *stress corrosion cracking* (SCC), fatik material (*material fatigue*), dan lain-lain. Oleh karena itu pemberian perlakuan panas pasca pengelasan pada kondisi tertentu akan mengembalikan keadaan semula atau terjadi *recovery* [2,5,6].

Akibat pengelasan juga akan merubah sifat mekanik material. Pemberiaan perlakuan panas pasca pengelasan pada kondisi tertentu akan menyebabkan kuat luluh dan kuat tarik menurun, keuletan material naik, nilai kekerasan material menurun, dan ketangguhan material meningkat [2,5,6].

Keuntungan lainnya dengan memberikan perlakuan panas adalah meningkatkan sifat *creep* (mulur) material yang beroperasi pada temperatur tinggi, melembutkan daerah HAZ sehingga meningkatkan ketangguhan dan keuletannya, meningkatkan kestabilan dimensi selama proses *machining*, menurunkan pengaruh pekerjaan dingin.

TATA KERJA

Pembuatan benda uji

Material segar baja feritik SA533-B1 berbentuk pelat yang digunakan sebagai material bejana tekan PWR mempunyai komposisi kimia seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi kimia SA533-B1 (% berat) [7]

Material	Cu	Ni	P	S	C	Ti	Cr	Mo	Si	V
SA533-B1	0,07	0,60	0,007	0,014	0,21	0,02	0,23	0,51	0,22	0,02

Kandungan elemen fosfor (P) di dalam baja feritik SA533-B1 sangat rendah. Hal ini memenuhi persyaratan sebagai material bejana tekan dimana kandungan P nya harus serendah mungkin, karena semakin besar kandungan P semakin rentan terhadap penggetasan batas butir [8].

Selanjutnya dilakukan proses pengelasan pelat SA533-B1 dengan SMAW (*Shielded Metal Arc Weld*), *single v-groove* menggunakan bahan filler dengan kekuatannya 110 ksi. Data pengelasan material pelat SA533-B1 adalah sebagai berikut:

- Variabel pengelasan : Tegangan 26-28 volt
- Arus : 135 amper
- Waktu pengelasan ujung ke ujung : 75 detik
- Pemanasan awal : 150°C -170° C

Setelah proses pengelasan pelat SA533-B1 selesai, dilanjutkan dengan pembuatan benda uji tarik dimana bentuk dan ukurannya dibuat berdasarkan standar ASTM E-8M [9]. Pengambilan posisi benda uji tarik terhadap bagian pelat yang di las adalah *cross weld*.

Perlakuan panas

Sebagian dari benda uji tarik diberi perlakuan panas konvensional di dalam tungku pemanas pada temperatur 400°C dengan variasi *holding time* 3 jam, 50 jam, 75 jam, dan 100 jam. Setelah *holding time* dicapai, tungku pemanas dimatikan dan benda uji tarik dibiarkan mendingin secara alamiah di dalam tungku pemanas.

Pengujian mekanik

Pengujian mekanik dilakukan untuk benda uji tarik material segar yaitu benda uji tarik yang tidak diberi perlakuan panas dan benda uji tarik yang diberi perlakuan panas. Pengujian mekanik yang diterapkan ada 3 (tiga) jenis terdiri dari pengukuran kekerasan, pengujian tarik dan pengujian metalografi untuk mendapatkan model bidang patahan dari hasil pengujian tarik.

Pengukuran kekerasan menggunakan mesin kekerasan makro "galbadini" dengan beban 30 Kg dilakukan untuk 1 buah benda uji tarik material segar dan 4 buah benda uji tarik yang telah diberi perlakuan panas, masing-masing dilakukan pengukuran 3 (tiga) kali dan hasilnya diambil nilai rata-rata pada 3 lokasi yang berbeda yaitu logam induk (BM), bagian las-lasan (WM), dan bagian yang terpengaruh panas (*heat affected zone* = HAZ).

Pengujian tarik pada temperatur ruang menggunakan mesin uji tarik universal AG-10TE dilakukan untuk 1 buah benda uji tarik material segar dan 4 buah benda uji tarik yang telah diberikan perlakuan panas. Tujuannya untuk mendapatkan sifat mekanik material SA533-B1 terdiri dari: kuat luluh (σ_s), UTS, kuat tarik pada saat benda uji putus (σ_y) dan perpanjangannya

Pengujian metalografi menggunakan makroskop optik "wild" dengan perbesaran 100x dilakukan pada permukaan bidang patahan benda uji tarik dengan tujuan untuk mendapatkan *fracture mode* (model bidang patahan) dari hasil pengujian tarik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran kekerasan

Hasil pengukuran kekerasan untuk 3 lokasi dari 1 buah benda uji tarik material segar (kode A) dan 4 buah benda uji tarik material yang telah diberi perlakuan panas (kode B s.d. E) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran kekerasan (rata-rata)

Material	Kode	Temperatur Perlakuan Panas (°C)	Holding Time (Jam)	Nilai Kekerasan (Vickers)		
				BM	WM	HAZ
Segar	A	--	--	184	252	287
Dengan Perlakuan Panas	B	400	3	203	267	235
	C	400	50	198	252	247
	D	400	75	196	271	312
	E	400	100	198	283	254

Benda uji tarik material segar (kode A) maupun benda uji tarik material yang telah diberi perlakuan panas (kode B s.d. E), nilai kekerasan pada daerah logam lasan (WM) dan bagian terpengaruh panas (HAZ) lebih tinggi dari pada bagian logam induk (BM), seperti ditunjukkan pada Tabel 2. Hal ini menunjukkan bahwa akibat pengelasan akan menaikkan kekerasan material. Pada prinsipnya proses pengelasan adalah proses pemanasan

sehingga material menjadi lebih keras dan menurunkan keuletannya. Untuk meminimalkan kenaikan kekerasannya dan mengembalikan ke keadaan semula maka diberikan perlakuan panas. Perlakuan panas pada temperatur 400°C dengan *holding time* 3 jam, 50 jam, dan 100 jam (kode B, C, dan E) nilai kekerasan pada bagian logam induk (BM) jauh di atas nilai kekerasan pada bagian logam induk material segar. Tetapi perlakuan panas pada kondisi temperatur yang sama dengan *holding time* 75 jam (kode D), hasilnya nilai kekerasan pada bagian logam induk (BM) mendekati dengan kondisi material segar (kode A) atau dengan kata lain telah terjadi *recovery* pada material SA533-B1 yang diberikan perlakuan panas pada temperatur 400°C dengan *holding time* 75 jam. Sehingga dikatakan bahwa pemberian perlakuan panas dengan kondisi tertentu pasca pengelasan dapat mengembalikan kekerasan material SA533-B1 mendekati kekerasan material segar.

Pengujian tarik

Hasil pengujian tarik 1 buah benda uji tarik material segar (kode A) dan 4 buah benda uji tarik material yang telah diberikan perlakuan panas (kode B s.d. E) ditunjukkan pada Tabel 3.

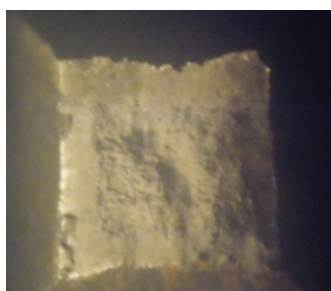
Tabel 3. Hasil pengujian tarik

Material	Kode	Temperatur Perlakuan Panas (°C)	Holding Time (Jam)	Sifat Mekanik			Perpanjangan (%)
				Ys (N/mm ²)	UTS (N/mm ²)	σy (N/mm ²)	
Segar	A	--	--	408,969	582,123	365,541	57,136
Dengan Perlakuan Panas	B	400	3	418,396	589,729	373,574	13,700
	C	400	50	407,868	580,156	425,752	15,400
	D	400	75	408,000	601,934	357,000	19,480
	E	400	100	443,340	616,585	204,893	10,700

Hasil uji tarik untuk benda uji tarik yang materialnya telah diberi perlakuan panas pada temperatur 400°C dengan *holding time* 75 jam (kode D), mempunyai sifat mekanik terdiri dari kuat luluh (Ys), *ultimate tensile strength* (UTS), dan kuat tarik pada saat patah (σy) yang paling mendekati dengan benda uji tarik material segar (kode A) dibandingkan dengan hasil uji tarik dimana materialnya telah diberi perlakuan panas pada temperatur 400°C dengan *holding time* 3 jam, 50 jam, dan 100 jam (kode B, C, dan E). Untuk sifat mekanik yang paling penting diperhatikan adalah nilai kuat luluhnya karena pada titik luluh (*yielding point*) tersebut yaitu titik dimana terjadi perubahan sifat material dari elastis ke plastis. Dalam hal ini material (kode D) mempunyai nilai kuat luluh yang paling mendekati dengan nilai kuat luluh material segar (kode A). Demikian pula prosentase (%) perpanjangan yang diperoleh yaitu 19,48% adalah lebih besar dari pada material dengan perlakuan panas 400°C dan *holding time* 3 jam, 50 jam, dan 100 jam yaitu berturut-turut 13,7%, 15,4 %, dan 10,7%, seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Dengan kata lain bahwa pemberian perlakuan panas dengan kondisi tertentu pasca pengelasan dapat mengembalikan sifat mekanik material SA533-B1 mendekati sifat mekanik material segar.

Pengujian metalografi

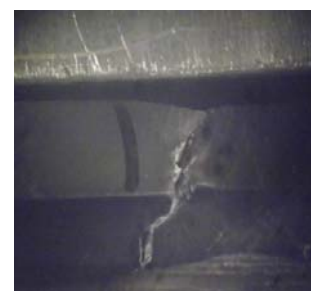
Pengujian metalografi bidang patahan benda uji tarik terdiri dari 1 buah benda uji tarik material segar (kode A) dan 4 buah benda uji tarik dimana materialnya telah diberi perlakuan panas (kode B s.d. E) semuanya menunjukkan model patahan yang sama yaitu bersifat ulet, ditunjukkan pada Gambar 1 (A) sampai dengan Gambar 1 (E).



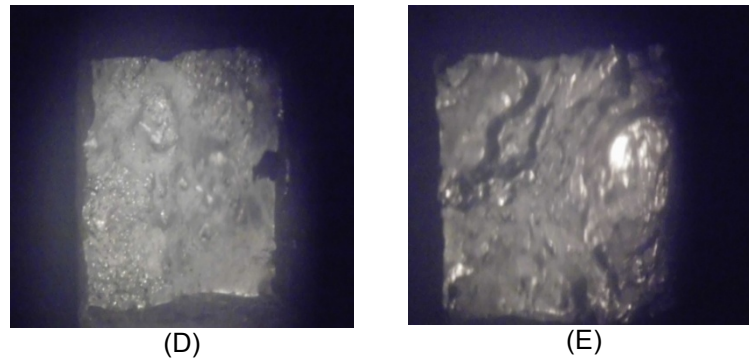
(A)



(B)



(C)



Gambar 1. Foto permukaan bidang patahan hasil uji tarik (A) material segar, (B) *holding time* 3 jam, (C) *holding time* 50 jam, (D) *holding time* 75 jam, dan (E) *holding time* 100 jam

KESIMPULAN

Sifat mekanik material SA533-B1 pasca pengelasan yang telah diberikan perlakuan panas telah diperoleh. Sifat mekaniknya meliputi nilai kekerasan, kuat luluh, UTS dan kuat tarik. Disimpulkan bahwa material SA533-B1 yang diberi perlakuan panas pada temperatur 400°C dengan *holding time* 75 jam (kode D) pasca pengelasan, nilai kekerasan dan sifat mekanik yang diperoleh dari hasil pengujian tarik menunjukkan kepada suatu kondisi yang hampir sama dengan material segar (kode A) bila dibandingkan dengan material yang mengalami perlakuan panas dengan *holding time* 3 jam, 50 jam, dan 100 jam (kode B, C, dan E), atau dengan *holding time* 75 jam telah terjadi *recovery* dan kembali mendekati ke keadaan semula.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung sehingga penelitian ini dapat selesai tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

1. SHAH V.N., MAC.DONALD P.E., "Aging And Life Extension of Major Light Water Reactor Components", Elsevier, 1998.
2. WTIA, "Post Weld Heat Treatment of Welded Structures", Guidance Note 6, 2006
3. WILLIAM F. SMITH, "Principles of Materials Science and Engineering", Second Edition, Mc.Graw-Hill International Edition.
4. CANONICO, D.A., "The Effect of Stress Relief Parameters on The Mechanical Properties of Pressure Vessel Steels and Weldments", OR Laboratory, Tennessee, 37830
5. WILLIAM SERVER, et.all., "Thermal Annealing of Reactor Pressure Vessels Is a Needed Mitigation Option", IAEA-2013, Vienna, Austria.
6. M.A. MALEAGUE, et.all., "The Effect of Intercritical Heat Treatment on The Mechanical Properties of AISI 3115 Steels", Journal of Materials Processing Technology, Volume 153-154, 2004.
7. ANL, "Chemical Composition SA533-B1 Certificate", Chicago, 2003
8. SRI NITISWATI, dkk., "Analisis Pengaruh Karbon Terhadap Segregasi Fosfor Pada Batas Butir Paduan Feritik Dengan AES", Prosiding Seminar Keselamatan PLTN, Surabaya, Oktober, 2009.
9. ASTM, "Metals-Mechanical Testing; Elevated and Low-Temperature Test; Metallography", Section 3, Volume 03.01, E-8M, 2008

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

ANALYSIS OF PRESSURE LOSS IN CHANNEL EXPERIMENTAL FACILITY

Kiswanta, Sudarno

Center for Nuclear Reactor Technology and Safety (CNRTS)-BATAN
Gd. 80 Kawasan Puspiptek-Serpong, Tangerang Selatan, Banten
Telp.021-7560912 / Fax. 021-7560913
Email : kiswanta-ig@batan.go.id

ABSTRACT

ANALYSIS OF PRESSURE LOSS IN CHANNEL EXPERIMENTAL FACILITY. Channel Experiment Facility (ExNal) is an experimentation facility that can be used to simulate the flow rate of coolant to the research reactor. ExNal can be used to understand the potential occurrence of vibration in the fuel plate. Potential vibration is necessary to know due to vibration can accelerate materials fatigue and ultimately could lead to material damage such as cracked fuel and even rupture. From previous research facilities have not been able to achieve the critical speed of 18.062 m/s. The purpose of this study is to analyze the loss of pressure that occurs in parts ExNal. That methodology of research done by calculating the pressure loss through the approach of critical velocity coolant flow that can be known pump efficiency at the ExNal facility. The result showed 0.64 bar of total loss pressure and 64% of pump efficiency. Therefore, parameters such as fluid velocity, flow rate and pressure has not approached the expected results, the capacity of the pump must be improved.

Keywords: experimental channel, the pressure loss, pump efficiency, critical speed, vibration

ABSTRAK

ANALISIS KERUGIAN TEKANAN PADA FASILITAS EKSPERIMEN KANAL. Fasilitas Eksperimen Kanal (ExNal) adalah sebuah fasilitas eksperimen yang dapat digunakan untuk mensimulasikan kecepatan aliran pendingin pada reaktor riset. ExNal mampu digunakan untuk memahami potensi terjadinya vibrasi pada pelat bahan bakar. Potensi vibrasi ini perlu diketahui karena vibrasi dapat mempercepat kelelahan material dan akhirnya akan dapat memicu terjadinya kerusakan material bahan bakar seperti retak dan bahkan pecah. Dari penelitian sebelumnya fasilitas ini belum mampu mencapai kecepatan kritis sebesar 18,062 m/s. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis rugi-rugi tekanan yang terjadi pada bagian-bagian ExNal. Metodologi penelitian dilakukan dengan perhitungan kerugian tekanan melalui pendekatan kecepatan kritis aliran pendingin sehingga dapat diketahui efisiensi pompa pada fasilitas ExNal. Dari hasil penelitian diperoleh kerugian tekanan total sebesar 0,64 bar dan efisiensi pompa sebesar 64%. Oleh karena parameter-parameter seperti kecepatan fluida, debit aliran dan tekanan belum mendekati hasil yang diharapkan, maka kapasitas pompa harus ditingkatkan.

Kata kunci : eksperimen kanal, rugi tekanan, efisiensi pompa, kecepatan kritis, vibrasi

INTRODUCTION

Channel Experiment Facility (ExNal) is a research facility for experiments of flow rate of coolant fuel plates research reactor [1]. Therefore the flow rate of coolant can affect fuel plate vibration, the magnitude of the critical cooling speed is necessary to be known [2]. Therefore critical speed is the speed of the cooling during the vibration plate of fuel began to be happened. Vibrations that occur on the plates of fuel could accelerate material fatigue and lead to damage to fuel materials such as cracks, it can even lead to rupture the fuel. Surely fuel damage will leave a serious impact on the safety of reactors which will eventually threaten the community and environment [3,4].

Research to gain critical velocity has been done before. Currently based commissioning has been done obtained critical velocity coolant flow rate of 18.062 m/sec [5]. Understanding the characteristics of different ExNal which include discharge pressure and coolant flow have also been made [6]. From the experiments that have been done, by maximizing the function of the pump at its maximum rotation, it turns out the critical cooling rate still cannot be achieved [7]. Therefore it is necessary to conduct further research to

calculate the loss of pressure and pump efficiency at fixed loop. The purpose of this study was to determine the loss of pressure by calculating approach to the critical velocity coolant flow that can be known pump efficiency at facilities ExNal. The purpose of this study is to modify the design of the pump to be able to achieve critical velocity flow so that experiments can be continued.

TEORY

Description of Channel Experiment Facility (ExNal)

ExNal consists of (1) test section plate fuels, (2) pumps, water-cooled (3) flow control valves, (4) pipe, (5) water reservoir tank, (6) flow meter, (7) P inlet pressure test section, (8) P outlet pressure test section, and (9) of the flange pipe joints as shown schematically in Figure 1. Meanwhile, the actual image of ExNal facility is shown in Figure 2. in operating conditions, the sensors in ExNal will measure temperature [°C], the flow rate [L/min] and the cooling water pressure [bar]. By using Figures 1 and 2, ExNal work processes can be explained as follows. The cooling water is in the tank, the water is pumped in up to the part test fuel plate (test section). Section test fuel plates consist of upper plenum, testers channel space and lower plenum. Complete scheme of section plate test this fuel can be seen in Figure 2. Out of water of the test plate through lower fuel plenum. Meanwhile, variations in flow rate can be controlled by the inverter coolant pump and coolant flow divider valve (Valve-1) prior to entry into the upper plenum cooling [1].

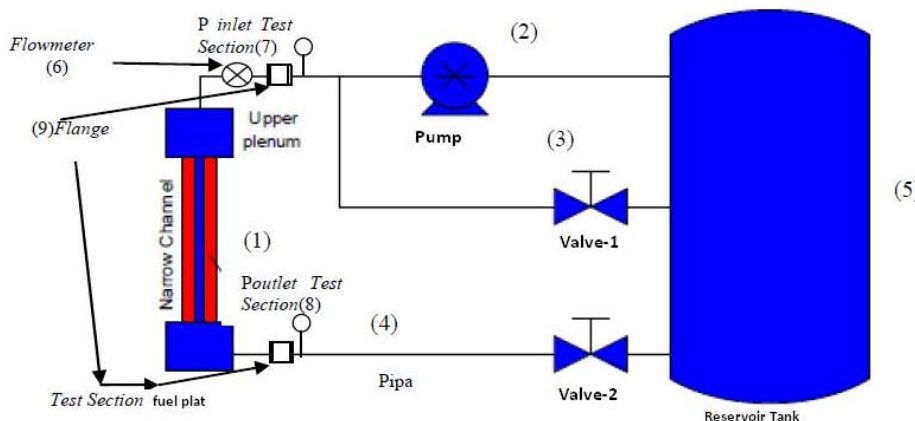


Figure 1. Diagram of The Channel Experiments Facilities [1]



Figure 2. The Channel Experiment Facilities (ExNal) [1]

Pressure Changes in Fluid Flow Systems

The change in pressure in the fluid flow occurs because of the differences in altitude, the speed difference fluid flow due to changes or differences in cross-section, and friction fluid. Pressure change on the flow without friction can be analyzed with the Bernoulli equation which takes into account changes in pressure into changes in altitude and speed changes [8].

Thus the main concern in analyzing the real flow conditions is the influence of friction. Friction will cause a pressure drop or pressure loss compared to flow without friction. Based on the location of the onset of the loss, the general loss of pressure or friction losses can be classified into two, namely: the loss of major and minor losses [9].

Major losses are due to friction pressure loss of fluid flow on a fixed flow system or constant major. This major losses happens to most cross-section of the flow system and therefore used the term 'major'.

While the losses are minor pressure loss due to friction in the valve - the valve, T connection, the connection L, and the cross-section is not constant. Minor losses covers a small part sectional flow system, so it used the term 'minor'.

Major Pressure losses

Major pressure losses is the pressure loss due to friction in the straight tube flow system which can be calculated by the equation (1) :

$$\Delta P_{\text{major}} = 2f \frac{L}{d} \rho v^2 \quad (1)$$

Value f is the friction factor is obtained from the correlation H. Blasius, for turbulent flow in a tube with a smooth surface with an infinite range of Reynolds numbers that can be calculated by the equation (2) :

$$f = 0.079 \times R_e^{-0.25} \quad (2)$$

For laminar flow f value obtained from the correlation of Hagen-Poiseuille.

$$f = \frac{16}{R_e} \quad (3)$$

Minor Pressure Losses

In addition to pressure losses due to friction in the system flow tube / pipe straight, there is also the pressure loss due to the curves, widening and narrowing of the cross section, joints, valves, and other accessories. Where is the coefficient of loss on fittings and valves, which are highly dependent on the shape of the component fittings and valves, but not overly influenced by the value of Reynolds number for this type of flow with a large Reynolds number. The values shown in Table 1.

Minor pressures losses to coefficient based are:

$$\Delta P_{\text{minor}} = \rho \cdot K_L \cdot \frac{v^2}{2} \quad (4)$$

Table 1. Value of loss coefficient, K_L [9]

Fitting & Valve Type	coefficient of loss, K_L
Elbow 90°	0.75
Ball valve with fully open	0.05
Enlargement	1.00
Contraction	0.50
Tee	0.40
Union	0.04
Check valve, swing	2.00

Total Pressure losses

Total pressure losses is the sum of the pressure loss that occurs due to forced convection (forced convection) produced by a circulation pump that causes fluid friction against the tube wall. Pressure losses also occur due to bends and connections that lead to slightly obstructed water flow and pressure losses occur due to differences in cross-sectional area of the surface which is traversed by water.

Based on this, then to calculate the pressure loss (pressure drop) total contained on loop can be used equation (5)

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{major} + \Delta P_{minor} \quad (5)$$

The efficiency of the pump

The pump cannot change the entire kinetic energy into pressure energy because there are some kinetic energy lost in the form losses. Pump efficiency is a factor to calculate this losses. The efficiency of the pump consists of [10]:

- hydraulic efficiency, taking into account losses due to friction between the impeller and the fluid with losses due to change direction abruptly in the impeller,
- volumetric efficiency, taking into account the result of the recirculation losses in the ring, bush, and others,
- mechanical efficiency, taking into account losses due to friction at the seal, packing gland, bearings, and others.

Each pump is designed to the specific capacity and head, although it can also be operated at capacity and head to another. The efficiency of the pump will reach a maximum at the point designed, called the Break Event Point (BEP). For smaller capacity or greater efficiency will be lower. Pump efficiency is the ratio between the power the hydraulic pump with the pump shaft power can be calculated by the equation (6) :

$$\eta = \frac{P_H}{P_S} \quad (6)$$

P_H is a hydraulic power pumps that can be calculated by the equation (7):

$$P_H = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \quad (7)$$

$$P_H = \frac{\rho \cdot g \cdot H \cdot Q}{1000} \text{ kW}$$

H is the pump head.

P_S is a power symbol of the pump shaft which can be calculated by the equation (8):

$$P_S = \rho \cdot g \cdot H_{max} \cdot Q \quad (8)$$

with : H_{max} is the maximum pump head based on the specifications of the pump.

where [11] :

η_p	: pump efficiency	(%)
ρ	: density of water	(998.3 kg/m ³ at 20°C)
g	: Acceleration due to gravity	(9.81 m/s ²)
Q	: Pump capacity	(m ³ /s)
H	: Head total pump	(m)
P_p	: pump power	(watts)

METHODOLOGY

Experiments carried out by first filling the water tank which is then followed by turning on the power supply panel. Bypass valve (K1) and drain valves (K3) must be ensured covered. Meanwhile, the check valve (K2) is left open. Furthermore, make sure the flowmeter switched on and turn the breaker switch electric panel by pressing P1 until the button backlight. To operate the pump press the button on the inverter in accordance with the desired frequency and then press RUN. After the pump operation, check the display

panel pressure pump, flowmeter and display the electrical panel. Record the measurement on the flowmeter, pressure, current and voltage and frequency inverters on the experiment table. Repeat variations pump inverter frequency setting to three times the experiment.

Once all the necessary data obtained by the count of parameters such as the cross-sectional area termohidrolika slit plate fuel channels, flow rate and pressure differences in the system ExNaI. Hereafter devised flow rate curve to the pressure differences on ExNaI to understand its characteristics.

RESULTS AND DISCUSSION

From the data in the form of flow rate at the Excel obtained from experimental results derived from the increasing pressure continuously controlled through an inverter pump is shown in Figure 3.

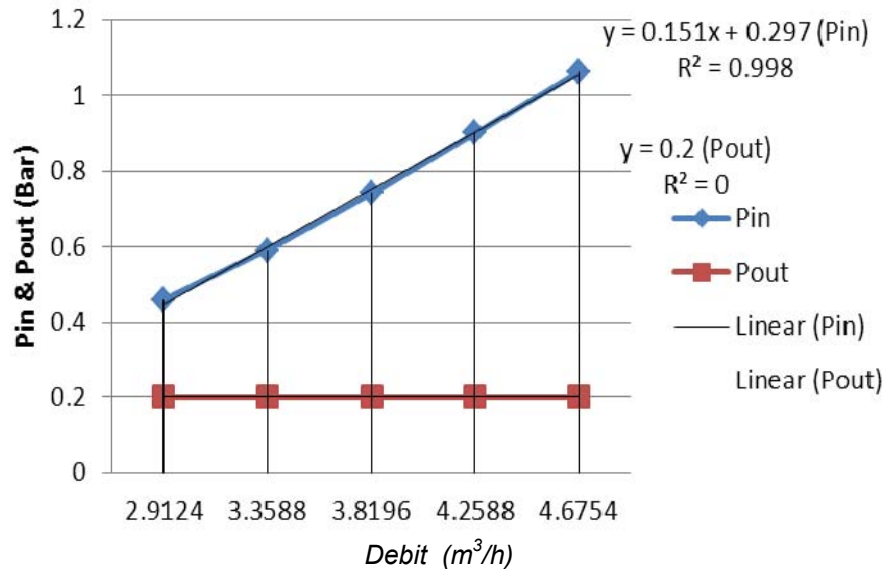


Figure 3. The curve relationship between the pressure on water discharge.

Based on Figure 3 shows the increase of flow rate of fluid influenced pressure increase continuously. The inlet pressure (Pin) mounted before the flowmeter and test section shows an increase in proportion to the increase in flow rate. Pout measures the pressure after the test section and gets hydrostatic pressure from the reservoir tank of 0.2 bar. Because the top reservoir tank is open to the atmosphere, the flow rate increase can not raise the pressure so that Pout remains 0.2 bar. Furthermore, the magnitude of this pressure loss will be calculated to determine the total loss that occurs in the loop.

Calculating Pressure Losses

The change in pressure in the fluid flow occurs because of the differences in altitude, the speed difference fluid flow due to changes or differences in cross-section, and fluid friction.

Major Pressure losses

Major pressure losses is the pressure loss due to friction in the straight tube flow system. To calculate the pressure loss of major use equation (1) with the following data :

$$\begin{aligned}
 L &= 1100 \text{ mm} = 1.1 \text{ m} \\
 D_{\text{pipa}} &= 3.81 \text{ mm} = 3.81 \times 10^{-3} \text{ m} \\
 \rho &= 994.7 \text{ kg/m}^3 \\
 v &= 3.798 \text{ m/s} \\
 f &= 0.079 \times 181052.67^{-0.25}
 \end{aligned}$$

So that

$$\Delta P_{\text{major}} = 2f \frac{L}{d} \rho v^2$$

$$= 31730.40 \text{ N/m}^2$$

$$= 0.31 \text{ bar}$$

Minor Pressure Losses

In addition to pressure losses due to friction in the system flow tube / pipe straight, there is also the pressure loss due to the curves, widening and narrowing of the cross section, joints, valves, and other accessories.

K_L is a loss coefficient on fittings and valves, which are highly dependent on the shape of the component fittings and valves, but not overly influenced by the value of Reynolds number for this type of flow with a large Reynolds number. The value of K_L shown in Table 1

Based on the above table total losses obtained as follows:

Elbow 90°	= 0.75
Fully open	= 0.05
Enlargement	= 1.00
Contraction	= 0.50
Tee	= 0.40
Union	= 0.04
Check valve	= 2.00
Total losses	= 4.74

To calculate the pressure loss minor use equation (4) with the following data:

$$\rho = 994.7 \text{ Kg/m}^3$$

$$v = 3.798 \text{ m/s}$$

$$K_L = 4.74$$

So that
$$\Delta P_{\text{minor}} = \rho \cdot K_L \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$= 34005.6 \text{ N/m}^2$$

$$= 0.33 \text{ bar}$$

Total Pressure Losses

Total pressure losses is the sum of the pressure loss that occurs due to forced convection (forced convection) produced by a circulation pump that causes fluid friction against the walls of the tube.

To calculate the total pressure loss is used equation (5) with the following data:

$$\Delta P_{\text{mayor}} = 0.31 \text{ Bar}$$

$$\Delta P_{\text{minor}} = 0.33 \text{ Bar}$$

So that
$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{mayor}} + \Delta P_{\text{minor}} = 0.64 \text{ Bar}$$

Calculating Head Pumps

Head pump is the energy of unity weight that should be provided to drain a liquid that is planned in accordance with the pump installation conditions, or pressure to circulate a liquid, which is generally expressed in units of length can be calculated using equation as follows:

$$H = ha + \Delta hp + h_f + \frac{v^2}{2g}$$

1. Head Static (Ha) the distance between the surface of the water tank on the bottom of the tank water permukaan is 1.5 m.
2. Differences Head pressure on both surface water (Δhp) :
Because of P_1 and P_2 is an open tank, then P_1 and $P_2 = 0$, so that:

$$\Delta Hp = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} = 0 \text{ m}$$

Head Losses (H_f)

Head frictional losses in the pipeline (hf)

So to calculate the friction losses that occur in the pipe using the formula:

$$h_f = \lambda \frac{L \cdot v^2}{d \cdot 2g}$$

To search for λ we use the formula darcy for turbulent flow, the formula is:

$$\lambda = 0.020 + \frac{0.0005}{0.0398} = 0.0325$$

Then the frictional losses in the pipeline :

$$\begin{aligned} L &= 1100 \text{ mm} = 1.1 \text{ m} \\ v &= 3.798 \text{ m/s} \\ D_{\text{pipe}} &= 3.81 \text{ mm} = 3.81 \times 10^{-3} \text{ m} \\ g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\text{So that } h_f = \lambda \frac{L \cdot v^2}{d \cdot 2g} = 0.69 \text{ m}$$

3. Losses head accessories

By using the formula::

$$\begin{aligned} K_{\text{total}} &= 4.74 \\ v &= 3.798 \text{ m/s} \\ g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\text{So that } h_e = K_{\text{tot}} \frac{v^2}{2g} = 3.48 \text{ m}$$

After all sections $H_l = h_f + h_e = 0.69 + 3.48 = 4.17 \text{ m}$

So large Head Total Pump (H) is :

$$H = 1.5 + 0 + 4.17 + \frac{(3.798)^2}{2 \times 9.81} = 6.40 \text{ m, So the total pump head is 6.40 m}$$

Calculating Efficiency Pumps

Pump efficiency is the ratio between the power the hydraulic pump with the pump shaft power can be calculated by equation (6) as follows :

$$\eta = \frac{P_H}{P_S}$$

P_H is a hydraulic power pumps that can be calculated with the following data (equation 7):

$$\begin{aligned} \rho &= 994.7 \text{ Kg/m}^3 \\ g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \\ H &= 6.40 \text{ m} \\ Q &= 4.6764 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

$$\text{So that } P_H = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q = 81.124 \text{ Watt}$$

P_s is pump shaft power can be calculated by the following data (Equation 8):

$$\begin{aligned} \rho &= 994.7 \text{ Kg/m}^3 \\ g &= 9.81 \text{ m/s}^2 \\ H &= 9.99 \text{ m} \\ Q &= 4.6764 \text{ m}^3/\text{h} \end{aligned}$$

$$\text{So that } P_s = \rho \cdot g \cdot H_{\text{max}} \cdot Q = 126.629 \text{ Watt}$$

$$\text{So the efficiency of the pump is } \eta = \frac{P_H}{P_S} = (81.124/126.629) = 0.64 \approx 64\%$$

From the data of these calculations will be done for the consideration of modifications to the pump capacity so that it can achieve critical velocity is expected.

CONCLUSION

The results of the experiments shows that fluid velocity was 3.798 m/s by calculating the total pressure losses throughout the system ExNal 0,64 Bar. The speed is still not close to or only 18% of the critical speed of 18.062 m/s for a cause vibration in the test section. So the specification pump capacity will be increased by redesigning the pump impeller, the pump installed on the calculation obtained by head 6.40 m and efficiency of 64%. Therefore the consideration of modifications to the pump capacity must be taken so that it can achieve critical velocity is expected.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors appreciate greatly to Center for the Nuclear Reactor Safety and Technology of BATAN for the financial support of this research from the 2016 DIPA research budget that makes this research possible.

REFERENCES

1. Subekti, M. et al., Technical Report of Proposed Research 2013: Experimental Device Function Test Critical Cooling Speed In Fuel Innovative Reactor Element Channel, PTRKN-BATAN, Tangerang Selatan, January (2014).
2. MILLER D. R., "Critical Flow Velocities for Collapse of Reactors of Parallel-Plate Fuel Assemblies", *Journal of Engineering for Power*, Vol. 82, p.83-95, (1960).
3. ENDIAH P.H. Dkk, "Technical Document of PTRKN: User Criteria Document (UCD) Innovative Research Reactor", BATAN-RKN-C2010-01-001, PTRKN-BATAN, Tangerang Selatan, (2010).
4. KAMINAGA M., "Thermal hydraulics Design of JRR-3M", The 38th, 39th and 40th Instructor Training Program - Course of Reactor Engineering I, II & III, JAEA, Tokai, (2010).
5. Kiswanta, Subekti M., Sumijanto, Characterization of Cooling Reactor Flow Rate Using Channel Experimental Facility, *Proceedings of National Seminar on Nuclear Energy Technology 2014*, PTKRN-PKSEN, Pontianak, June 19, (2014).
6. Kiswanta, KussigitSantoso, Sumijanto, Characterization of Different National Pressure Cooling Flow Debris At Channel Experiment Facility, *National Seminar X Nuclear Technology 2014*, PTKRN-ISSN, Yogyakarta, September 10, (2014).
7. Kiswanta, Design of Coolant Pump Modification On Channel Experiment Facility, *Sigma Epsilon* Volume 18, Number 2, May (2014).
8. King, RP., *Introduction to Practical Fluid Flow*, Butterworth-Heinemann, Burlington, GBR, (2002).
9. Kiswanta, EdySumarno, JokoPrasetio W., AinurRosidi, Fig. Heru K., Commissioning of Integration of BETA Test Structure (UUB) with HeaTiNG - 02 Testing, *Proceedings of 19th National Seminar on Technology and Safety of Nuclear Power Plant and Nuclear Facilities*, Yogyakarta, 24-25 September (2013).
10. Sularso, TaharaHaruo, *Pump and Compresor*, (seventh edition), PT PradnyaParamita, Jakarta, (2000).
11. KSB, "Intallation / Operating Manual", KSB Aktiengesellschaft, Johann-Klein-Strabe 9, German(2013).

SIMULASI PERUBAHAN TEMPERATUR BERDASARKAN VARIASI DAYA DAN ALIRAN PADA HEATER KONTAK LANGSUNG UNTAI FASSIP MENGGUNAKAN SOFTWARE ChamCAD versi 6.4.1

Edy Sumarno, Mulya Juarsa, Joko P.W, Deswandri, Geni Rina Sunaryo

*Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir -BATAN,
Kawasan Puspiptek Gd. 80 Serpong Tangerang Selatan Banten
Telp.021-7560912/Fax.021-7560913 Kode pos 1315
Email: edy-sumarno@batan.go.id*

ABSTRAK

SIMULASI PERUBAHAN TEMPERATUR BERDASARKAN VARIASI DAYA DAN ALIRAN PADA HEATER KONTAK LANGSUNG UNTAI FASSIP MENGGUNAKAN SOFTWARE ChamCAD versi 6.4.1. Untai FASSIP merupakan fasilitas eksperimen dimana aliran fluida pada sistem tersebut bergerak dengan sendiri karena adanya perbedaan temperatur pada dua sisi yang berbeda. Sirkulasi alami merupakan kemampuan fluida untuk bersirkulasi secara berkesinambungan yang disebabkan oleh perbedaan kerapatan densitas fluida karena adanya beda temperatur. Salah satu komponen utama untai FASSIP adalah digunakannya *heater* sebagai sumber panas. Untuk mendapatkan panas yang sesuai dengan yang dibutuhkan pada untai FASSIP memerlukan *heater* sebagai sumber panasnya. Tujuan penelitian adalah mendesain dan menghitung serta menentukan besaran diameter kawat kanthal yang digunakan agar kebutuhan panas dan capaian temperatur yang diinginkan dapat dipenuhi. Metode yang digunakan adalah dengan cara melakukan perhitungan besaran resistan dan panjang kawat kanthal, dengan cara menentukan terlebih dahulu besaran diameter dan daya yang digunakan pada kawat kanthal tersebut. Penentuan besaran temperatur dilakukan dengan cara memvariasikan daya dan aliran menggunakan program ChamCAD versi 6.4.1. Hasil desain untuk heater kontak langsung yang menggunakan kawat kanthal dengan diameter 2 mm dan daya maksimum sebesar 5 kW, didapat panjang kanthal sepanjang 17,623 meter. Hasil simulasi dengan daya 1 kW didapat *flowrate* 0,1 liter/menit sebesar 113,34°C dan pada *flowrate* 1,0 liter/menit sebesar 41,33°C.

Kata kunci: *Heater*, Untai FASSIP, *Software ChamCAD 6.4.1*

ABSTRACT

SIMULATION OF TEMPERATURE CHANGE ON DIRECT CONTACT HEATER IN FASSIP LOOP BASED ON FLOW AND POWER VARIATION USING ChamCAD version 6.4.1. FASSIP loop was an experimental apparatus in which the fluid flow in the fluid flow of the system can move by itself due to temperature differences. The natural circulation of the fluid's ability to circulate continuously caused by differences in the density of the fluid density because of the temperature difference. One of the main components FASSIP strand is the use of heater as the heat source. To get the heat as required on the strand FASSIP require a heater as the heat source. The purpose of research is to design and calculate and determine the magnitude of the diameter of the wire used kanthal that heat needs and achievements of the desired temperature can be met. The method used is a way to quantify the long-wire resistance and kanthal, by determining in advance the amount of diameter and power used in the kanthal wire. While determining the amount determined by the variation of temperature and flow power using version 6.4.1 ChamCAD program. Results for the design of direct contact heater that uses kanthal wire with a diameter of 2 mm and a maximum power of 5 kW, obtained kanthal along 17.623 meter length. The simulation results obtained with power 1 kW flowrate of 0.1 litre/minute for 113,34°C and at a flowrate of 1.0 litre/minute for 41,33°C

Key words: Heating, Loop FASSIP, Software ChamCAD 6.4.1

PENDAHULUAN

Akibat dari terendahnya genset sebagai pembangkit daya pendukung saat reaktor pada oleh gelombang air laut pada reaktor Fukushima Daiichi, mengakibatkan tidak berfungsinya pompa pendingin yang mengakibatkan pendinginan teras reaktor saat terjadi insiden tidak terpenuhi. Kejadian tersebut mengakibatkan panas peluruhan di dalam teras menjadi terakumulasi sehingga memicu terjadinya pelelehan teras (*core meltdown*) serta berimbas pula pada kerusakan bejana tekan teras reaktor. Berdasarkan kejadian tersebut

maka diperlukan penelitian dan pengembangan agar kejadian pelelehan teras diatas tidak terulang kembali. Gagalnya manajemen termal yang terjadi pada Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) Fukushima Daiichi menjadi acuan untuk mengembangkan system keselamatan nuklir yang baik dengan cara mengurangi sedikit mungkin peralatan-peralatan bantu yang digunakan dengan mengacu pada hukum alam, dimana termal yang terjadi dapat dibuang dengan sendirinya kealam sekitarnya. Adapun metode untuk perlakuan termal tersebut disebut sistem fasif (*passive system*) [1].

Untai FASSIP merupakan sebuah fasilitas eksperimen dimana aliran fluida pada sistem tersebut mengalir dengan sendirinya karena adanya perbedaan temperatur. Sirkulasi alamiah merupakan kemampuan fluida untuk bersirkulasi secara berkesinambungan yang disebabkan oleh perbedaan kerapatan densitas fluida. Efek berkurangnya kerapatan fluida pada daerah panas akan menimbulkan daya dorong keatas sedangkan efek kerapatan fluida pada daerah yang dingin akibat gaya gravitasi [2].

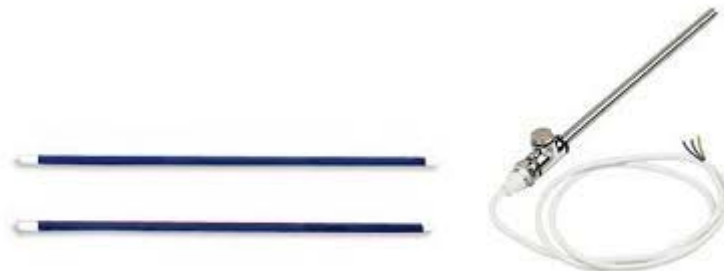
Salah satu komponen utama dalam untai FASSIP adalah digunakannya *heater* sebagai sumber panas. Untuk mendapatkan panas yang sesuai dengan yang dibutuhkan pada untai FASSIP diperlukan *heater* sebagai sumber panasnya. *Slide regulator* dengan daya sebesar 25 kVA digunakan sebagai sumber utama yang melakukan pengaturan daya dengan cara menaikkan tegangan *slide regulator* agar kalor dapat terdistribusi secara merata, sehingga panas yang diinginkan dapat terpenuhi. Pemanas yang digunakan pada untai FASSIP dalam penelitian digunakan sebagai pembangkit utama menggunakan dua heater yang saling berhadapan menggunakan kawat *open heater* dengan bahan kanthal menjadi bentuk spiral dengan diameter 30 mm dengan panjang 800 mm. Suplai tegangan menggunakan arus AC (*Altenating Current*) dengan variasi tegangan dari 0 Volt sampai 220 Volt serta daya maksimum yang tersedia adalah sesuai dengan kemampuan *slide regulator* yaitu sebesar 25 kVA. Tujuan penelitian adalah mendesain dan menghitung serta menentukan besaran diameter dan panjang kawat kanthal yang digunakan agar kebutuhan temperatur yang diinginkan dapat tercapai, serta menggunakan program ChamCAD versi 6.4.1 untuk simulasi temperaturnya. Agar *open coil heater* yang terpasang pada untai FASSIP tidak mudah putus maka *open coil heater* tersebut dipasang secara horizontal, sehingga merosotnya lilitan *open coil heater* tidak terjadi akibat terjadinya pemuaiian kawat *open coil heater* tersebut.

TEORI

Elemen *heater* merupakan peralatan yang mengubah energi listrik menjadi energi panas melalui proses *Joule Heating*. Prinsip kerja elemen panas adalah arus listrik yang mengalir pada elemen yang menjumpai resistansi sehingga menghasilkan panas pada elemen.

Persyaratan elemen heater antara lain :

- Harus tahan lama pada temperatur yang dikehendaki.
- Sifat mekanisnya harus kuat pada temperatur yang dikehendaki.
- Koefisien muai harus kecil, sehingga perubahan bentuknya pada temperatur yang dikehendaki tidak terlalu besar.
- Tahanan jenisnya harus tinggi.
- Koefisien temperaturnya harus kecil, sehingga arus kerjanya sedapat mungkin konstan.



Gambar 1. Elemen *heater*

Bahan yang paling banyak digunakan untuk pembuatan elemen *heater* listrik terdiri dari campuran Krom dengan Nikel, Krom dengan Nikel serta Besi, Krom dengan Besi dan

Alumunium. Bahan-bahan tersebut di atas tahan panas karena membentuk lapisan oksida yang kuat pada permukaannya, sehingga tidak terjadi oksidasi lebih lanjut. Bahan yang digunakan sebagian besar ditentukan oleh temperatur maksimum yang dikehendaki. Logam-logam campuran tersebut diatas dapat digunakan sampai 1250°C. Untuk temperatur yang lebih tinggi, misalnya untuk tanur listrik dapat digunakan campuran bahan lain. Kawat *heater* dengan bahan kantha terdiri dari campuran bahan krom, alumunium, besi dan kobalt, dan dapat dibedakan dari campuran Krom dengan Nikel karena memiliki beberapa sifat penting berikut ini :

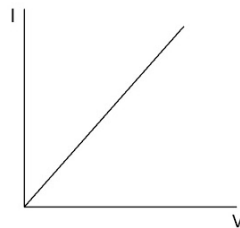
Jika dipanaskan diudara, campuran bahan kanthal akan membentuk kulit oksida yang sangat melekat. Elemen-elemen bahan yang bermerek kanthal dapat digunakan sampai 1350°C. Tahanan jenis bahan ini $(1,35 - 1,45) \times 10^{-6} \Omega m$. Umumnya bebahan ini dapat diberi beban permukaan yang tinggi (dalam satuan W/cm). Kawat *heater* berbahan Kanthal super dapat digunakan sampai 1600°C. Bahan ini berupa bubuk yang dipanaskan hingga padat dan terdiri dari suatu bahan yang dapat disamakan dengan logam, dan suatu bahan keramik. Unsur-unsur utamanya adalah Mo, Si, dan SiO. Beban permukaan untuk bahan kawat bermerek kanthal super dapat mencapai 10–20 W/cm . Tahanan jenisnya meningkat jika temperaturnya naik yaitu pada : 20°C sama dengan $0,4 \times 10^{-6} \Omega m$ 500°C sama dengan $1,2 \times 10^{-6} \Omega m$ 1000°C sama dengan $2,3 \times 10^{-6} \Omega m$ 1300°C sama dengan $2,9 \times 10^{-6} \Omega m$ 1600°C sama dengan $3,5 \times 10^{-6} \Omega m$ Koefisien temperatur rata-ratanya sama dengan 0,0048 [3].

Pada klas *metallic*, sebaagian besar elemen *heater* menggunakan bahan nichrome 80/20 (80% nikel, 20% kromium) dalam bentuk kawat, pita atau stip. 80/20 nichrome merupakan bahan yang baik, karena memiliki ketahanan yang relative tinggi dan membentuk lapisan kromium oksida ketika dipanaskan untuk pertama kalinya, sehingga bahan di bawah kawat tidak akan teriksodasi, mencegah kawat menjadi putus atau terbakar.

Hasil eksperimen *George Simon Ohm* pada tahun 1827 menunjukkan bahwa arus listrik I yang mengalir pada kawat penghantar sebanding dengan beda potensial V yang diberikan pada ujung-ujungnya.

$$I \propto V \quad (1)$$

Jika beda potensial diperbesar maka arus yang mengalir juga semakin besar. Hasil eksperimen ini dikenal dengan hukum Ohm. Hubungan antara V dan I secara grafik dapat dilihat seperti terlihat pada gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Grafik hubungan antara tegangan dan arus

Pengertian 1(satu) Ohm yaitu satu kolom air raksa yang panjangnya 1,063 m dengan penampang 1 mm^2 pada temperatur 0°C . Suatu pengantar yang mempunyai nilai tambahan yang kecil atau mempunyai daya hantar yang besar ini berarti mudah dilalui arus. Besar daya kemampuan arus ini disebut daya hantar arus. Sedangkan penyekat atau isolasi adalah suatu bahan yang mempunyai tahanan yang besar atau mempunyai daya hantar yang kecil ini berarti sukar dilalui arus listrik. Rumus dibawah ini untuk menghitung besarnya tahanan listrik terhadap daya hantar arus.

$$R = \frac{1}{G} \quad (2)$$

atau

$$G = \frac{1}{R} \quad (3)$$

Keterangan :

R = Tahanan kawat listrik Ω (ohm);

G = Daya hantar arus dalam satuan u (mho) atau Siemens

Tahanan jenis suatu bahan ialah tahanan bahan itu yang panjangnya 1 meter dengan luas penampang 1 mm². Tahanan jenis diberi simbol : ρ (rho) Daya hantar jenis adalah kebalikan dari tahanan jenisnya dan diberi simbol dengan g . Rumus dibawah ini adalah rumus untuk menghitung tahanan jenis terhadap daya hantar jenisnya.

$$\rho = \frac{1}{g} \quad (4)$$

Besarnya penampang suatu kawat dapat dicari dengan 2 cara :

$$A = \frac{1}{g} \pi d^2 \quad (5)$$

$$A = \pi r^2 \quad (6)$$

Sedangkan besarnya tahanan dari kawat penghantar dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$R = \frac{\rho \times l}{q} \quad (7)$$

$$A = \frac{\rho \times l}{R} \quad (8)$$

Selanjutnya penampang, Tahanan jenis dan panjang kawat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\rho = \frac{R \times A}{l} \quad (9)$$

$$l = \frac{R \times A}{\rho} \quad (10)$$

Keterangan :

R = Tahanan kawat dalam satuan ohm (Ω)

l = Panjang kawat dalam satuan meter (m)

ρ = Tahanan jenis dalam satuan Ω mm

A = Penampang kawat dalam satuan mm/m²

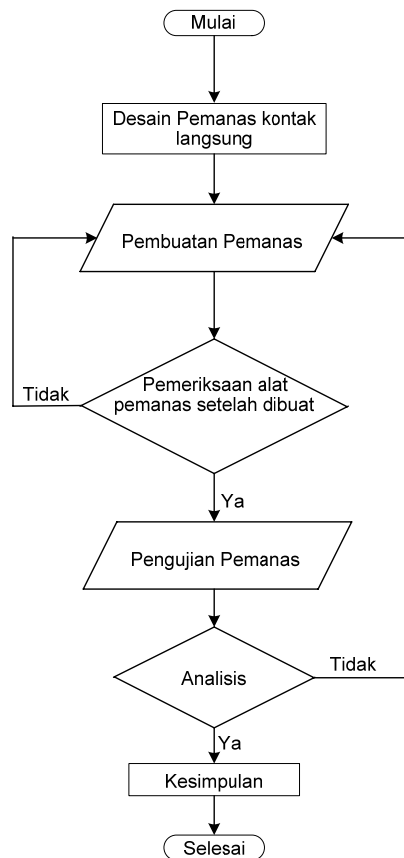
g = Daya hantar jenis dalam satuan m/ Ω mm

METODOLOGI

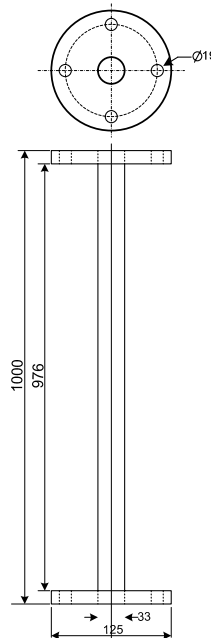
Penelitian desain sistem *heater* kontak langsung pada untai FASSIP menggunakan peralatan antara lain, AVO meter, Tang amper, Obeng plus dan Obeng minus, Tang kombinasi, dan peralatan bantu lainnya. Sementara bahan yang dipergunkan adalah kawat *open coil* bahan kanthal dengan daya 5 kW, diameter 2 mm, berat jenis 50,5 g/m, tahanan jenis 0,195 Ω .

Pada Gambar 3 adalah diagram alir penelitian pembuatan *heater* kontak langsung, adapun tahapannya diawali dengan melakukan desain pemanas kontak langsung terlebih dahulu dan tahapan berikutnya dilakukan pembuatan alat pemanas, dilanjutkan dengan pemeriksaan peralatan pemanas kontak langsung yang telah dibuat dan jika dirasa masih ada kekurangan maka dilakukan perbaikan dan penambahan komponen yang dibutuhkan, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap pemanas kontak langsung dengan cara diberikan arus listrik dan untuk mendapat daya yang bervariasi diperlukan *regulator voltage* sehingga tegangannya dapat divariasasi mulai 0 Volt hingga 220 Volt. Jika pengujian pemanas kontak langsung telah selesai maka tahapan berikutnya dilakukan analisis, bila dari hasil analisis ditemukan adanya kekurangan maka perlu dilakukan pemeriksaan kembali pada pembuatan pemanas kontak langsung, selanjutnya dilakukan pengulangan kembali tahapan penelitian tersebut, dari data-data hasil pengujian selanjutnya didapatkan sebuah kesimpulan.

Pembuatan disain *heater* kontak langsung dilakukan dengan *software Visio versi 2014*, serta *software Solidworks*. Bahan pipa yang akan di panasi dengan *heater* adalah seperti terlihat pada Gambar 4.

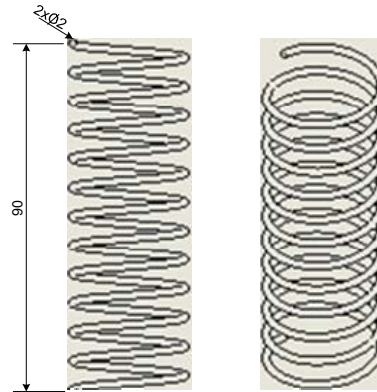


Gambar 3. Diagram alir pembuatan *heater* kontak langsung



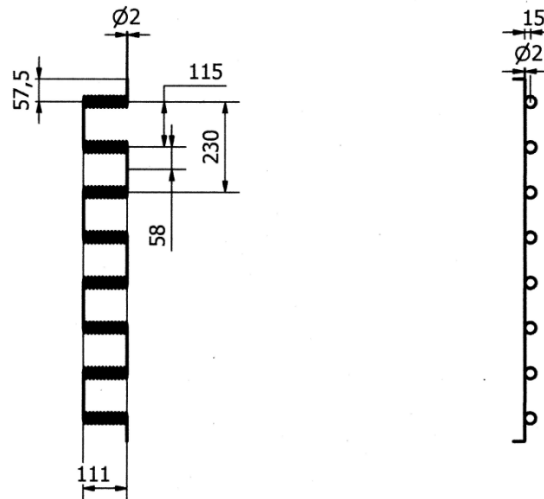
Gambar 4. Pipa yang akan dipasang *open coil heater*

Dimana panjang keseluruhan adalah 1000 mm dan diameter 33 mm dan berbahan SS 304, dari bahan tersebut maka perlu dilakukan desain heater yang panjangnya tidak boleh melebihi dari panjang bahan tersebut diatas yaitu sepanjang 1000 mm. Karena bahan kanthal yang ada di lapangan berbentuk kawat panjang, oleh karena itu perlu di bentuk terlebih dahulu hingga berbentuk lingkaran. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5 berikut ini.



Gambar 5. Desain kawat *open coil heater* kontak langsung.

Gambar 6. adalah hasil desain *heater* yang telah dilakukan, panjang total *heater* adalah 930 mm, diameter lubang lilitan adalah 30 mm serta panjang antar lilitan adalah 115 mm, jumlah seluruh lilitan adalah sebanyak 12 buah



Gambar 6. Hasil desain *open coil heater* kontak langsung
(Countesy by UNNES Student)

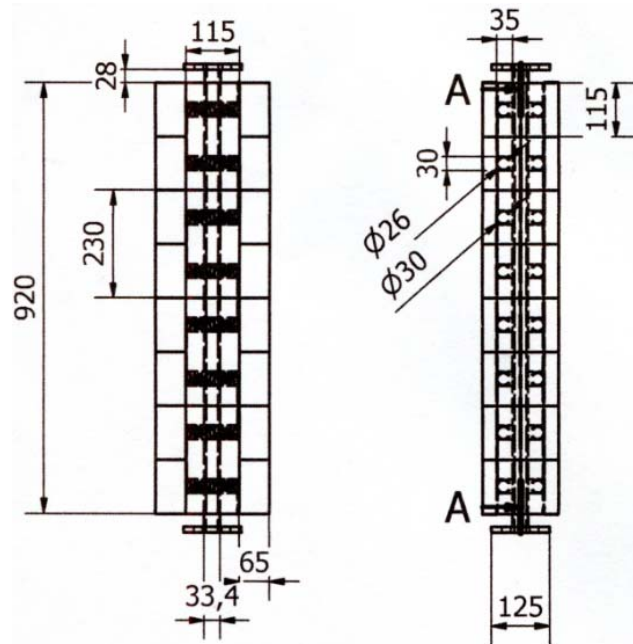
Desain pemanas kontak langsung dibuat, selanjutnya dilakukan pabrikan pembuatan *open coil heater* diawali dengan menggunakan cetakan dari bahan yang berbentuk lingkaran yang berdiameter 30 mm, sehingga hasilnya membentuk lingkaran selanjutnya mal yang berbentuk lingkaran dan bahan *open coil* dijadikan satu, pada salah satu ujung sisi tersebut dijepit dengan ragum dan diusahakan agar pipa tidak bergerak. Kawat *open coil heater* berdiameter 2 mm dililitkan pada bahan yang berbentuk lingkaran yang mempunyai diameter 30 mm. Agar mendapatkan lilitan pada kawat *open coil heater* tersebut, dengan bantuan menggunakan sebuah kayu yang diberi lubang pada ujungnya lalu dengan cara memutar kawat tersebut hingga mendapatkan lilitan yang berbentuk lingkaran, hal tersebut dilakukan sebanyak 12 kali lilitan kawat *open coil heater*, dan lilitannya mempunyai diameter 30 mm. Adapun pemasangannya dilakukan secara mendatar dan diulangi lagi dengan cara yang sama untuk mendapatkan sebanyak 8 buah kelompok lilitan kawat *open heater* dan disusun secara horizontal. Hal tersebut juga dilakukan untuk *open coil heater* yang digunakan pada sisi yang lain.

Masing masing sebuah *insulating fire brick* dibuat alur sebanyak 2 buah, sehingga yang diperlukan untuk semua lubang alur dibutuhkan sebanyak 8 buah alur pada sisi kiri, dan 8 alur untuk sisi kanan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 7 berikut ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

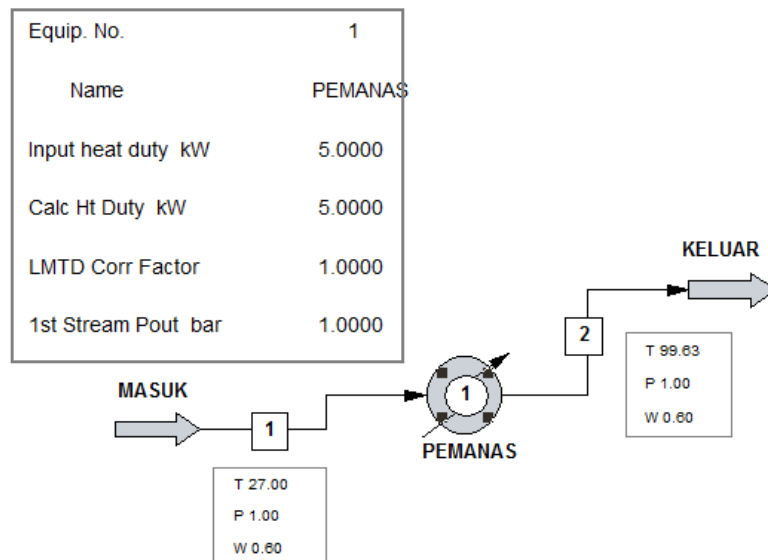
Pada penelitian ini perhitungan desain untuk *open coil heater* kontak langsung pada untai FASSIP menggunakan persamaan (10) kawat *open coil heater* dengan diameter 2 mm

dan daya sebesar 5 kW, didapat sepanjang 17,623 meter, adapun desain spesifikasi ukuran dari *open coil heater* kontak langsung yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 7.



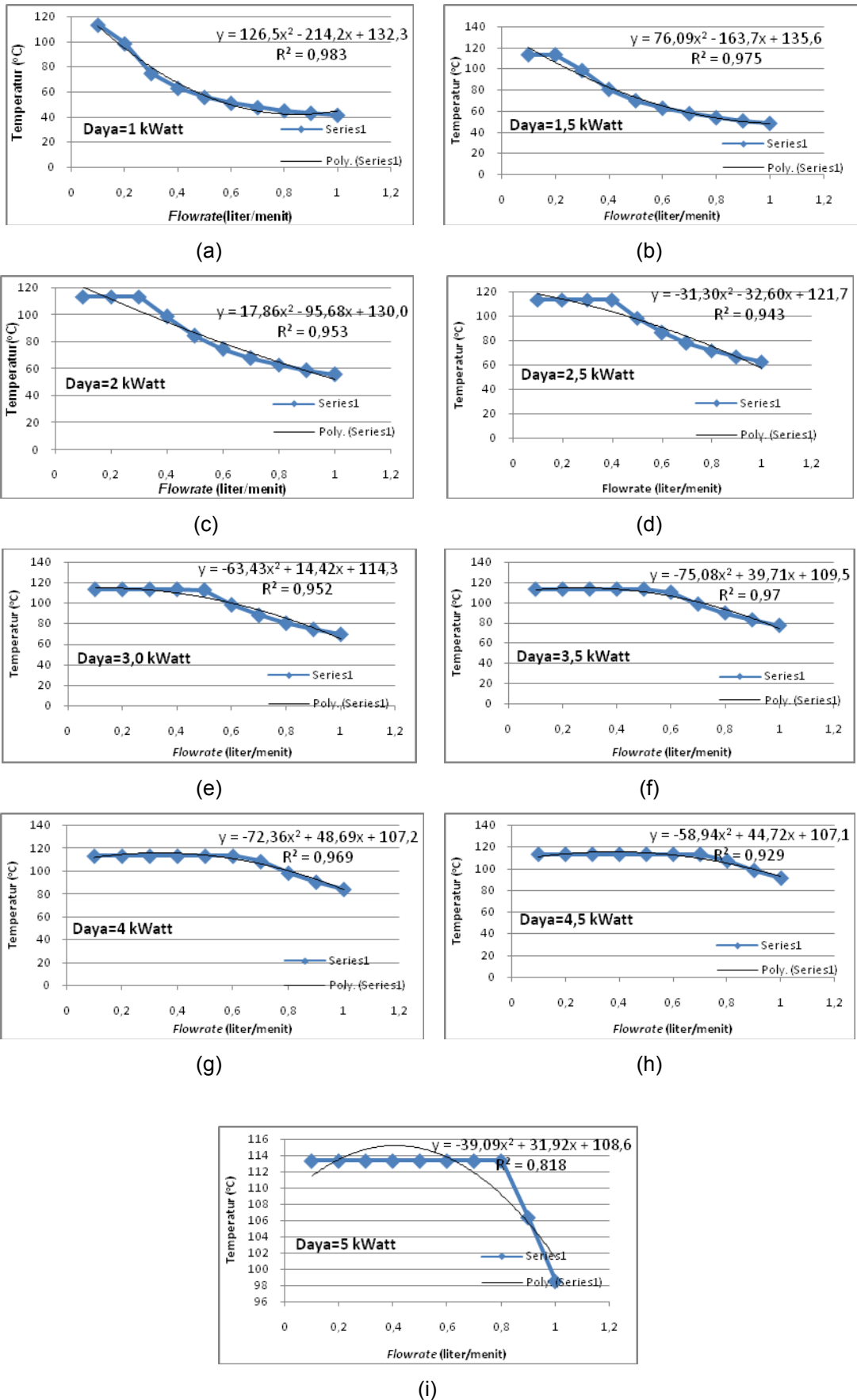
Gambar 7. *Open coil heater* kontak langsung dan *insulating fire brick*
(Countesy by UNNES Student)

Agar dapat diketahui seberapa besar pengaruh temperatur yang dihasilkan dari hasil desain tersebut maka pada penelitian ini juga dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak *software* ChamCAD 6.4.1 dimana pada *software* ini yang dibutuhkan adalah inputan dari tekanan, daya *heater*, temperatur masukan air serta besarnya *flowrate*, berikut ini adalah *software* ChamCAD 6.4.1 yang digunakan untuk perhitungan temperatur terhadap *flowrate* dan variasi daya *heater*.



Gambar 8. Contoh hasil perhitungan menggunakan *software* ChamCAD versi 6.4.1

Dari hasil simulasi temperatur dengan variasi daya mulai dari 0,5 kW hingga 5 kW dengan tekanan 1,6 bar serta variasi *flowrate* 0,1 liter/menit s/d 1 liter/menit menggunakan perangkat lunak *software* ChamCAD versi 6.4.1 dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini.



Gambar 9. Grafik (a s/d i) Hasil simulasi temperatur terhadap variasi *flowrate* dengan variasi daya *heater* kontak langsung pada untai FASSIP

Hasil simulasi temperatur dengan variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 1 kW, pada *flowrate* 0,1 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,2 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47°C hingga 41,33°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9a.

Variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 1,5 kW pada *flowrate* 0,1 dan 0,2 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,3 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47°C hingga 48,49°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9b.

Variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 2 kW pada *flowrate* 0,1; 0,2; 0,3 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,4 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47°C hingga 55,65°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9c.

Untuk variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 2,5 kW pada *flowrate* 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,5 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47 °C hingga 62,81°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9d.

Variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 3 kW pada *flowrate* 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,6 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47°C hingga 69,96°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9e.

Variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 3,5 kW pada *flowrate* 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,7 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47°C hingga 77,10°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9f.

Variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 4 kW pada *flowrate* 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,8 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47°C hingga 84,24°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9g.

Variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 4,5 kW pada *flowrate* 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 0,9 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terjadi penurunan temperatur dari 98,47°C hingga 91,36°C. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9h.

Variasi *flowrate* yang dimulai dari 0,1 liter/menit hingga 1,0 liter/menit terhadap daya sebesar 4,5 kW pada *flowrate* 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 liter/menit fluida telah berubah menjadi uap/saturasi, sementara pada *flowrate* 1,0 liter/menit temperatur sebesar 98,47°C. Untuk lebih lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9.i. Jadi untuk tekanan 1,6 bar dan temperatur 27°C terlihat bahwa semakin daya diperbesar maka fluida dalam untai FASSIP akan semakin meningkat akan terjadinya pendidihan/saturasi pada fluida tersebut.

Hasil simulasi menggunakan *software* ChamCAD versi 6.4.1 terlihat adanya adanya korelasi penurunan temperatur fluida yang digunakan saat *flowrate* semakin diperbesar, serta korelasi antara kenaikan daya terhadap *flowrate* juga menunjukkan adanya kenaikan temperatur hingga mendekati pendidihan/saturasi pada fluida yang digunakan pada untai FASSIP. Dari hasil simulasi mempunyai nilai ketepatan penyebaran data yang sangat baik yaitu R^2 berkisar antara 81,8% hingga 98,3% hal ini menunjukkan bahwa data yang didapat hasil simulasi antara variasi daya terhadap hasil penunjukan temperatur hasilnya sangat baik. Data-data terbut diatas dapat dipergunakan sebagai acuan untuk penelitian lebih lanjut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa perhitungan panjang kawat *open coil heater* telah dilakukan dan simulasi *flowrate* terhadap temperatur menggunakan *software* ChamCAD versi 6.4.1 pada *heater* untai FASSIP. Hasil perhitungan yang dilakukan untuk kawat kanthal dengan diameter 2 mm serta daya sebesar 5 kW diperoleh kawat sepanjang 17,623 meter. Hasil simulasi yang dilakukan menggunakan *software* ChamCAD versi 6.4.1 menunjukkan bahwa semakin besar *flowrate*

berdampak pada penurunan temperatur. Dari hasil simulasi tersebut maka dapat ditentukan berapa temperatur yang dibutuhkan sehingga dapat ditentukan pula seberapa daya yang paling efisien yang digunakan pada untai FASSIP.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pemulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, BATAN atas pembiayaan, sarana dan fasilitas dalam penelitian menggunakan dana DIPA tahun 2016-2017.

DAFTAR PUSTAKA

1. M JUARSA, dkk "Studi Eksperimental Laju Aliran Massa Air Berdasarkan Perubahan Sudut Kemiringan Untai Pada Kasus Sirkulasi Alamiah Menggunakan Untai Simulasi Sirkulasi Alamiah (USSA-FT01)", Jurnal Material dan Energi Indonesia, Vol 01, No. 01 (2011) 22-30.
2. Vikas Jain. A.K. Nayak, P.K. Vijayan, D.Saha, R.K. Sinka, "Experimental investigation on the flow instability behavior of a multi chanel boiling natural circulation loop at low-pressures, Experimental Thermal and Fluid" Science 34 (2010) hal.776-787.
3. EDY SUMARNO, "Karakterisasi Heater Berlapis Semi-Silender Berlapis Keramik Untuk Bagian Uji QUEEN-II", Proseding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir, ISSN No.1410-0533, 2005Liozinski, M.G, Industrial Aplication of Induction Heating. London (1969).
4. PT.INGENIOUS, "ChamCAD Process Simulation", Software Training, BATAN Serpong (2012).
5. Nacke, Bernard. Induction Heating Fundamental. Institute of Electrotecnology Leibniz University of Hanover. Jerman 2000.
6. Tipler, P.A. Fisika untuk Sain dan Teknik-Jilid I (terjemahan). Jakarta penerbit, Erlangga (1998).
7. SUBUR EDI SUDRAJAT, IRFAN SANTOSO, "Perancangan Solar Water Heater Jenis Plat Datar Temperatur Medium Untuk Aplikasi Penghangat Kamar Mandi", Jurnal Teknologi, Volume 7, Nomor 2, Desember (2014), 118-127.
8. Basri, "Analisis Pengaruh Laju Aliran Massa Terhadap Koefisien Perpindahan Panas Rata-Rata Pada Pipa Kapiler Di Mesin Refrigerasi Focus 808" Jurnal Mekanikal, Vol. 2 No. 1: Januari 2011: 16 – 22, ISSN hal. 2086 – 3403.
9. J.P. Holman. Perpindahan Kalor Edisi Enam. Erlangga, Jakarta,(1997).
10. Nurhalim, Ichwan. "Rancang Bangun Dan Pengujian Unjuk Kerja Alat Penukar Kalor Tipe Serpentine Pada Split Air Conditioning Water Heater". Skripsi, Fakultas Teknik, Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, Depok, (2011).

ANALISIS KEMAMPUAN PERTUKARAN KALOR TANGKI COOLER BERDASARKAN PERBEDAAN ARAH ALIRAN UNTAI *HEAT SINK SYSTEM*

Giarno, Joko Prasetyo Witoko, Mulya Juarsa, Deswandri, Geni Rina Sunaryo

PTKRN-BATAN, Kawasan Puspiptek Serpong, Gedung 80, 15310

email: giarno@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS KEMAMPUAN PERTUKARAN KALOR TANGKI COOLER BERDASARKAN PERBEDAAN ARAH ALIRAN UNTAI *HEAT SINK SYSTEM*. Kebutuhan energi listrik di Indonesia sudah saatnya didukung oleh energi nuklir, sesuai dengan rencana BATAN untuk membangun Reaktor Daya Eksperimental (RDE). Teknologi keselamatan pasif pada generasi reaktor lanjut sangat diprioritaskan untuk keselamatan operasi kondisi normal maupun tidak normal. Penelitian tentang sistem pasif telah dilakukan dengan eksperimen sirkulasi alam menggunakan untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (untai FASSIP) di laboratorium Termohidrolika, Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN). Untai FASSIP terdiri dari untai rektanguler dan untai *Heat Sink System (HSS)*. Untai *HSS* berfungsi untuk menyerap kalor dari untai rektanguler dan membuang ke lingkungan. Tujuan penelitian adalah untuk menganalisis kemampuan pertukaran kalor di tangki *cooler* berdasarkan perbedaan aliran untai *HSS*. Metodologi yang digunakan adalah melakukan eksperimen sirkulasi alam, membuat grafik, melakukan perhitungan jumlah kalor yang diserap *HSS* dan melakukan analisis kemampuan pertukaran kalor di tangki *cooler* berdasarkan perbedaan aliran *HSS*. Data hasil eksperimen dan perhitungan diperoleh analisis kemampuan pertukaran kalor di tangki *cooler* oleh untai *HSS* aliran berlawanan arah (*counter flow*) lebih besar dibandingkan dengan untai *HSS* aliran searah (*parallel flow*). Nilai jumlah kalor yang diserap di tangki *cooler* paling besar adalah 16,585 kW yaitu terjadi pada daya pemanas di tangki *heater* sebesar 4,24 kW dan laju aliran volumetrik rata-rata di untai *HSS* sebesar 42,70 LPM pada *HSS* aliran berlawanan arah.

Kata Kunci : untai FASSIP, *Heat Sink System*, laju aliran volumetrik, perpindahan kalor

ABSTRACT

ANALYSIS OF HEAT TRANSFER CAPABILITY OF COOLER TANK BASED ON DIFFERENCES IN FLOW DIRECTION OF THE HEAT SINK SYSTEM LOOP. Indonesia needs the electricity energy supported by nuclear energy. In line with nuclear energy program, BATAN plan to build Experimental Power Reactor (RDE). The passive safety technology in advanced reactor generation is a priority in the safety both for normal and abnormal conditions. Research on passive system has been done with natural circulation experiment using the Passive Systems Simulation Facility loop (FASSIP loop) in the Thermohydraulics Laboratory, BPFKR, PTKRN. The FASSIP loop consists of a rectangular loop and Heat Sink System loop (HSS). The HSS loop serves to absorb heat transfer from the rectangular loop and dissipate it to the environment. The purpose of the research is to analyze the capability of heat transfer in the cooler tank based on differences in flow direction of the HSS loop. The methodology applied is to perform experiments in natural circulation, make a chart, doing the calculations of heat transfer rate, and analysis of the heat transfer capability of the cooler tank based on differences in flow direction of the HSS loop. The data and calculation from the experiment show that the heat transfer capability in the cooler tank of the HSS loop with counter flow is greater than in the parallel flow. The maximum amount of heat absorbed is 16.585 kW at electricity voltage of 160 V and average volumetric flow rate of 42.70 LPM in the counter flow of the HSS loop.

Keywords: FASSIP loop, *Heat Sink System*, volumetric flowrate, heat transfer

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia masih dipenuhi oleh batubara dan bahan bakar minyak, untuk mengimbangi keterbatasan sumber daya alam maka sumber energi nuklir sudah saatnya ikut mendukung pemenuhan energi tersebut. Program kerja BATAN yang mempunyai rencana strategis 2015-2019 akan membangun Reaktor Daya Eksperimental (RDE) sebagai titik awal menuju pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) [1].

Kemajuan teknologi harus didukung oleh teknologi keselamatan, termasuk pada industri nuklir, sehingga faktor keselamatan PLTN menjadi persyaratan mutlak [2]. Sistem keselamatan PLTN di Fukushima masih menggunakan sistem aktif yaitu menggunakan sumber listrik untuk mengoperasikan pompa pendingin. Ketika terjadi gempa bumi diikuti tsunami semua listrik padam dan pompa mengalami kegagalan untuk mendinginkan panas peluruhan setelah reaktor *shutdown*, sehingga teknologi keselamatan reaktor nuklir saat ini dan masa mendatang menggunakan sistem keselamatan pasif [3]. Teknologi keselamatan secara pasif dapat melakukan salah satu atau lebih dari ketiga fungsi keselamatan reaktor nuklir yaitu memadamkan/*shutdown* reaktor dengan selamat, mengambil panas peluruhan setelah *shutdown* dan mengungkung zat radioaktif agar tidak keluar ke lingkungan [4].

Untuk memperdalam studi sistem pasif di laboratorium Termohidrolika PTKRN-BATAN saat ini telah dibuat fasilitas eksperimen untuk mempelajari sirkulasi alam (*natural circulation*) yang disebut untai FASSIP (untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif) [5]. Eksperimen sirkulasi alam menggunakan untai FASSIP kondisi untai rektangular tanpa isolasi dan untai *Heat Sink System (HSS)* terisolasi dengan aliran searah di *HSS* telah dilakukan pada kegiatan penelitian tahun 2016 [5]. Tangki cooler merupakan alat penukar kalor tipe *tube-and-shell* dimana fluida panas dan fluida dingin terpisah yang dapat mengalir searah (*parallel flow*) atau berlawanan arah (*counter flow*) [6]. Eksperimen sirkulasi alam dengan kedua aliran berbeda di untai *HSS* telah dilakukan untuk mendapatkan karakterisasi *precooler* dan hasilnya *precooler* berfungsi baik sebagai komponen untai *HSS* yang berfungsi menyerap kalor di tangki *cooler* dan membuang ke lingkungan oleh sistem refrigerasi [7].

Tujuan penelitian adalah untuk menganalisis kemampuan pertukaran kalor di tangki *cooler* berdasarkan perbedaan aliran di untai *HSS*. Berdasarkan data hasil eksperimen dan grafik hubungan temperatur selama eksperimen serta perhitungan jumlah kalor yang diserap *HSS* di tangki *cooler*, maka akan diperoleh analisis kemampuan pertukaran kalor di tangki *cooler*.

TEORI

Untai FASSIP adalah fasilitas eksperimen untuk mempelajari sistem pendinginan secara pasif yang terdiri dari untai rektangular dan untai *HSS*. Untai rektangular adalah *section* pemipaan SS304 dilengkapi dengan sensor temperatur yang dihubungkan menjadi suatu untai (*loop*) segi empat dilengkapi sumber pemanas (tangki *heater*) dan sumber pendingin (tangki *cooler*) [7]. Konsep dasar sistem pasif adalah fenomena aliran fluida yang bergerak dengan sendirinya tanpa adanya gaya dari luar, dari temperatur tinggi ke temperatur rendah karena terjadi perbedaan densitas dan gaya apung (*buoyancy force*) [8]. Banyaknya kalor yang diserap oleh untai *HSS* di tangki *cooler* kemudian dibuang ke lingkungan oleh sistem refrigerasi dapat dihitung dengan persamaan (1) [9]:

$$q = \dot{m} \cdot c_{p \text{ air}} \cdot (T_{\text{outlet-Cooler-HSS}} - T_{\text{inlet-Cooler-HSS}}) \quad (1)$$

dengan :

q = perpindahan kalor [kW]

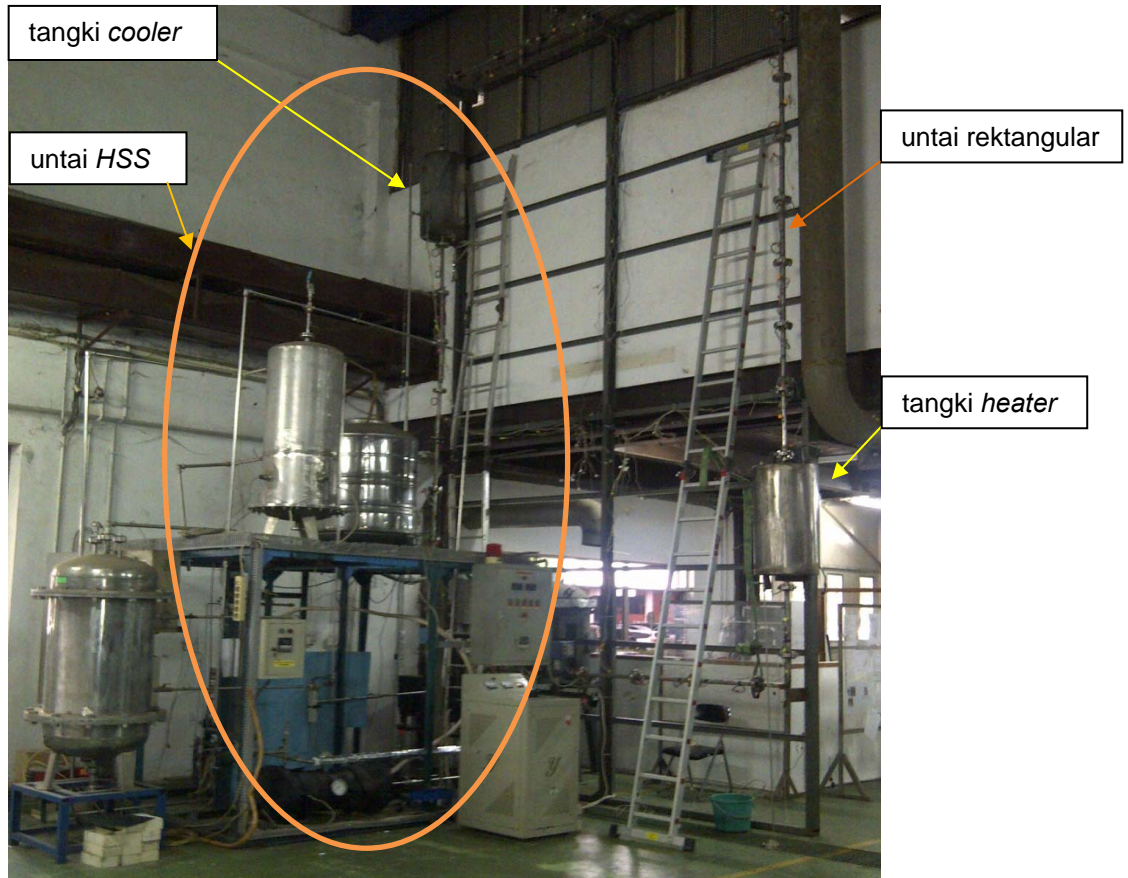
\dot{m} = laju aliran massa air *HSS* [kg/det]

$c_{p \text{ air}}$ = kapasitas jenis air di tangki *cooler* (*) [kJ/kg. °C]

$T_{\text{outlet-cooler}} - T_{\text{inlet-cooler}}$ = temperatur *inlet* dan *outlet* tangki *cooler* [°C]

(*) Nilai kapasitas jenis air berdasarkan temperatur *HSS* rata-rata di tangki *cooler* yang diperoleh dari *software Steam Table water 97_v13* [10].

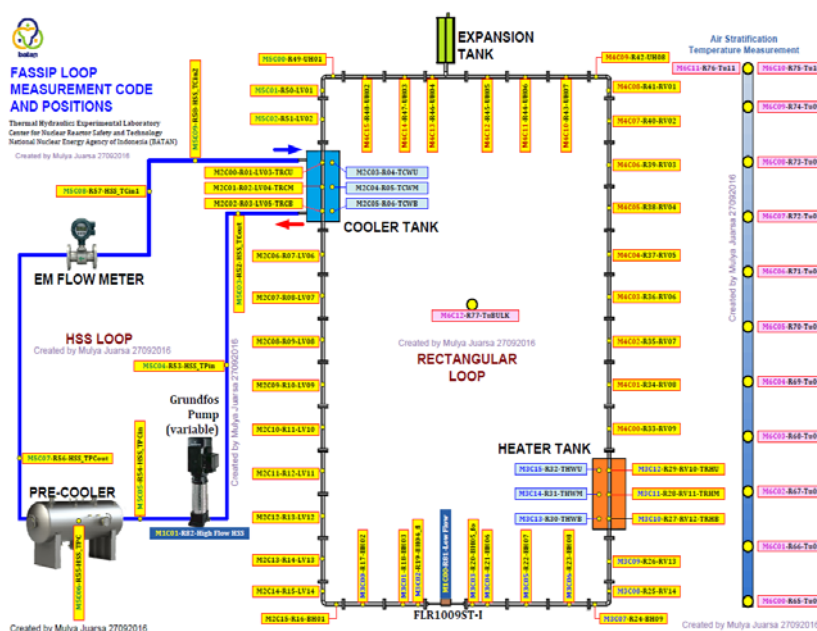
Gambar untai FASSIP kondisi untai rektangular tanpa isolasi dan untai *HSS* beserta komponennya seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Untai FASSIP

Untai HSS terdiri dari pompa sentrifugal, *precooler*, tangki cooler, tangki reservoir dan *refrigerator* dengan dilengkapi pengukur temperatur, tekanan dan laju alir volume. Untai rektangular terdiri dari tangki heater, tangki cooler dan tangki ekspansi dengan dilengkapi pengukur temperatur, tekanan dan laju aliran volumetrik.

Pengambilan data temperatur *inlet* dan *outlet* di tangki cooler menggunakan sensor termokopel yang terhubung ke modul Ni-DAQ dan dibaca dan direkam di komputer dengan program LabVIEW.



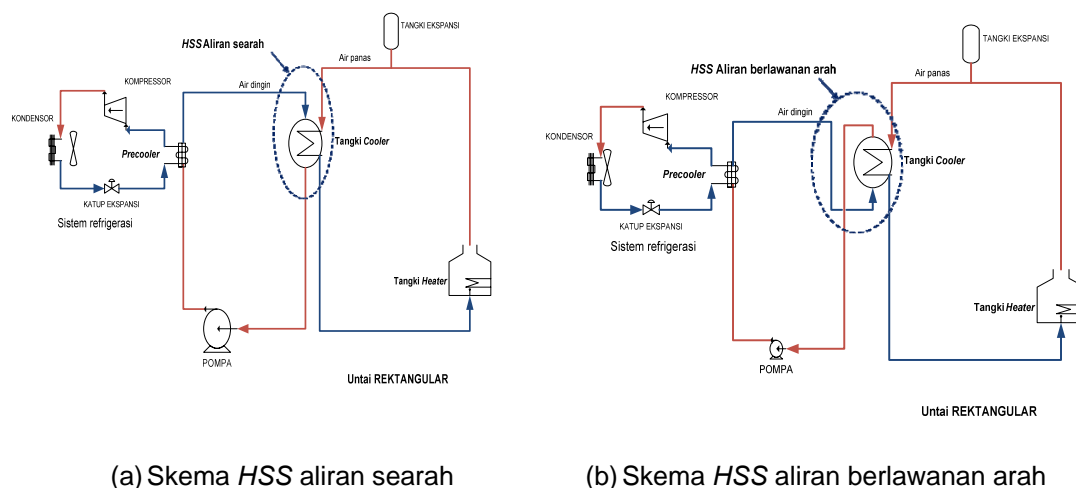
Gambar 2. Konfigurasi termokopel untai FASSIP [created by Mulya Juarsa]

Gambar 2 menunjukkan konfigurasi letak sensor temperatur (termokopel) untai FASSIP yang terpasang di *section* pipa untai rektangular dan setiap *inlet* & *outlet* komponen untai HSS. Pergerakan fluida yang disebabkan sirkulasi alam dapat diamati dengan melihat distribusi temperatur di komputer.

TATA KERJA

Persiapan eksperimen

Persiapan eksperimen untuk HSS aliran searah dilakukan dengan mengisi air ke pemipaan untai rektangular sampai tangki ekspansi terisi setengah. Mengisi air ke tangki *heater* dan *cooler* sampai penuh. Menyiapkan untai HSS dengan mengatur katup-katup di instalasi pemipaan, mengatur frekuensi pompa sesuai matriks eksperimen dan menyiapkan *refrigerator* posisi *stand-by*. Menghidupkan komputer dan menjalankan program *Data Acquisition System (DAS)* untuk perekaman data pengukuran. Mengatur tegangan listrik pada trafo untuk mensuplai daya pada elemen pemanas di tangki *heater* sesuai matriks eksperimen. Sedangkan persiapan eksperimen untuk HSS aliran berlawanan arah dilakukan dengan mengubah arah aliran HSS dari searah menjadi berlawanan arah yaitu dengan menukar pipa *inlet* ke tangki *cooler* mejadi pipa *outlet* dari tangki *cooler*, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema HSS aliran searah dan berlawanan arah

Gambar 3a menunjukkan air dingin dari untai HSS mengalir searah dengan air panas dari untai rektangular, sedangkan gambar 3b menunjukkan perubahan arah air dingin dari untai HSS menjadi berlawanan arah dengan air panas dari untai rektangular.

Prosedur eksperimen

Melakukan eksperimen selama 7 jam untuk HSS aliran searah dan aliran berlawanan arah dengan mengoperasikan DAS, pompa HSS, suplai tegangan listrik elemen pemanas dan *refrigerator*, secara bersamaan.

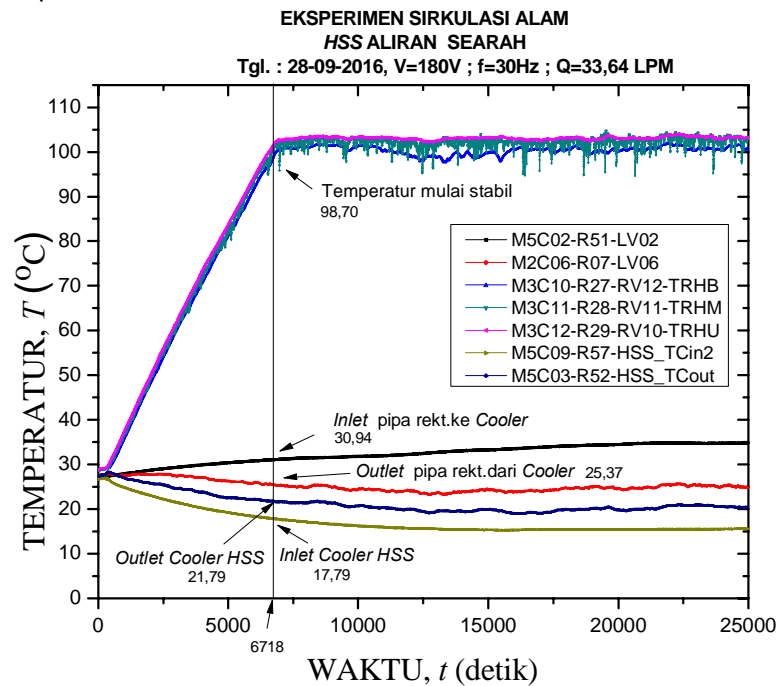
Pembuatan grafik, perhitungan dan analisis

Data temperatur di tangki *cooler* dan *heater* hasil eksperimen digunakan untuk membuat grafik hubungan antara temperatur selama eksperimen menggunakan *software Origin Pro 8.0* [11]. Kurva temperatur di tangki *heater* mulai stabil, akan digunakan untuk memulai perhitungan banyaknya kalor yang diserap atau diambil di tangki *cooler* dan dibuang ke lingkungan oleh untai HSS yaitu dengan persamaan (1). Nilai laju aliran massa (\dot{m}) untai HSS diperoleh dari laju aliran volumetrik rata-rata selama eksperimen (Q). Berdasarkan perhitungan terhadap data hasil eksperimen sirkulasi alam kondisi untai rektangular tanpa isolasi dengan HSS aliran searah dan berlawanan arah akan dilakukan analisis kemampuan pertukaran kalor di tangki *cooler*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil eksperimen sirkulasi alam menggunakan untai FASSIP kondisi untai rektangular tanpa isolasi dengan HSS aliran searah, dibuat grafik hubungan temperatur

selama eksperimen sesuai dengan matriks eksperimen menggunakan software Origin 8.0 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kurva temperatur selama eksperimen HSS aliran searah

Gambar 4 menunjukkan kurva temperatur selama eksperimen HSS aliran searah pada tegangan listrik pemanas 180 V dan frekuensi pompa HSS 30 Hz dengan laju aliran volumetrik rata-rata 33,64 LPM=33,64 dm³/min. Berdasarkan data nilai laju aliran volumetrik rata-rata akan diperoleh nilai laju aliran massa air (\dot{m}) sebesar 0,561 kg/det. Nilai kapasitas jenis air (c_p) pada temperatur rata-rata di tangki cooler, diperoleh 4,185 kJ/kg. C. Temperatur mulai stabil pada 98,7 C dengan waktu selama 6.718 detik, kemudian menarik garis secara vertikal dari titik temperatur stabil hingga memotong sumbu X, diperoleh temperatur air pendingin inlet HSS sebesar 17,79 C dan temperatur outlet HSS sebesar 21,79 C serta selisih temperaturnya (ΔT_{HSS}) sebesar 4,00 C. Untuk mengetahui kemampuan untai HSS dalam mengambil atau menyerap kalor dari untai rektanguler, dilakukan perhitungan jumlah kalor yang diserap di tangki cooler dengan menggunakan persamaan (1) yaitu :

$$q_{pf} = \dot{m} \cdot c_{p\text{air}} \cdot (\Delta T_{HSS}) \quad (2)$$

$$q_{pf} = 0,561 \times 4,185 \times 4,00 = 9,386 \text{ kW}$$

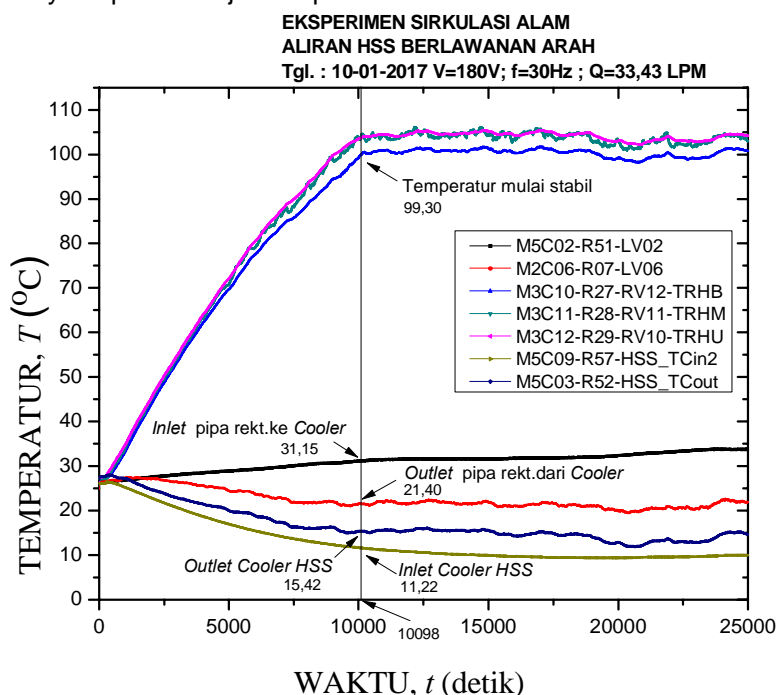
Dengan cara dan langkah yang sama diperoleh nilai jumlah kalor yang diserap di tangki cooler untuk tegangan listrik pemanas 170 V dan 160 V dengan tiga variasi frekuensi pompa HSS, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan perpindahan kalor (q_{pf}) HSS aliran searah

No. Tanggal	Tegangan elektrik heater, V	Frekuensi pompa, f	Laju aliran volumetrik rata-rata, Q	Laju aliran massa air, \dot{m}	Kapasitas jenis air, C_p	Temperatur inlet cooler HSS, T_i	Temperatur outlet cooler HSS, T_o	Selisih temperatur, ΔT_{HSS}	Jumlah Kalor yang diserap HSS, q_{pf} (kW)
	(V)	(Hz)	(dm ³ /min)	(kg/det)	(kJ/kg. C)	(C)	(C)	(C)	
1. 28-09-16	180	30	33,64	0,561	4,185	17,79	21,79	4,00	9,385
2. 29-09-16	180	40	43,01	0,717	4,184	19,80	23,80	4,00	11,996
3. 03-10-16	180	50	45,02	0,750	4,182	23,40	27,37	3,97	12,457

4.	06-10-16	170	30	33,41	0,557	4,185	17,45	21,65	4,20	9,788
5.	10-10-16	170	40	43,60	0,727	4,183	19,86	24,63	4,77	14,500
6.	11-10-16	170	50	44,88	0,748	4,183	21,36	26,07	4,71	14,735
7.	17-10-16	160	30	33,54	0,559	4,187	15,25	19,66	4,41	10,321
8.	18-10-16	160	40	42,99	0,717	4,187	15,45	20,06	4,61	13,828
9.	19-10-16	160	50	44,43	0,741	4,183	20,20	24,97	4,77	14,776

Data hasil eksperimen sirkulasi alam menggunakan untai FASSIP kondisi untai rectangular tanpa isolasi dengan HSS aliran berlawanan arah, dibuat grafik hubungan temperatur selama eksperimen, seperti cara dan langkah yang sama dengan HSS aliran searah dan hasilnya seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kurva temperatur selama eksperimen HSS berlawanan arah

Gambar 5 menunjukkan kurva temperatur selama eksperimen HSS aliran berlawanan arah pada tegangan listrik pemanas 180 V dan frekuensi pompa HSS 30 Hz dengan laju aliran volumetrik rata-rata 33,43 LPM=33,43 dm³/min. Berdasarkan data nilai laju aliran volumetrik rata-rata akan diperoleh nilai laju aliran massa air (\dot{m}) sebesar 0,557 kg/det. Nilai kapasitas jenis air (c_p) pada temperatur rata-rata di tangki cooler, diperoleh 4,191 kJ/kg.°C. Temperatur mulai stabil pada 99,3°C dengan waktu selama 10.098 detik, kemudian menarik garis secara vertikal dari titik temperatur stabil hingga memotong sumbu X, diperoleh temperatur air pendingin inlet HSS sebesar 11,22°C dan temperatur outlet HSS sebesar 15,42°C serta selisih temperaturnya (ΔT_{HSS}) sebesar 4,20°C. Untuk mengetahui kemampuan untai HSS dalam mengambil atau menyerap kalor dari untai rectangular, dilakukan perhitungan jumlah kalor yang diserap di tangki cooler dengan menggunakan persamaan (1) yaitu :

$$q_{cf} = \dot{m} \cdot c_{p_{air}} \cdot (\Delta T_{HSS}) \quad (3)$$

$$q_{cf} = 0,557 \times 4,191 \times 4,20 = 9,807 \text{ kW}$$

Dengan cara dan langkah yang sama diperoleh nilai jumlah kalor yang diserap di tangki cooler untuk tegangan listrik pemanas 170 V dan 160 V dengan tiga variasi frekuensi pompa HSS, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 2. Hasil perhitungan perpindahan kalor (q_{cf}) HSS aliran berlawanan arah

No.	Tanggal	Tegangan elektrik heater, V	Frekuensi pompa, f	Laju aliran volumetrik rata-rata, Q	Laju aliran massa air, \dot{m}	Kapasitas jenis air, C_p	Temperatur inlet cooler HSS, T_i	Temperatur outlet cooler HSS, T_o	Selisih temperatur, ΔT_{HSS}	Jumlah Kalor yang diserap HSS, q
		(V)	(Hz)	(dm ³ /min)	(kg/det)	(kJ/kg, °C)	(°C)	(°C)	(°C)	(kW)
1.	10-1-17	180	30	33,43	0,557	4,191	11,22	15,42	4,20	9,807
2.	11-1-17	180	40	40,23	0,671	4,188	13,42	17,83	4,41	12,385
3.	12-1-17	180	50	41,50	0,692	4,186	16,49	20,86	4,37	12,652
4.	16-1-17	170	30	23,85	0,398	4,192	9,31	15,68	6,37	10,614
5.	17-1-17	170	40	40,20	0,670	4,189	12,22	17,82	5,60	15,717
6.	18-1-17	170	50	42,21	0,704	4,185	17,09	22,45	5,36	15,780
7.	19-1-17	160	30	33,20	0,553	4,192	9,71	15,08	5,37	12,456
8.	23-1-17	160	40	41,20	0,687	4,186	15,28	20,66	5,38	15,465
9.	24-1-17	160	50	42,70	0,712	4,184	18,43	24,00	5,57	16,585

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah kalor yang diserap untai HSS seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2, maka diperoleh hasil perbandingan antara kedua macam aliran HSS yaitu aliran searah dan berlawanan arah dalam penyerapan kalor dari untai rektangular, seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan jumlah kalor yang diserap dari kedua macam arah aliran HSS

No.	Tegangan listrik heater, V	Frekuensi pompa, f	Jumlah Kalor yang diserap HSS aliran searah (<i>parallel flow</i>), q_{pf}	Jumlah Kalor yang diserap HSS aliran berlawanan arah (<i>counter flow</i>), q_{cf}	Selisih Kalor yang diserap ($q_{cf} - q_{pf}$)
	(V)	(Hz)	(kW)	(kW)	(kW)
1.	180	30	9,386	9,807	0,422
2.	180	40	11,996	12,385	0,389
3.	180	50	12,457	12,652	0,195
4.	170	30	9,788	10,614	0,827
5.	170	40	14,500	15,717	1,217
6.	170	50	14,735	15,780	1,045
7.	160	30	10,321	12,456	2,135
8.	160	40	13,828	15,465	1,637
9.	160	50	14,776	16,585	1,810

Pada Tabel 3 terlihat jumlah kalor yang diserap oleh untai HSS aliran berlawanan arah (*counter flow*) lebih besar dibandingkan dengan jumlah kalor yang diserap oleh untai HSS aliran searah (*parallel flow*). Tegangan listrik dari trafo yang diberikan ke elemen pemanas pada tangki heater ada 3 variasi tegangan listrik yaitu 180, 170 dan 160 V dan 3 variasi frekuensi pompa di untai HSS yaitu 30, 40 dan 50 Hz, terlihat untuk setiap tegangan listrik yang sama, semakin besar frekuensi pompa HSS, maka semakin besar jumlah kalor yang diserap untai HSS. Perbedaan jumlah kalor yang diserap untai HSS paling besar adalah 2,135 kW, ketika tegangan listrik 160 V, dan frekuensi pompa HSS 30 Hz. Sedangkan perbedaan jumlah kalor yang diserap untai HSS paling kecil adalah 0,195 kW,

ketika tegangan listrik 180 V, dan frekuensi pompa HSS 50 Hz. Berdasarkan jumlah kalor yang diserap pada kedua macam aliran HSS, terlihat semakin besar laju aliran volumetrik HSS dari ketiga variasi tegangan listrik pemanas, maka semakin besar juga jumlah kalor yang diserap. Nilai jumlah kalor yang diserap paling besar adalah 16,585 kW terjadi pada tegangan listrik 160 V yang disuplai ke elemen pemanas untuk memanaskan air di tangki heater dengan arus listrik yang mengalir rata-rata sebesar 26,5 A, dan laju aliran volumetrik rata-rata di untai HSS sebesar 42,70 LPM pada HSS aliran berlawanan arah.

KESIMPULAN

Banyaknya kalor yang diserap di tangki cooler oleh untai HSS aliran berlawanan arah (*counter flow*) lebih besar dibandingkan dengan untai HSS aliran searah (*parallel flow*) yaitu terjadi pada daya pemanas di tangki heater sebesar 4,24 kW dan laju aliran volumetrik rata-rata di untai HSS sebesar 42,70 LPM pada HSS aliran berlawanan arah, pada eksperimen sirkulasi alam menggunakan fasilitas untai FASSIP kondisi untai rektanguler tanpa isolasi. Semakin besar laju aliran volumetrik HSS, maka semakin besar juga jumlah kalor yang diserap di tangki cooler.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh DIPA-PTKRN tahun anggaran 2015-2016 dan ucapan terimakasih kepada rekan-rekan Subbidang Fasilitas Termohidrolika – BPFKR atas terselenggaranya kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. BATAN, "Rencana Strategik BATAN tahun 2015-2019", BATAN, Jakarta (2015).
2. IAEA-TECDOC-1264, "Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants", IAEA, November, Vienna (2009).
3. WANG YAN, "Preliminary Study for The Passive Containment Cooling System Analysis of The Advanced PWR", Energy Procedia 39, pp,240-247 (2013).
4. MULYA JUARSA, GIARNO, G.B. HERU K., DEDY HARYANTO, JOKO PRASETIO, "Passive system simulation facility (FASSIP) loop for natural circulation study", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir (2016).
5. GIARNO, MULYA JUARSA, G.B.HERU K, JOKO PRASETIO W, "Perancangan sistem *heat-sink* untai FASSIP-01 menggunakan *software Cycle-Tempo*", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir (2015).
6. HILARY D, BREWSTER, "Fluid Mechanics", Oxford Book Company, Jaipur, India (2009).
7. GIARNO, G.B.HERU K, JOKO PRASETIO W, MULYA JUARSA, "Karakterisasi *Pre-cooler* sebagai Sistem *Heat Sink* Pada Untai Fassisip-01", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir (2016).
8. J. VIKAS et al., "Experimental investigation on the flow instability behavior of a multichannel boiling natural circulation loop at low-pressures", Experimental Thermal and Fluid Science, Vol. 34, pp.776–787 (2010).
9. YUNUS A.CENGEL, MICHAEL A, "Thermodynamics An Engineering Approach", 6th Edition, McGraw-Hill Book, New York, USA (2007).
10. Software Water 97_v13, Steam Table (1997).
11. Software Origin Pro 8.0, OriginLab Corporation, USA (2010).

DEVELOPMENT OF INSTRUMENTATION AND CONTROL SYSTEM AT CREEP MACHINE USING LABVIEW SOFTWARE

**Kussigit Santosa, Sudarno, Agus Nur Rahman, Kiswanta,
Geni Rina Sunaryo, Deswandri**

*Pusat Teknologi Dan Keselamatan Reaktor Nuklir
Kawasan Puspptek Gd 80, Serpong 15310, Tangerang Selatan
Email: kussigit@yahoo.com*

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF INSTRUMENTATION AND CONTROL SYSTEM AT CREEP MACHINE USING LABVIEW SOFTWARE. Creep machine on Mechanical Test Facility Laboratory (FUM) BPFKR is an important test tool that one of its functions is to predict the remaining life a component of the installation of nuclear power plants. This estimated life expectancy can be done by studying the characteristics of the elongation properties of the component material to the pressure or load on it at high temperatures (40% of the melting point). For operating temperature determination, this is still done manually, either during calibration or at the time of setting. The integration of this temperature control system in the computerized developed control system is needed to improve the system performance. The purpose of this integration is to simplify and improve the efficiency of data acquisition and time efficiency so that further research can be more easily done. The research methodology used consists of four stages. The first stage is study the existing creeps design and parameters. The second step is to determine the parameters which will be controlled to facilitate further processing. The third stage is determining the electronic module to be used in signal processing used. The modules are Ni 9074, Ni 9213 and Ni 9476. The last step is to create a data acquisition system by assembling the selected modules with the Lab VIEW software. The results of this activity is an easier control system, integrated data processing which has an error rate of 0.04%, then in the future processing of data and further control will be easier.

Keywords: *Creep machine, LabVIEW, Temperature control.*

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM INSTRUMENTASI DAN KENDALI PADA MESIN CREEP MENGGUNAKAN PERANGKAT LUNAK LABVIEW. Mesin creep pada Fasilitas Uji Mekanik (FUM) BPFKR merupakan alat uji penting yang salah satu fungsinya adalah memperkirakan sisa umur suatu komponen pada instalasi PLTN. Perkiraan sisa umur ini dilakukan dengan mempelajari karakteristik sifat mulur dari komponen bahan tersebut terhadap tekanan atau beban yang mengenainya pada temperatur tinggi (40% dari titik leburnya). Untuk penetapan temperatur operasi, saat ini masih dilakukan secara manual, baik pada saat kalibrasi maupun pada saat penyetelan. Untuk meningkatkan kinerja sistem, dilakukan pengintegrasian kendali temperatur pada sistem kendali yang akan dikembangkan. Tujuannya adalah untuk meningkatkan efisiensi, baik efisiensi akuisisi data maupun efisiensi waktu. Sehingga penelitian lebih lanjut bisa lebih mudah dilakukan. Metodologi penelitian yang digunakan adalah pertama mempelajari desain dan parameter-parameter yang ada pada mesin creep. Langkah kedua menentukan parameter yang akan dikendalikan untuk mempermudah pengolahan lebih lanjut. Langkah ketiga adalah menentukan modul elektronik yang digunakan. Modul ini berupa modul Ni 9074, modul Ni 9213 dan modul Ni 9476. Langkah terakhir adalah membuat sistem akuisisi data dengan merangkai modul-modul tersebut diatas beserta perangkat lunak labVIEW. Hasil dari kegiatan ini adalah berupa sistem kendali, pengolahan data yang terintegrasi yang mempunyai tingkat kesalahan sebesar 0,04% dan lebih mudah digunakan dari pada sebelumnya, sehingga pengolahan data dan kendali lebih lanjut menjadi lebih mudah.

Kata kunci: *Mesin Creep, LabVIEW, Kendali temperatur.*

INTRODUCTION

Creep is defined as a time-dependent stretch. The elongation occurs as a result of slow deformation of a material that acting under constant load at high temperature conditions. The Creep can occur at various temperatures. but the ideal range occurs at temperatures between 40% to 60% of the material melting point [1].

Along with the current technological developments, various equipment have been designed in digital systems with various facilities and conveniences. However, due to technical and economic considerations, many analog devices are still use today. One of the many equipment at mechanical test laboratory facilities is a Creep machine test. This Creep testing machine is used to determine the resistance of a material to a certain load and temperature conditions simultaneously.

With this the existing system, the utilization of the machine is less and many obstacles encountered in the usage and as the development of the need of automatization [2,3]. To overcome these problems development of a digital data acquisition system on the creep machine (analog) is needed [4,5,6].

The integration of the temperature control into a single instrumentation control is carried out both in the hardware and the software. The advantages gained from this system include the usage of the creep engine is more optimal. and allows to set the desired operating temperature be integrated through a PC Computer. The result of this instrumentation and control system development activities is to make the easier temperature control system which associated with the creep machine tool.

Ni 9074 Module

This module is the main input-output module that produced by the National Instruments. The relationship between the modules must be in accordance with the specifications of each module [3]. This module consists of 7 slots which each slot can be accessed on its own as shown in Figure 1.



Figure 1. Ni 9074 Module [7]

Ni 9213 Module

This module is a signal conditioning as well as reinforcement. The thermocouples that can be installed in this module are type J, K, T, E, N, B, R and S. This module has 16 channels. In this activity, the Ni 9213 module receives input signals originating from K type thermocouple sensors which having a measurement range of -200 °C to 1250 °C [4]. The shape of this module can be seen in Figure 2.

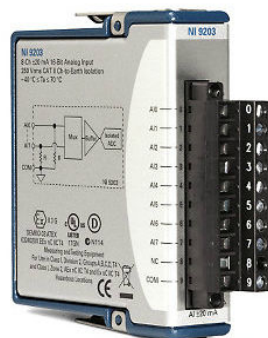


Figure 2. Ni 9213 Module [8]

Ni 9476 Module

This module is an interface module used for a digital signal control or an on-off signal. This module has 32 channels and operates at a maximum voltage of 24 Volts. This module can be seen in Figure 3.



Figure 3. Ni 9476 Module [9]

Configuration of the connection to Ni 9476 module to device such as Solid State Relay (SSR) and power supply can be seen in Figure 4.

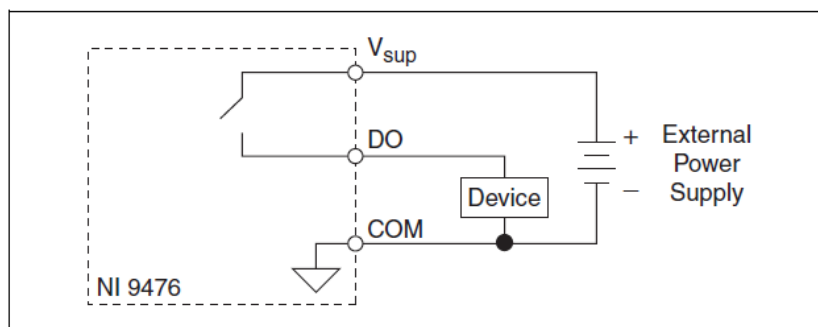


Figure 4. Configuration of the output pin on Ni 9476 to device [9]

Solid State Relay (SSR)

Solid State Relay (SSR) is an electronic switch-which has no mechanically moving parts. Some types of SSRs include photo-coupled SSRs and coupled transformers SSR. A photo is incorporated SSR and controlled by optically isolated low voltage signals from the load. The control signal in an image usually associated with an SSR is a led that activates a photo diode to activate the load. One example of SSR can be seen in Figure 5.



Figure 5. Solid State Relay

METHODOLOGY

The first stage is to study the specifications of the modules and materials to be used. After all modules and materials are ready then the second stage is to assemble the modules and materials according to the thermocouple specifications and functions the digital output input module, the power supply, the solid state relay and the K-type thermocouple sensor temperature. The next stage is to make the driver program using the 2011 LabVIEW version software. The last step is verification and calibration, when the measurement results are compared to the setting or standard values. Furthermore, correlation and correction factor are identified. The configuration of the control system and instrumentation can be shown in Figure 6.

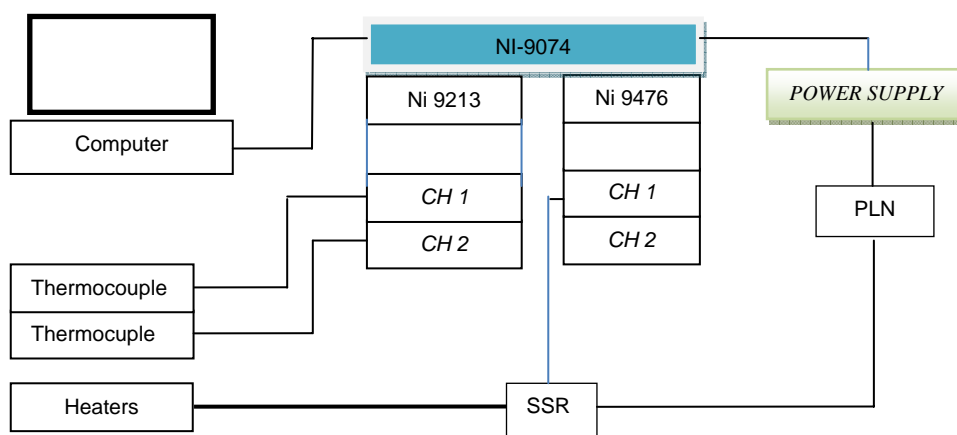


Figure 6. Block diagram control and instrumentation system [10]

RESULTS AND DISCUSSION

Each creep testing machine in the laboratory of Mechanical Testing Facility (FUM) contains two thermocouples of K type. The operating range of this thermocouple is -200 °C to 1.250 °C. While the NI 9476 module is a digital I / O module and functions as a switch. This switch will operate when the signal coming from the creep test machine becomes larger or smaller than the specified signal. In general, temperature control is carried out by this module as follows. the input signal of NI 9476 module is true or false digital quantity (T / F). This signal comes from a comparison operation between the signals coming from the thermocouple sensor with a predetermined value (setting). The output of this module depends on the input configuration. The output value of T or F. T means the output of this module will trigger SSR (Solid State Relay) to turn the heater on or off.

The results of automation and control testing by integrating temperature control on PC computer can be seen in Table 1.

Table 1. The results of the experiment

Setting(°C)	T1(°C)	T2(°C)	T3(°C)	T4(°C)	T5(°C)	Mean(°C)
100	100.050	100.010	100.000	100.124	100.045	100.046
125	124.500	125.050	124.890	125.011	124.098	124.710
150	149.560	150.010	150.000	149.898	150.045	149.903
175	175.000	175.023	174.963	174.785	174.729	174.900
200	200.000	200.023	199.963	199.672	199.729	199.878
225	224.060	225.023	224.963	224.559	224.729	224.667
250	251.000	250.023	249.963	249.446	249.729	250.032
275	275.226	275.023	274.963	274.333	274.729	274.855
300	300.312	300.023	299.963	299.220	299.729	299.850

325	325.398	325.023	324.963	324.107	324.729	324.844
350	350.484	350.023	349.963	348.994	349.729	349.839
375	375.570	375.023	374.963	373.881	374.729	374.833
400	400.656	400.023	399.963	398.768	399.729	399.828
425	425.742	425.023	424.963	423.655	424.729	424.823
450	450.828	450.023	449.963	448.542	449.729	449.817
475	475.914	475.023	474.963	473.429	474.729	474.812
500	501.000	500.023	499.963	498.316	499.729	499.806
525	526.086	525.023	524.963	523.203	524.729	524.801
550	551.173	550.023	549.963	548.090	549.729	549.796
575	576.259	575.023	574.963	572.977	574.729	574.790
600	601.345	600.023	599.963	597.864	599.729	599.785

The result in Graphic can be shown in Figure 7.

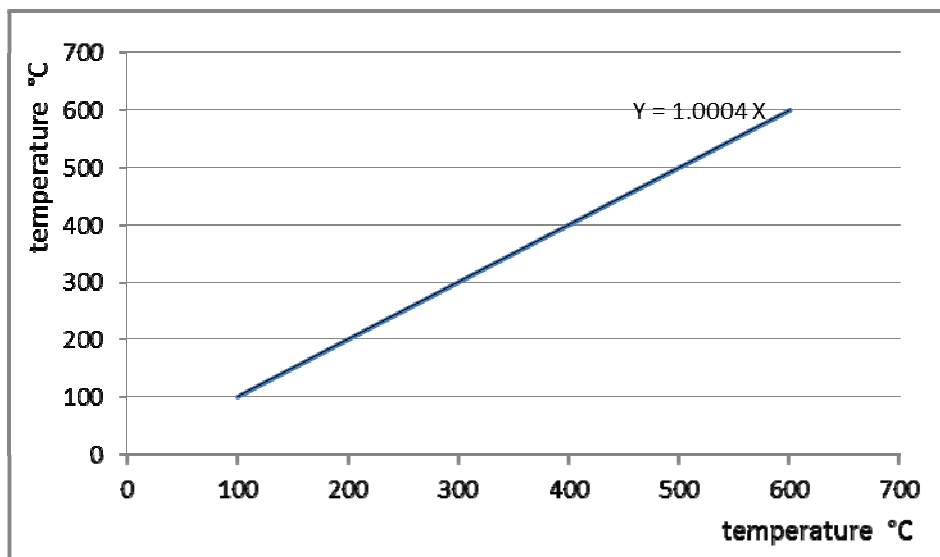


Figure 7. The results of the experiment

Figure 7 showed the relationship of the temperature setting with the temperature of achievement on the creep test machine. The result of this calculation is a linear equation line with a slope of 1.0004 showed in Line $Y = 1.0004X$. Where X is the setting temperature and Y is the experiment result temperature at the creep test machine. In other words the error is 0.04%. For experimental function test will be done on the next research.

CONCLUSION

From the result and discussion it can be concluded that by integrating temperature control through PC Computer obtained error value equal to 0.04%. So that the development of instrumentation and control system using LabVIEW software can be used as it should be. To test the actual experiment function will be done on next research next year.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank our fellows in BPFKR who have helped us in conducting this research. This research is funded by DIPA PTKRN fiscal year 2016.

REFERENCES

1. SRI NITISWATI Dkk., "Penguujian Sifat Mullur Material Komponen Pembangkit Energi", Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Nuklir-IV, ISSN No.: 1410-0533, Serpong (1999).
2. KUSSIGIT S., "Aplikasi Labview berbasis *Field Programmable Gate Array* (FPGA) Ni cRIO 9074 pada Sistem Pengukuran Temperatur Heating-02", Prosiding Seminar Nasional ke-19 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir Yogyakarta, Yogyakarta (2013).
3. KUSSIGIT S., Sudarno, Agus N.R., " Analysis Aging RSG-GAS Reactor Protection System Using Drift Signal Characterization ", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016 , BATAM (2016).
4. WEIJI WANG, "Introduction to Digital Signal and System Analysis", Bookboon.com (2012)
5. JOH. S. WILSON," Sensor Technology Handbook", Copyright © 2005, Elsevier Inc.(2005)
6. William C. Dunn, "Introduction to Instrumentation, Sensors, and Process Control", Copyright © 2006 ARTECH HOUSE, INC(2006)
7. National Instruments™, "OPERATING INSTRUCTIONS AND SPECIFICATIONS CompactRIO™ cRIO-9074", (2010).
8. National Instruments™, "OPERATING INSTRUCTIONS AND SPECIFICATIONS Ni 9213", (2009).
9. National Instruments™, "OPERATING INSTRUCTIONS AND SPECIFICATIONS Ni 9476", (2008).
10. National Instruments™, "Tutorial. manual LABVIEW", (2011).

SENSITIVITY AND UNCERTAINTY ANALYSIS OF J INTEGRAL CALCULATION OF THE RELIABILITY ASSESSMENT OF REACTOR PRESSURE VESSEL

Entin Hartini, Roziq Himawan, Abdul Hafid, Deswandri, Geni Rina Sunaryo
Center for Nuclear Reactor Technology and Safety, Kawasan Puspiptek,
Tangerang Selatan, 15310
Email: entin@batan.go.id

ABSTRACT

SENSITIVITY AND UNCERTAINTY ANALYSIS OF J INTEGRAL CALCULATION OF THE RELIABILITY ASSESSMENT OF REACTOR PRESSURE VESSEL. The structural reliability of the reactor pressure vessel (RPV) is one aspect that must be considered in the safety analysis of the reactor. J integral calculation was conducted for structure reliability due to the cracks presence. In understanding the uncertainties that affect the output of the analysis, the evaluation of the uncertainty and sensitivity of the input variables need to be done. In the calculation of J integral input uncertainties variable involving physical variables for the loading condition that the internal pressure and material properties. The purpose of this study is to conduct a sensitivity analysis then to compare influence of the uncertainty of the outcome variable to output. RPV J integral calculation in 2D with initial crack modeled using MSC MARC. The calculation of input uncertainty was used simulation-based probabilistic density function (PDF). Then a sensitivity analysis using a variant of the conditional expectation was performed. The obtained results are stress intensity factor (SIF) to include the uncertainty of the load input will first reach the limit value of the fracture toughness ($100 \text{ MPa m}^{0.5}$) compared with the input uncertainty elasticity modulus. Based on the evaluation of the sensitivity value, the uncertainty of the load input heavily influence the integral J by 93.86% compared to the uncertainty of input on elasticity modulus.

Keywords: Uncertainty, sensitivity, J integral, MSC MARC

ABSTRAK

ANALISIS KETIDAKPASTIAN DAN SENSITIVITAS PADA PERHITUNGAN J INTEGRAL UNTUK EVALUASI KEANDALAN REAKTOR PRESSURE VESSEL. Keandalan struktur dari reactor pressure vessel (RPV) merupakan salah satu aspek yang harus diperhatikan dalam analisis keselamatan reaktor. Perhitungan J integral dilakukan pada analisis keandalan struktur akibat adanya retak. Dalam memahami berbagai ketidakpastian yang mempengaruhi hasil analisis, maka evaluasi ketidakpastian dan sensitivitas variabel input perlu dilakukan. Pada Perhitungan J integral variabel ketidakpastian input melibatkan variabel fisik untuk kondisi pembebanan yaitu pressure internal dan material properties. Tujuan dari makalah ini adalah melakukan analisis sensitivitas untuk membandingkan seberapa besar pengaruh ketidakpastian dari variabel tersebut terhadap hasil output. Perhitungan J integral pada RPV dimodelkan 2D dengan initial crack menggunakan MSC MARC. Sedangkan perhitungan ketidakpastian input menggunakan simulasi berbasis probabilistic density function (PDF). Selanjutnya dilakukan analisis sensitivitas menggunakan varian dari ekspektasi bersyarat. Hasil yang diperoleh adalah stress intensity factor SIF dengan menyertakan ketidakpastian input pada load akan lebih dulu mencapai nilai limit dari fracture toughness ($100 \text{ MPa m}^{0.5}$) dibanding dengan ketidakpastian input elastisitas modulus. Berdasarkan evaluasi nilai sensitivitas, maka ketidakpastian input pada load sangat berpengaruh terhadap hasil J integral sebesar 93,86% dibanding ketidakpastian input pada elastisitas modulus.

Kata kunci: Ketidakpastian, sensitivitas, J integral, MSC MARC

INTRODUCTION

Reactor pressure vessel in Pressurized Water Reactor (PWR) serves as the third of confinement of radioactive material produced in the process of chain reaction. Integrity assessment methods of reactor pressure vessel wall based on deterministic fracture mechanics techniques have been developed. The model equations and the initial conditions of a system on prediction of the probability of failure is not precisely known. Probabilistic methods are used to calculate a margin of safety to take into account the uncertainty of input that will affect the value of output [1-3]. Integrity assessment by probabilistic fracture mechanics is a specific analysis for reactor pressure vessel subjected to pressurized thermal shocks [4]. Development of probabilistic fracture mechanics analysis codes for reactor pressure vessels considering residual stress [5]. Uncertainty analysis covers physical variables of internal pressure conditions and material properties. Uncertainty analysis using sampling technique based of probability density function [6-7]. Therefore the sensitivity of these variables will be analyzed. The sensitivity analysis was conducted to understand the effect of each variable input uncertainty on the value of output [8].

In calculation the fracture mechanics of the reactor pressure vessel, material properties and loading are considered as uncertainty factor. Evaluation of the integrity of the reactor pressure vessel with fracture mechanics analysis was performed by a probabilistic method. This study focuses on the evaluation of the integrity of two-dimensional (2D) model pressure vessel wall to the internal pressure conditions and there are cracks in the surface of the circumferencial direction [9-11].

The sample was the wall plate (2D) of the PWR pressure vessel that is material ferritic steel (SA 533). The load is distributed in component that works on the walls with pressure p at 75 MPa. Internal pressure during operation of the reactor is 14MPa - 17MPa. Generation of variable data using value base probability are modulus elastisity and load. The data generation were performed by developing computer program. In this paper, sensitivity analysis of the input uncertainties were performed to show the effects of loading and modulus elastisity. The evaluations were performed on how big the influence of uncertainty on each input variable to an output value [8,12]. Calculation of fracture mechanics (J integral) were performed using the MSC MARC software [13].

THEORY

J-integral for 2-D deformation field (plane strain, plane stress) with pressure p depending on Cartesian coordinates (x, y) . circumferencial semi-elliptic for inner surface defects assumed for each model. The effect of thermal loads and pressure loads in the area of the crack can be included in the calculation of the J-integral. Stress intensity factor formula is [14]:

$$K_I = \sqrt{\frac{EJ}{1 - \nu^2}} \quad (1)$$

where

K_I = Stress intensity factor

E = Elasticity modulus

J = J- Integral

ν^2 = Poisson ratio

The various sources of uncertainty J Integral Calculation of Reliability Assessment RPV would be explained in this paper. The sources of uncertainty can be classified into three distinct types of uncertainty-the physical or natural, data and model as shown in Figure 1. Sources of error and uncertainty that are included in this paper to illustrate the methodology are load and material properties ie: elasticity modulus. Sources of model uncertainty is not considered here.

Uncertainty Methods use enhanced sampling strategy which enables a reliable approach to stochastic nature of even a small number N . The method provide design points scattered throughout the design space. Uncertainty Methods can be summarized as [15]:

1. Dividing the cumulative curve in the same interval on the cumulative distribution N each parameter.

2. A probability value then randomly selected from each interval of parameter distribution

$$prob_i = (1/N)r_u + (i-1)/N \quad (2)$$

In the interval i , where r_u uniformly distributed random number vary over the range $[0; 1]$

3. Use the inverse cumulative distribution function (CDF) to map the probability values into the design space as:

$$x = F^{-1}(prob) \quad (3)$$

4. Where F^{-1} showed inverse CDF.

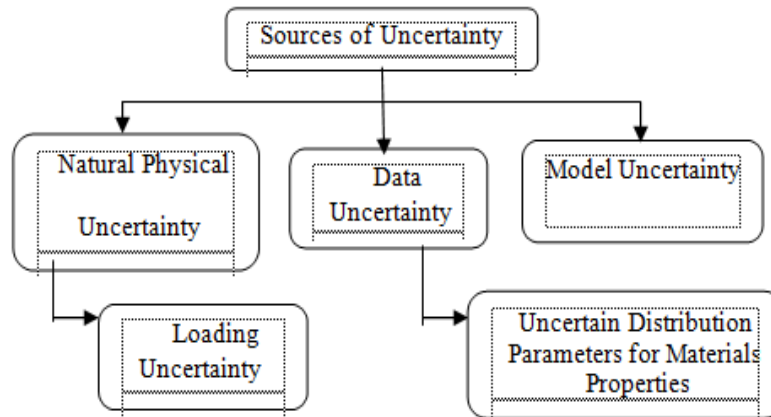


Figure 1. Sources of Uncertainty [6]

Measurement of sensitivity is essential to the input uncertainty for measuring uncertainty in the response. Sensitivity is important information that provide guidance on how to improve the situation and reduce the uncertainty of the most effective output, or to better understand the modeling. The sensitivity analysis could be distinguished in two types as below:

- 1) Local sensitivity analysis based on differential analysis and non probabilistic tool
- 2) Global sensitivity analysis with the aim of ranking the parameters according to their contribution on the code response to variance, based on the variance of conditional expectation.

To divide the variation in output on different parameters, many techniques can be used. Each of these techniques will produce different sizes of sensitivity. A common approach is to base the analysis of the sensitivity of the linear regression method, which is based on the hypothesis of a linear relationship between the response and feedback parameters. This method is simple and fast, and provides important insights in the case of small sample size. The problem of sensitivity analysis for modeling with dependant inputs is a real one, and concerns the interpretation of sensitivity indices values. The usual sensitivity measure from the variance of conditional expectation [16]:

$$S_j = \frac{V(E[Y / X_j])}{V(Y)} \quad (4)$$

where

$V(E[Y / X_j])$ = variance Y of condition expectation X_j

$V(Y)$ = variance of Y

in case of $Y=f(X_1, \dots, X_p)$. When inputs are statistically independent, the sum of these sensitivity indices is equal to 1.

METHODOLOGY

The procedure in this study is shown in Figure 2. First phase is preprocessor to build the model and meshing, material properties and initial crack, which the input file for MSC MARC according to specification shown in Table 1. The initial crack determination was performed to examine the critical crack length. The sample was the wall plates (2D) of the

PWR pressure vessel that is material ferritic steel (SA 533). The load is distributed in component that works on the walls with pressure p at 75 MPa. Internal pressure during operation of the reactor is in the range of 14MPa - 17MPa.

Generation of variable data using value base probability are elasticity modulus and load. Probability density function in the generation of data for the modulus of elasticity and load is shown in Table 2. The data generation were performed by developing computer code that has been done in previous research. Twenty data generated in this process, will then be used to replace the value of the load and modulus of elasticity alternately on the calculation of J Integral (post processor phase). The next step is to perform a sensitivity analysis to determine the input parameters that most influence on the output value due to the uncertainty value.

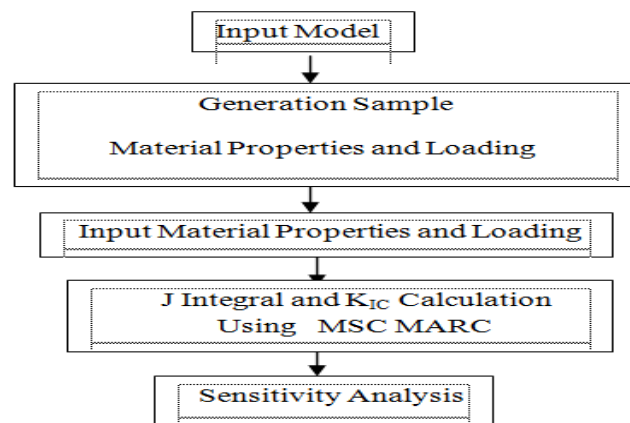


Figure 2. Research Flow Diagram

Table 1. Geometry and Material Properties

Variable	Value
Length	5000 mm
Width	1000 mm
Initial crack length	200 mm and 300 mm
Elastisity modulus	1.92e5 M.Pa
Poison ratio	0.3

Table 2. Distribution Parameter

Variable	Distribution	Parameter
Load	Uniform	(14MPa -17MPa)
Elastisity Modulus	Normal	(1.92e5Pa, 9.6e3Pa)

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis results of J integral calculation for RPV wall of crack length 300 mm is shown in Figure 3. From this figure, it is known that the J integral value is 0.04832. From the J integral value using equation (1), then the SIF value can be calculated. Therefore SIF value will be compared to fracture toughness for evaluated of the integrity of RPV wall.

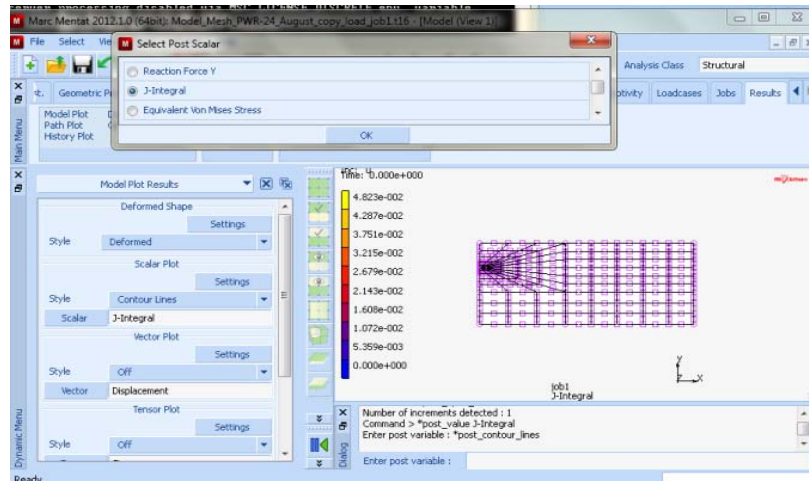


Figure 3. J Integral Result of The RPV wall

Simulation of 20 samples of modulus of elasticity in normal distribution (μ, σ) with mean value and deviation (μ, σ) are ($1.92e5, 9600$) and 20 samples of loading in uniform distribution (min, max) to the minimum value of 14 and maximum value of 17. The result of 20 generations of these samples will be used for the calculation of J integral with uncertainty for crack length 200mm and 300mm as shown in Figure 4-5.

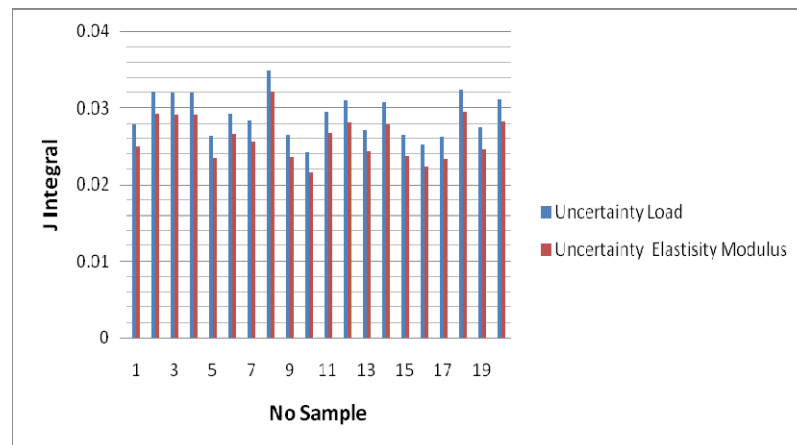


Figure 4. J Integral Value for Crack length 200mm

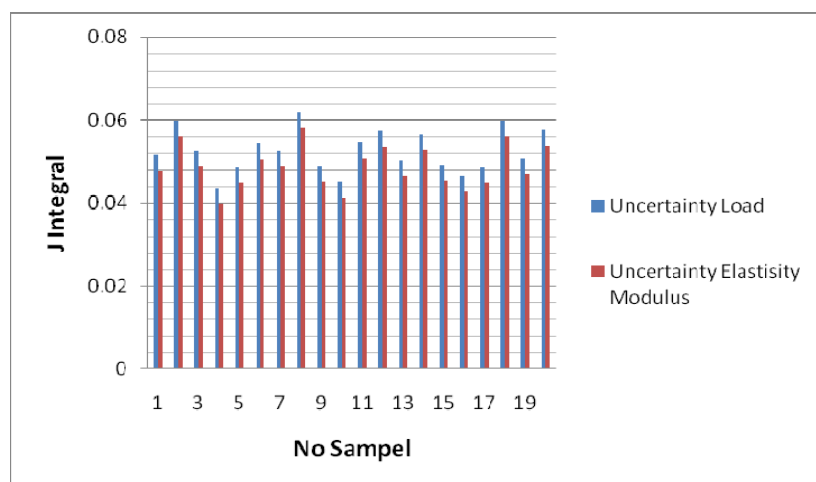


Figure 5. J Integral Value for Crack Length 300mm

Table 3. Average value of J Integral

Crack Length	J Integral Without Uncertainty	J Integral With Uncertainty of Load	J Integral With Uncertainty of Elasticity Modulus
200 mm	0.02607	0.02904	0.02626
300 mm	0.04832	0.05252	0.04860

The simulation results for the J Integral without the uncertainty and the average value of J integral including uncertainty to crack 200mm and 300mm length shown is in Table 3. From Table 3 calculated value of the stress intensity factor and the results SIF for a crack length of 200 mm and 300 mm with uncertainties included input load are: 78.276 MPa m^{0.5} and 105.268 MPa m^{0.5}, while SIF included input uncertainties elasticity modulus are: 76.531 MPa m^{0.5} and 103.976. SIF without including the uncertainty of inputs are 74.165 MPa m^{0.5} and 100.97 MPa m^{0.5}. SIF value is shown in Figure 6.

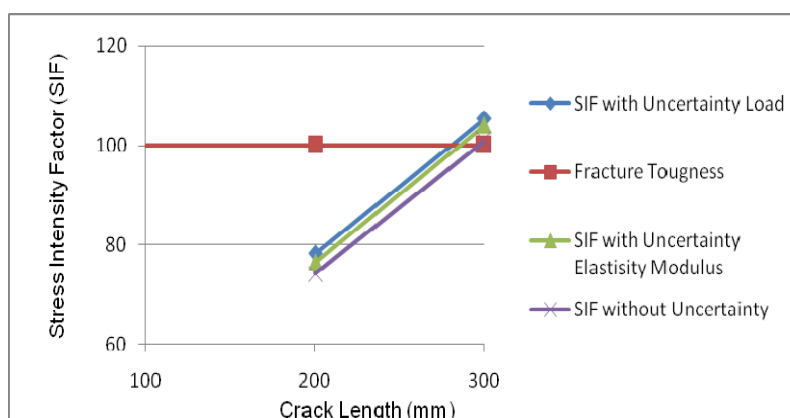


Figure 6. Stress Intensity Factor Value

Figure 6 shows that the SIF including input uncertainties separately for load and elasticity modulus are greater than without enclosing the uncertainty of input (deterministic). SIF with uncertainties include input reaches the limit value (100 MPa m^{0.5}) of the fracture toughness earlier than the method without including the uncertainty.

Table 4. Sensitivity Load and Modulus Elasticity

Parameter	Sensitivity (%)		Mean
	Crack Length 200 mm	Crack Length 300 mm	
Load	93.92	93.86	93.86
Elasticity Modulus	6.08	6.14	6.11

From the J integral calculation in Table 3, the sensitivity analysis of the uncertainty of input from modulus elasticity and load to the output can be calculated.

The results of the sensitivity calculations are shown in Table 4. Based on the sensitivity values in Table 4, it appears that the change in the value of the load is very influential on the results of J integral of 93.86% compared to the change in the value of elasticity modulus.

CONCLUSION

Analysis of sensitivity and uncertainty in the calculation of J Integral to the PWR pressure vessel wall (2D) has been performed. From the results it can be concluded that uncertainty calculation load input on heavily influence the integral J by 93.86% were compared to elasticity modulus.

ACKNOWLEDGMENT

My appreciation to BATAN on the budget allocation in this research through DIPA PTKRN -BATAN 2015.

REFERENCES

1. Bo-Yi Chen, Chin-Cheng Huang, Hsoun-Wei Chou, Hsien-Chou Lin, Ru-Feng Liu, Tung-Li Weng, Han-Jou Chang, Reactor pressure vessel integrity assessment by probabilistic fracture mechanics a plant specific analysis, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 117:64-69, (2014).
2. Shuxiao Li, Hailong Zhang, Shilei Li, Yanli Wang, Fei Xue, Xitao Wang, Probabilistic fracture mechanics analysis of thermally aged nuclear piping in a pressurized water reactor, *Nuclear Engineering and Design*, 265: 611– 618, (2013).
3. Hans-Werner Viehrig , Eberhard Altstadt, Mario Houska , Matti Valo , Fracture mechanics characterisation of the beltline welding seam of the decommissioned WWER-440 reactor pressure vessel of nuclear power plant Greifswald Unit 4, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 89:126-139, (2012).
4. F. González-Albuixech, G. Qian, M. Niffenegger, "Integrity analysis of reactor pressure vessels subjected to pressurized thermal shocks by XFEMV", *Nuclear Engineering and Design*, 275: 336–343, (2014).
5. Kunio Onizawa, Hiroyuki Nishikawa, Hiroto Itoh, Development of probabilistic fracture mechanics analysis codes for reactor pressure vessels and piping considering welding residual stress, *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 87: 2–10, (2010).
6. Shankar Sankararaman, You Ling, Sankaran Mahadevan, Uncertainty quantification and model validation of fatigue crack growth prediction, Department of Civil and Environmental Engineering, Vanderbilt University, Nashville, TN 37235, United States, *Engineering Fracture Mechanics* , 78:1487–1504, (2011).
7. Shankar Sankararaman, You Ling, Sankaran Mahadevan, Dusko Kancev, Gasper Zerovnik, Marko Cepin, Uncertainty analysis in the nuclear industry: Analytical unavailability modelling incorporating ageing of safety components, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25: 643 – 649, (2012).
8. C.B. Storlie and J.C. Helton. Multiple predictor smoothing methods for sensitivity analysis: Description of techniques. *Reliability Engineering and System Safety* 93:28-54, (2008).
9. Entin Hartini, Roziq Himawan, Mike Susmikanti, "Uncertainty Analysis on Fracture Mechanics Assessment of Reactor Pressure Vessel : (2D) Subjected to Internal Pressure", *Tri Dasa Mega*, Vol. 18 No, ISSN 1411-240X, (2016)
10. Mike Susmikanti, Roziq Himawan, Abdul Hafid, Entin Hartini, "Evaluation On Mechanical Fracture of PWR Pressure Vessel and Modelling Based on Neural Network", *Tri Dasa Mega*, ISSN 1411-240X, Vol. 18 No. 2, 2016.
11. Roziq Himawan, Mike Susmikanti, "Circumferential Inhomogeneity Analysis In G.A Siwabessy Reactor's Primary Cooling Pipe" *Tri Dasa Mega*, ISSN 1411-240X, Vol. 18 No. 3, 2016
12. Rudy Chocat, Paul Beaucaire, Loïc Debeugny, Jean-Pierre Lefebvre, Caroline Sainvitu, Piotr Breitkopf, Eric Wyart, 'Reliability Analysis in Fracture Mechanics According to Combined Failure Criteria', *European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, ECCOMAS Congress*, (2016).
13. MSC Software "User's Guide Marc 2012", USA, (2012).
14. A.Gopichand, Y.Srinivas, A.V.N.L. Sharma, Computation Of Stress Intensity Factor Of Brass Plate With Edge Crack Using J- Integral Technique, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 2012;01:261-266.
15. Miroslav Vorechovsky, "Hierarchical Refinement of Latin Hypercube Samples", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 29: 1–18, (2014).
16. B. Iooss and M. Ribatet, "Global sensitivity analysis of computer models with functional inputs", *Reliability Engineering and System Safety*, 94:1194-1204, (2009).

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: Rahayu Kusumastiti (PTKRN–BATAN)

- Untuk sumber ketidakpastian, selain ketidakpastian parameter loading dan parameter distribusi untuk material properties, adakah parameter lain yang bisa mempengaruhi nilai output?

JAWABAN: Entin Hartini (PTKRN - BATAN)

- Selain ketidakpastian parameter loading dan material properties ada ketidakpastian lain yang dapat mempengaruhi output, diantaranya ketidakpastian parameter geometri dan ketidakpastian model.

MODIFIKASI *PRE-HEATER* MENJADI *PRE-COOLER* PADA UNTAI UJI BETA

Joko Prasetio W, Dedy H, Mulya Juarsa, Edy Sumarno, Geni Rina Sunaryo, Deswandri

Center for Nuclear Reactor Technology and Safety (CNRTS)-BATAN

Gd. 80 Kawasan Puspiptek-Serpong, Tangerang Selatan, Banten

Email: jokopn@batan.go.id

ABSTRAK

MODIFIKASI *PRE-HEATER* MENJADI *PRE-COOLER* PADA UNTAI UJI BETA. Fasilitas FASSIP-01 mempunyai komponen *pre-heater* dengan ukuran panjang 800 mm dengan diameter 10 inchi yang mempunyai kapasitas 50 kW dengan 10 batang pemanas preheater digunakan pada FASSIP-01 untuk memanaskan sistem aliran, dengan adanya perkembangan penelitian maka fasilitas BETA sudah tidak dioperasikan lagi, sedangkan dengan adanya fasilitas untaai FASSIP-01 baru untaai tersebut memerlukan sistem pendingin, dan untuk memanfaatkan *pre-heater* pada FASSIP-01 maka *pre-heater* dimodifikasi menjadi *pre-cooler* dengan sistem pendingin spiral yang dihubungkan dengan sistem *Heat Sink System* (HSS) pada untaai FASSIP-01. Sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui karakteristik pendingin secara pasif. Maka pada tahun 2015 dibuat Untaai FASSIP-01 untuk mempelajari karakteristik pendingin secara pasif. Kegiatan yang dilakukan pada tahun 2016 adalah memodifikasi *pre-cooler* dari sistem kontak tak langsung menjadi kontak langsung dan mengoperasikan Untaai FASSIP-01 dengan tujuan untuk memperoleh data pengukuran temperatur, daya listrik, frekuensi dan laju alir fluida yang diperlukan untuk mendukung penelitian sistem keselamatan pasif. Modifikasi *pre-cooler* dari kontak tak langsung menjadi kontak langsung telah berhasil menurunkan temperatur yang semula 24°C menjadi dibawah 10°C sesuai dengan yang diinginkan.

Kata kunci : Modifikasi, *pre-heater*, *pre cooler*, sirkulasi alam, pendinginan.

ABSTRACT

MODIFY *PRE-HEATER* BEING *PRE-COOLER* ON BETA TEST STRANDS. The BETA test strand facility has a *pre-heater* component with a length of 800 mm in diameter of 10 inches having a capacity of 50 kW with 10 preheater heating rods used on the BETA test strand to heat the flow system, with the development of the BETA facility no longer operated, While the new FASSIP-01 strand facility requires a cooling system, and to utilize the *pre-heater* on the BETA test strand the *pre-heater* is modified to a *pre-cooler* with a spiral cooling system connected to the *Heat Sink System* (HSS) system on the strand FASSIP-01. So it is necessary to do research to know the coolant characteristic passively. Then in 2015 made FASSIP-01 strand to study the characteristics of the coolant passively. The activities carried out in 2016 are to modify the *pre-cooler* of the indirect contact system into direct contact and operate the FASSIP-01 strand with the aim of obtaining data on the temperature, power, frequency and fluid flow rate required to support the passive safety system research. The modification of the *pre-cooler* from indirect contact into direct contact has succeeded in lowering the original temperature of 24°C to below 10°C as desired.

Keywords: Modification, *pre-heater*, *pre cooler*, natural circulation, cooling.

PENDAHULUAN

Peningkatan keamanan dan keselamatan PLTN saat ini telah menggunakan konsep sistem keselamatan pasif. Sistem pasif merupakan sistem pembuangan kalor dengan mengasumsikan tidak tersedianya pompa serta gagal beroperasinya generator diesel [1]. Reaktor nuklir tipe air ringan generasi lanjut (*Advanced Light Water Reactor*, ALWR) telah mengaplikasikan desain dengan memanfaatkan fenomena aliran sirkulasi alami. Aliran sirkulasi alami adalah suatu fenomena akibat adanya gaya apung yang terjadi karena perbedaan densitas fluida. Sirkulasi alami suatu fenomena yang sangat penting dimana fenomena tersebut berkaitan langsung dengan keselamatan reaktor nuklir, ketika sistem aktif (pompa) mengalami kegagalan beroperasi [2,3].

Untai *termosiphon* merupakan untai tertutup untuk menggambarkan alat penukar kalor yang memiliki kemampuan memindahkan kalor dari suatu area sumber kalor yang bertemperatur panas ke area lebih dingin dengan jarak tertentu [4]. Selanjutnya untuk mendalami teknologi sistem pasif telah dibuat fasilitas eksperimen yaitu untai Fasilitas Simulasi Sistem Pasif (FASSIP-01)

Komponen *pre-heater* mempunyai ukuran panjang 800 mm dengan diameter 10 inci dengan posisi horizontal sedangkan *pre-heater* berfungsi untuk memanaskan sistem aliran pada FASSIP-01, *pre-heater* mempunyai batang pemanas sebanyak 10 batang pemanas masing-masing mempunyai daya sebesar 5 kW dengan total kapasitas daya sebesar 50 kW, sistem pengoperasian *pre-heater* dengan cara manual yaitu dengan menghidupkan main contact breaker (MCB) sebanyak 9 buah sedangkan yang satu batang pemanas dikendalikan dengan sistem otomatis ini untuk menjaga temperatur yang diinginkan dengan sistem *on-off*.

Sedangkan komponen *pre-cooler* mempunyai ukuran 800 mm dengan diameter 10 inci dengan posisi horizontal sedangkan *pre-cooler* berfungsi untuk mendinginkan sistem rektanguler pada FASSIP-01, *pre-cooler* didalamnya dipasang lilitan pipa tembaga dengan ukuran diameter 3/8 inci sepanjang 600 mm.

Kegiatan yang dilakukan pada Penelitian terdiri dari 2 kegiatan yaitu modifikasi sistem pendingin pada untai *Heat Sink System* (HSS) dan pengoperasian Untai FASSIP-01 untuk mendapatkan data yang akan digunakan untuk mendukung penelitian sistem keselamatan pasif. Sistem keselamatan pasif atau FASSIP-01 terdiri dari dua untai yaitu rektanguler untai dan untai HSS. Rektanguler untai merupakan untai primer dengan komponen utama *Cooler*, *Heater*, Tangki Ekspansi dan pemipaan dimana sirkulasi alami fluida terjadi akibat adanya perbedaan temperatur pada kedua sisi. Sedangkan HSS mempunyai dua untai yaitu untai sekunder yang terhubung dengan *cooler* pada untai rektanguler dan untai tersier yang merupakan untai pendinginan terhubung dengan *air conditioner* (AC) dengan kekuatan 1 PK [5]. Pada awalnya sistem pendingin pada HSS menggunakan pendingin dengan metode tube 2 inci yang dililitkan oleh tube tembaga *refrigerant*, dimana pipa tembaga spiral untai tersier dililitkan diluar pipa sekunder [6]

Namun penggunaan model lilitan tersebut ternyata tidak mendapatkan hasil pendinginan yang sesuai dengan yang diperlukan untuk penelitian. Sehingga perlu dilakukan modifikasi pada sistem pendinginan pada untai HSS karena temperatur hanya mencapai 24°C. sedangkan kebutuhan penelitian mencapai temperatur 10°C. Diperlukan modifikasi dengan metode pendinginan dari *refrigerant* langsung ke fluida kerja (air) [7]. Untuk memenuhi hal ini fungsi tangki *pre-heater* diubah menjadi *pre-cooler* yang dimaksudkan untuk mendinginkan air secara langsung dari tube tembaga *refrigerant*.

Kegiatan modifikasi meliputi pembongkaran *pre-heater* dan mengeluarkan beberapa *heater* nya, penyambungan pipa tembaga spiral dengan untai tersier, pemasangan tembaga ke dalam *pre-heater*. Dengan dimodifikasinya sistem pendingin dari kontak tak langsung menjadi kontak langsung pada HSS diharapkan sistem pendingin dapat berfungsi dengan efektif dan menghasilkan pendinginan sesuai dengan kebutuhan penelitian yang akan dilakukan.

Kegiatan selanjutnya adalah pengoperasian Untai FASSIP-01, dimana tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam pengoperasian tersebut meliputi komisioning statik, komisioning dinamik, eksperimen dengan skenario daya terkendali. Melalui tahapan-tahapan tersebut akan diperoleh data pengukuran temperatur, daya listrik, frekuensi dan laju alir fluida yang sangat diperlukan untuk mendukung penelitian tentang sistem keselamatan pasif.

TATA KERJA

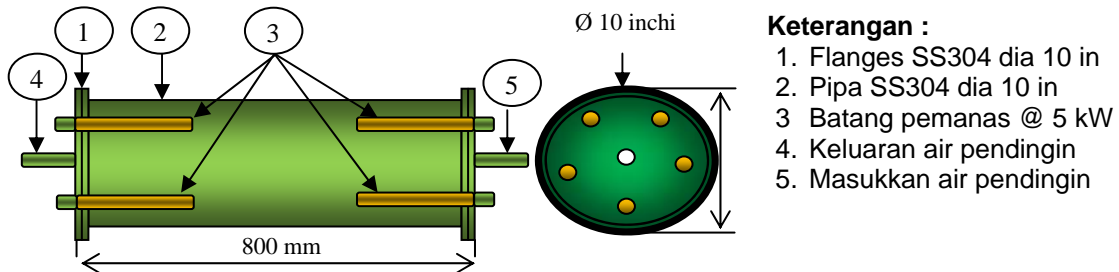
Fabrikasi

Langkah pertama :

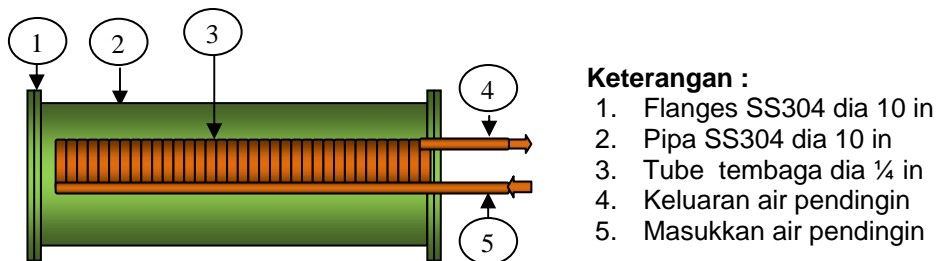
Pre-heater adalah komponen pemanas yang terbuat dari *stainless steel* 304 dengan diameter 10 inci, panjang 800 mm mempunyai batang pemanas sebanyak 10 batang dengan masing-masing batang pemanas mempunyai daya 5 kW dan kapasitas total daya 50 kW dengan sistem pengoperasian 9 batang pemanas secara manual memakai MCB dan satu batang pemanas memakai sistem otomatis dengan cara *on-off* dapat dilihat pada Gambar 1.

Langkah kedua :

Pre-cooler adalah komponen pendingin yang hasil dari dimodifikasinya *pre-heater* menjadi pendingin, yang didalamnya ada lilitan pipa tembaga dengan diameter 0,25 mm dililit sepanjang 600 mm dan disambungkan dengan untai HSS seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 1. *Pre-heater*



Gambar 2. *Pre-Cooler*

Langkah ketiga :

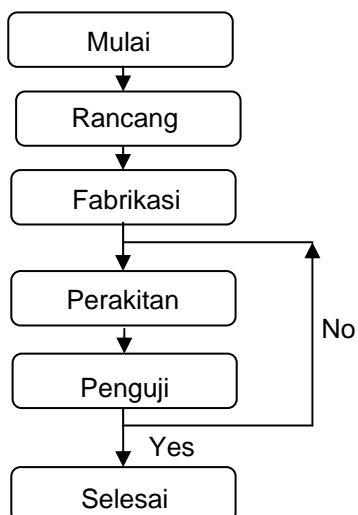
Langkah kerja yang dilakukan dalam rancangan kerangka penyokong dan pemipaan FASSIP-01 dan diagram alur dan pengujian dapat dilihat pada Gambar 1 adalah sebagai berikut :

1. Konsep rancangan
Melakukan konsep perancangan dengan tujuan untuk menjadi rancangan final.
2. Fabrikasi
Melakukan pekerjaan pemipaan dan pembuatan kerangka penyokong serta pembuatan tangki pendingin maupun tangki pemanas sesuai dengan rancangan final
3. Perakitan.
Melakukan perakitan pemipaan pada kerangka penyokong pada sistem FASSIP-01
Pengujian tangki ekspansi terkondisi.
4. Pengujian.

Melakukan pengujian hidrostatis dengan mengisi air pada sistem FASSIP-01 terhadap unjuk kerja kebocoran pemipaan dan tangki pendingin maupun tangki pemanas dengan memberi tekanan pada sistem FASSIP-01 dengan tekanan 2 bar selama 1 jam untuk melihat apakah terdapat kebocoran setiap sambungan pipa ataupun pada las-lasan. Alur kegiatan yang dilakukan untuk modifikasi *pre-cooler* penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Tahapan kerja pengoperasian FASSIP-01

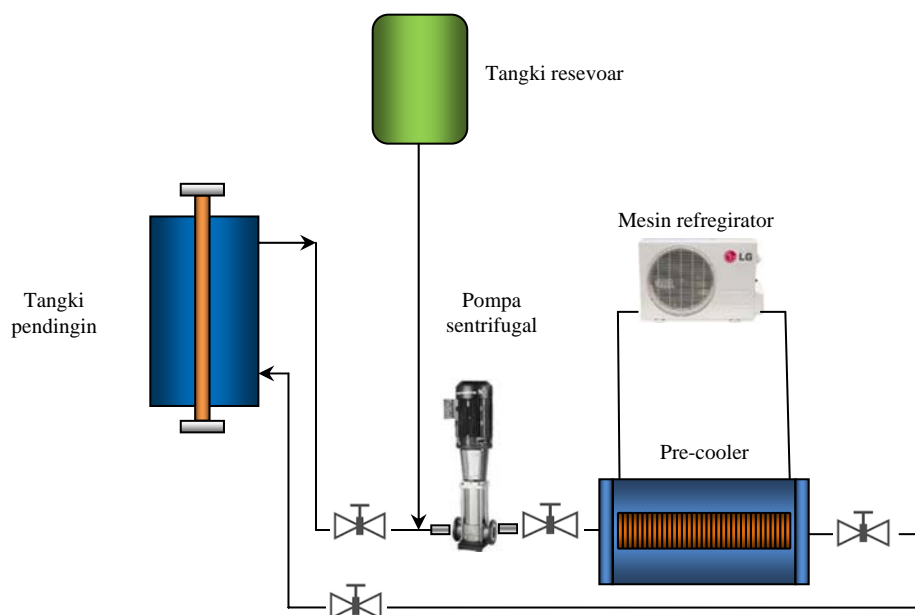
Untuk kegiatan ini diawali dengan pekerjaan perancangan setelah itu menyiapkan bahan untuk pekerjaan pabrikasi untuk semua pekerjaan pabrikasi selesai dilanjutkan dengan pekerjaan perakitan, peralatan tersebut harus melalui pengujian untuk melihat performa dari peralatan tersebut, apabila masih menemukan kebocoran dikembalikan ke pekerjaan -



Gambar 2. Diagram Alur Proses dan Pengujian

perakitan untuk dikerjakan pengecekan dan di uji kembali apabila sudah tidak ditemukan kebocoran dan alat tersebut dapat dioperasikan untuk penelitian.

Pengoperasian FASSIP-01 dibagi menjadi 2 bagian yaitu pertama sistem rektangular dan yang kedua sistem *heat sink*. Sistem rektangular akan beroperasi apabila di sistem tersebut ada pemanasan dan pendinginan dan aliran tersebut mengalir secara alamiah. Sedangkan untuk sistem *heat sink* air pendingin didinginkan oleh sistem AC yang masuk ke *pre-cooler* dan air *pre-cooler* masuk ke tangki pendingin untuk mendinginkan sistem rektangular begitu seterusnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian *heat sink system* (HSS)

Prosedur Pengoperasian FASSIP-01 sebagai berikut :

1. Menyiapkan peralatan komputer untuk pengambilan data.
2. Menyiapkan panel listrik untuk menghidupkan *heater*.
3. Menyiapkan peralatan HSS.
4. Cek katup-katup pada HSS.
5. Cek sistem kelistrikan untuk *flowmeter* pada HSS.

Pengoperasian HSS sebagai berikut :

- Buka katup masukkan pompa.
- Buka katup keluaran *pre-cooler*
- Buka katup keluaran pompa
- Tutup sistem *by-pass*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan selesainya modifikasi *pre-heater* menjadi *pre-cooler* maka dilakukan uji coba pengoperasian sistem pendingin pada FASSIP-01, dan hasilnya berjalan dengan baik. Data yang didapat hasil uji coba mampu mendapatkan temperatur yang diinginkan yaitu 3 °C, Terlihat perbedaan temperatur antara pembacaan analog dan digital, bahwa temperatur digital lebih dingin dikarenakan posisi lilitan tembaga menempel pada sensor temperatur digital

Penyiapan bahan dan alat

Bahan :

1. Pipa tembaga 0,25 inchi
2. Isolasi *thermaflex*
3. Kawat tembaga

Peralatan :

1. Kunci pas, ring, L
2. DAS dan PC

Data teknis *pre-cooler*

Bahan	= stainless steel
Panjang	= 800 mm
Diameter	= 10 inchi
Volume	= 25,9 liter

Melakukan pekerjaan melilit pipa tembaga dengan diameter 0,25 mm untuk dijadikan evaporator dengan diameter lilitan 3 inchi dengan panjang lilitan 600 mm yang diletakan pada dudukan batang pemanas, pekerjaan selanjutnya mengerjakan penyambungan pipa evaporator dengan HSS dengan teknik pematrian dengan gas LPG, pekerjaan berikutnya melakukan pekerjaan mengisolasi *pre-cooler* dengan bahan *termaflex*, ini untuk mengkondisikan air dingin yang ada di *pre-cooler* dapat dipertahankan temperaturnya dapat dilihat pada Gambar 4



Lilitan evaporator dalam *Pre-cooler*



Pematrian pipa evaporator



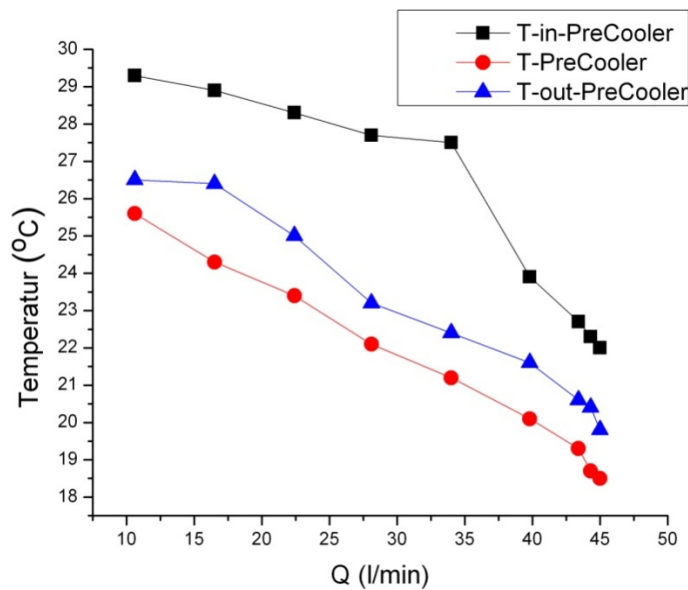
Penyambungan mesin refrigerator



Isolasi Pre-cooler dengan Thermaflox

Gambar 4. Kegiatan pekerjaan pembuatan pre-cooler

Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan debit aliran terhadap temperatur air yang masuk ke *Pre-cooler* [T_{in-Pc}] dan temperatur air yang keluar dari *Pre-cooler* [T_{out-Pc}] serta temperatur di *Pre-cooler* [T_{pc}]. Perubahan debit aliran dilakukan dengan merubah frekuensi pompa dan dari grafik terlihat semakin besar debit air ketiga temperatur di *Pre-cooler* semakin naik. Begitu juga terjadi pada temperatur yang masuk ke tangki *Cooler* [T_{in-C}] dan Temperatur yang keluar dari tangki *Cooler* [T_{out-C}]^[5]



Gambar 5. Grafik hasil uji coba pre-cooler

KESIMPULAN

Dalam memodifikasi pre-heater menjadi *pre-cooler* dari sistem kontak tak langsung menjadi kontak langsung, ternyata kontak langsung lebih efektif dibandingkan dengan sistem kontak tak langsung karena pipa pendingin bersentuhan langsung ke fluida kerja (air), dan hasilnya dapat mencapai temperatur dibawah 10°C yang semula hanya mencapai 24°C.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada teman-teman di Universitas Ibnu Khaldun (UIK) yang telah membantu untuk modifikasi Sistem Pendingin dan Pengoperasian Untai FASSIP-01, penelitian ini dibiayai oleh DIPA PTKRN, BATAN tahun 2016.

DAFTAR PUSTAKA

1. CHANG, S.H., KIM, S.H., CHOI, J.Y., "Design of Integrate Passive Safety System (IPSS) for Ultimate Passive Safety System of Nuclear Power Plants", Nuclear Engineering and Design, Vol.260, pp.104-120 (2013).
2. MULYA JUARSA, ARIEF GOERITNO, ASEP SUHERI, IWAN SUMIRAT, DEWANTO SAPTOADI, ANDIKA NURCAHYO, "Studi Eksperimental Laju Aliran Massa Air Berdasarkan Perubahan Sudut Kemiringan Untai Pada Kasus Sirkulasi Alamiyah Menggunakan Untai Simulasi Sirkulasi Alamiyah (USSA-FT01)", Material dan Energi Indonesia, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Padjajaran, Volume 01, No. 01, Bandung (2011).
3. WANG YAN, "Preliminary Study for The Passive Containment Cooling System Analysis of The Advanced PWR", Energy Procedia 39, pp.240-247 (2013).
4. IAEA-TECDOC-1474, "Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plants",. IAEA, November, Vienna (2005).
5. A.G. ABDULLAH, Z. SU'UD," Analisis Kecelakaan Reaktor Akibat Kegagalan Pembuangan Panas Pada Reaktor Nuklir Generasi IV", Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia, no.8, pp.106-114 (2012).
6. UMARYADI, "Modul Pengelasan, Pematiran, Pemotongan Dengan Panas Dan Pemanasan", Penerbit Yudistira, Bogor (2007)
7. DARYANTO, "Tehnik Pendinginan" kode buku YWA3399005, penerbit YRAMA WIDYA
8. AINUR ROSIDI, SAGINO, "Eksperimen Awal Aliran Sirkulasi Alamiyah pada Simulasi Keselamatan Pasif", Buletin Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir, Volume 18, Nomor 2 (2014).
9. GIARNO, MULYA JUARSA, G.B.HERU K, JOKO PRASETIO W, "Perancangan sistem *heat-sink* untai FASSIP-01 menggunakan *software Cycle-Tempo*", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir, BATAN-Bali (2015).
10. JP.HOLMAN, "Perpindahan Kalor", Erlangga, Edisi 6, Jakarta (1988).
11. Manual Software Origin Pro 8, Origin Lab Corporation, USA (2010)

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR TEKANAN PADA UNTAI HSS FASSIP BERBASIS LABVIEW

Sumantri Hatmoko, Kussigit Santosa, Agus Nur Rachman, G. Bambang Heru,
Deswandri, Geni Rina Sunaryo

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, BATAN, Kawasan Puspitek, Tangerang Selatan, 15314

email: sumantri_08@batan.go.id

ABSTRAK

RANCANG BANGUN ALAT PENGUKUR TEKANAN PADA UNTAI HSS FASSIP BERBASIS LABVIEW. Pada lab termohidrolika PTKRN BATAN telah dibangun Fasilitas Untai FASSIP. Fasilitas Untai FASSIP digunakan untuk eksperimental penelitian keselamatan PLTN berbasis pada sistem pasif. Untai FASSIP terdiri dari Untai *Rectangular* dan HSS. Pada Fasilitas Untai FASSIP ada beberapa parameter yang diukur yaitu laju alir dan temperatur. Alat ukur temperatur dan laju alir telah dibuat dan dipasang pada Fasilitas Untai *Rectangular* FASSIP. Pada penelitian selanjutnya parameter tekanan diperlukan dalam untai HSS FASSIP agar tekanan dapat diukur, diolah, disimpan dan ditampilkan dalam bentuk data *realtime* maka perlu dibuat rancang bangun alat pengukur tekanan pada untai HSS FASSIP berbasis *labview*. Untuk mengetahui perubahan tekanan pada untai HSS FASSIP maka digunakan *pressure sensor U5100 measurement specialties* yang dikoneksikan dengan modul *National Instrument 9203* didalam *port chassis DAQ NI 9188*. Hasil penelitian ini adalah alat pengukur tekanan terpasang pada untai HSS FASSIP berbasis *labview* yang dapat menyimpan data hasil akuisisi secara komputerisasi dan *realtime*.

Kata kunci: FASSIP, *Labview*, Tekanan

ABSTRACT

DESIGN OF THE PRESSURE MEASUREMENT SUPPLY TO THE HSS FASSIP LOOP BASED LABVIEW. FASSIP Loop Facility has been built in thermal hydraulic lab. The FASSIP Strand Facility is used for experimental nuclear safety research based on passive systems. The FASSIP strand consists of the *Rectangular* and HSS Strands. In FASSIP Facility there are several parameters can be measured such as the flow rate and temperature. The design of temperature and flow rate measurements have been made and mounted on the *Rectangular* FASSIP Loop Facility. For further research on the required pressure parameters in the experimental HSS FASSIP Loop measurement. In pressure order to measure, to process to store and to display pressure as *realtime* data, it is necessary to design a pressure gauge on the HSS FASSIP loop base on *labview*. To know the pressure change on HSS FASSIP Loop, thus pressure sensor *U5100 measurement specialties* which connect with *National Instrument 9203* module inside *DAQ NI 9188* chassis port is used. The result of this research is to build pressure gauge on HSS FASSIP strand based on *labview* that can store data acquisition result which are computerize and *realtime*.

Keywords: FASSIP, *Labview*, Pressure

PENDAHULUAN

Keselamatan PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir) menjadi bagian utama dalam pengoperasian dan penanganan kecelakaan PLTN. Kecelakaan PLTN pernah terjadi pada PLTN tipe *Pressurized Water Reactor (PWR) Three Mile Island* unit 2 tahun 1979 dan tipe *Boiling Water Reactor (BWR) Fukushima Daiichi* tahun 2011 [1]. Kecelakaan PLTN tersebut diakibatkan oleh kegagalan sistem aktif untuk mendinginkan teras reaktor pasca kecelakaan sehingga terjadi fenomena teras meleleh. Oleh sebab itu beberapa peneliti mengembangkan sistem keselamatan pasif pada PLTN untuk mencegah kegagalan manajemen pendinginan teras reaktor apabila sistem keselamatan aktif tidak bekerja. Sistem keselamatan pasif pada PLTN bekerja berdasarkan hukum-hukum alam dan tanpa bantuan listrik dari luar fasilitas PLTN. Pada lab termohidrolika PTKRN BATAN telah didesain dan dikonstruksi fasilitas eksperimen untuk sistem keselamatan pasif yang disebut untai FASSIP (Fasilitas Simulasi

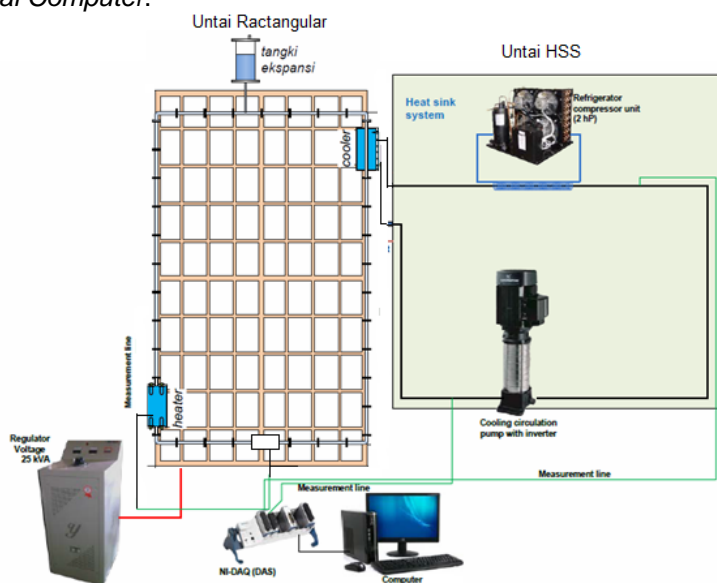
Sistem Pasif). Pada Untai FASSIP ada beberapa parameter penting yang diukur untuk mensimulasikan sistem keselamatan pada PLTN yaitu temperatur, tekanan dan laju aliran fluida [2]. Untuk rancang bangun alat ukur temperatur dan laju alir pada untai FASSIP telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [3]. Untuk penelitian selanjutnya parameter tekanan diperlukan untuk pengukuran pada untai HSS FASSIP.

Untuk menentukan parameter pengukuran pada tekanan agar dapat diolah, disimpan, ditampilkan bentuk data realtime melalui *personal computer* maka diperlukan rancang bangun alat pengukur tekanan pada untai FASSIP berbasis *Labview*. Pada rancang bangun alat pengukur tekanan pada untai FASSIP berbasis *Labview* untuk mengetahui perubahan tekanan maka digunakan *pressure transducer U5100 measurement specialties (MEAS)* yang di koneksikan dengan modul *National Instrument 9203* dengan *port chassis DAQ NI 9188*. Pada *port chassis DAQ NI 9188* diperlukan koneksi dengan kabel *Local Area Network (LAN)* agar dapat berkomunikasi antara *signal conditioning* dengan *personal computer*. Untuk menampilkan *visual* pada layar monitor digunakan *software labview*. *Labview* merupakan *graphical programming environment* terbuka yang ditetapkan oleh standar industri untuk aplikasi pengujian pengukuran, otomasi, pengumpulan data dan fleksibel sehingga dapat di hubungkan ke perangkat lainnya seperti modul *National Instrument, PLC dan PAC* [4]. Oleh sebab itu maka *labview* sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan dalam penelitian ini.

TEORI

1. Fasilitas Eksperimen Untai FASSIP

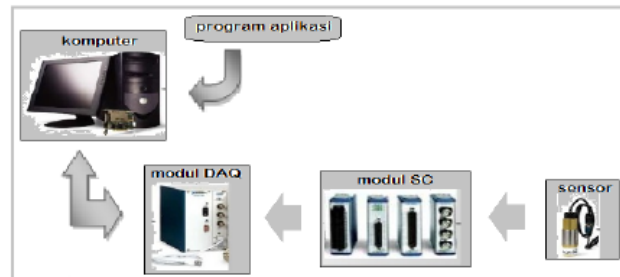
Fasilitas untai FASSIP adalah fasilitas eksperimen yang terdapat pada di PTKRN BATAN yang digunakan untuk mensimulasikan investigasi fenomena aliran sirkulasi alamiah pada pengembangan sistem keselamatan PLTN baik pada kondisi kecelakaan maupun pada kondisi operasi [2]. Bagian utama dari fasilitas eksperimen adalah Fasilitas Simulasi Sistem Pasif terdiri dari *Heater tank*, bahan: SS (*Stainless steel*) 304, geometri: diameter 16 inch Sch.40, *heater water* 10 kW (setiap *heater* 2,5 kW - ada 4 buah *heater water*), *Cooler tank*, bahan: SS304 dengan diameter 16 inch Sch.40, terdapat saluran air pendingin dari sistem *heat sink system (HSS)* dengan *refrigerant* dan terkoneksi dengan Untai Uji BETA (UUB), *Expansion Tank*, bahan akrilik dan SS316L, untuk mengkompensasi kelebihan dan fluktuasi tekanan di dalam loop, Untai *Rectangular FASSIP* terdiri dari sistem pemipaan menggunakan *section* (diameter, 1 inch) dan *flange* dengan panjang maksimal 50 cm berbahan SS304. Bagian-bagian kecil penyusun untai rectangular FASSIP disebut "*section*", Untai HSS terdiri dari *precooler* dan *refrigator* sistem pendingin, *Flowmeter* menggunakan *Flowmeter FLR 1000*, Sensor temperatur (Termokopel tipe K), Modul akuisisi data *National Instrument 9188*, *Modul National Instrument 9213* dan *9214*, *Modul National Instrument 9203*, *Personal Computer*.



Gambar 1. Fasilitas Untai FASSIP [2]

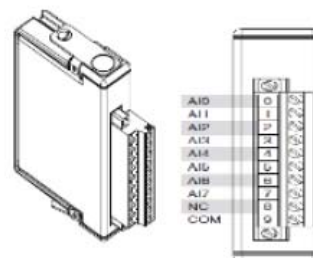
2. Sistem Instrumentasi Elektronika Berbasis Komputer

Sistem Instrumentasi Elektronika Berbasis Komputer terdiri dari beberapa sensor, modul-modul rangkaian elektronik dan komputer. Fungsi dari sensor adalah merubah besaran fisik yang akan diukur menjadi besaran listrik. Besaran listrik tersebut diolah dengan *signal conditioning* (SC) pada modul rangkaian elektronik untuk mengkondisikan keluaran sensor menjadi besaran tegangan, arus atau frekuensi. Setelah sinyal dikondisikan kemudian diolah oleh *Data Acquisition* Modul berfungsi untuk mengubah sinyal keluaran modul SC menjadi sinyal digital. Dimana sinyal digital tersebut diterima komputer dan diproses berdasarkan program aplikasi sehingga data pengukuran dapat ditampilkan menjadi informasi yang diperlukan [5]. Blok diagram sistem instrumentasi pengukuran berbasis komputer dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2. Blok diagram sistem instrumentasi elektronika berbasis komputer

Pada Sistem Instrumentasi Elektronika Berbasis Komputer untuk Fasilitas Untai FASSIP digunakan sensor termokopel sebagai sensor temperatur, sensor tekanan, sensor *flow meter*, *modul signal conditioning* NI 9213, NI 9203, modul CDAQ 9188, komputer dan *software* aplikasi *labview*. Untuk pengkondisi sinyal arus pada *pressure transducer* menggunakan modul pengkondisi sinyal NI 9203. Modul NI 9203 merupakan modul input analog 16 bit, ± 20 mA, terdiri dari 8 *channel* yang berfungsi untuk pengkondisi sinyal yang masuk kedalam modul tersebut dan mempunyai 10 terminal terdiri dari AI0-AI8, NC dan COM [6] seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

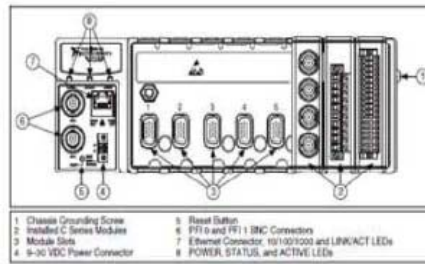


Gambar 3. Modul NI 9203 [6]

Modul NI 9203 terdiri dari terminal *Analog input (AI)* yang dapat terkoneksi dengan sinyal arus. Pada penelitian ini digunakan Modul NI 9203 sebagai sinyal masukkan arus pada *pressure transducer*. Setiap modul pengkondisi NI 9203 menyediakan 8 slot sinyal masukan arus. Pada Modul NI 9203 agar dapat membaca data arus ke komputer menggunakan modul akuisisi data NI CDAQ 9188. NI CDAQ 9188 adalah modul akuisisi data buatan *National Instrument* berbasis *Ethernet* dengan kecepatan perekaman 200.000 data/detik [7]. Secara lengkap konfigurasi modul NI CDAQ 9188 seperti Gambar 4.

3. Pressure Transducer U5100 Measurement Specialties (MEAS)

Pressure transducer adalah komponen instrumentasi yang mendeteksi tekanan cairan dan gas dan menghasilkan sinyal listrik yang berhubungan dengan tekanan [8]. Prinsip kerja *pressure transducer* adalah mengubah tegangan mekanik menjadi sinyal listrik. *Pressure transducer* U5100 Ultra MEAS.



Gambar 4. Data akuisisi NI CDAQ 9188 [7]

Seri ini cocok untuk pengukuran tekanan cairan atau gas, bahkan untuk media yang sulit seperti air yang terkontaminasi, uap, dan cairan yang agak korosif [9]. *Pressure transducer* U5100 MEAS menggunakan teknologi yang memberikan stabilitas pada rentang suhu yang lebar. Untuk teknologinya *Pressure transducer* U5100 MEAS menggunakan *strain gauge* berbasis silikon yang diisolasi oleh kapsul berisi minyak dan diafragma *stainless steel*. *Pressure transducer* U5100 MEAS telah memenuhi persyaratan CE (*control electronic*) industri berat termasuk proteksi *surge* dan tegangan berlebih baik polaritas positif maupun kebalikannya. Desainnya terdiri dari logam dan berbagai pilihan *port* dan *output*. Daya tahan *Pressure transducer* U5100 MEAS sangat baik dan melebihi persyaratan CE industri berat terbaru termasuk untuk proteksi tegangan berlebih ke 16 Volt DC baik polaritas positif maupun sebaliknya. Fitur dari *Pressure Transducer* U5100 memiliki CE Industri Berat, Pengendali HVAC, Perlindungan EMI 100 V / m, *Total Error Band* 0,75 % dan operasi suhu - 40 ° C sampai + 125 ° C. *Pressure transducer* U5100 dapat di aplikasikan pada sistem pendingin, uji otomotif, kendali proses industri, pompa dan kompresor, sistem pneumatik dan hidrolik [9]. *Pressure transducer* U5100 MEAS dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. *Pressure transducer* U5100 MEAS

4. *Hydrostatic test*

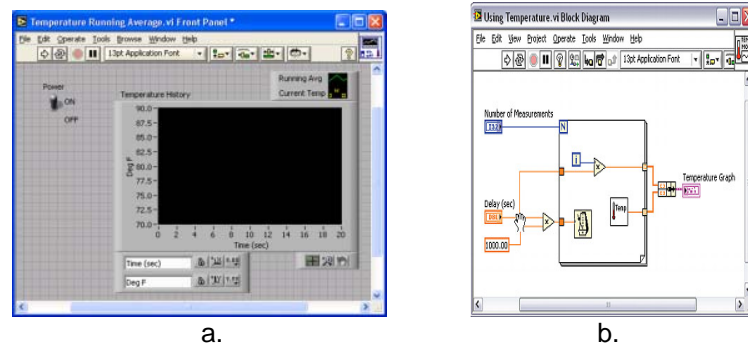
Gaya hidrostatik adalah gaya yang terdapat pada fluida yang diam (tidak mengalir). Seperti kita ingat fluida (gas dan cairan) bila menerima tekanan maka akan meneruskannya ke segala arah. Gaya hidrostatik adalah perkalian antara tekanan pada suatu area dengan luas permukaan area tersebut. Makin luas permukaan tentunya gaya hidrostatik yang ada makin besar pula. Setiap bagian di dalam fluida statis akan mendapat tekanan zat cair yang disebabkan adanya gaya hidrostatik disebut tekanan hidrostatik. Tekanan hidrostatik adalah tekanan yang terjadi di bawah air. Tekanan ini terjadi karena adanya berat air yang membuat cairan tersebut mengeluarkan tekanan. Tekanan sebuah cairan bergantung pada kedalaman cairan di dalam sebuah ruang, selain itu gravitasi juga menentukan tekanan air tersebut. *Hydrostatic test* adalah alat untuk menguji tekanan pipa, tabung gas, boiler dan tangki bahan bakar. Peralatan yang digunakan pada penelitian menggunakan hidrostatik test adalah KYOWA *Hydrostatic test pump* T50KP. KYOWA *Hydrostatic test pump* T50KP dilengkapi dengan *pressure gauge* yang terbuat dari *stainless steel* 304, maksimal tekanan 50 bar, diameter *plunger* 22 mm, *stroke* 35 mm, kapasitas tangki air 4,5 liter dan isapan rata-rata per *stroke* 13 cc [10]. KYOWA *Hydrostatic test pump* T50KP dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. KYOWA Hydrostatic test pump T50KP

5. Labview

Perangkat lunak *Labview* merupakan sebuah bahasa pemrograman *graphical* yang menggunakan simbol (ikon) untuk membuat aplikasi. Sedangkan *Visual Instruments (VI)* adalah program *labview* yang menirukan *instrument* sebenarnya dalam bentuk simbol-simbol. *Labview software* terdiri dari 3 (tiga) komponen utama yaitu *front panel*, *block diagram* dan tipe data. *Front panel* merupakan penghubung (*interface*) antara pengguna (*user*) dengan program aplikasi. *Front panel* menyediakan *interface* untuk pengguna yang akan mensimulasikan panel untuk instrumen seperti knop, tombol, dan saklar. Masukan pada *front panel* disebut *control* [11]. Keluaran yang terdiri dari grafik, LED (*light emitting diode*), dan meter disebut indikator. Contoh tampilan *front panel* ditunjukkan pada Gambar 7a. *Block diagram* merupakan jendela tempat menuliskan perintah dan fungsi, berisikan *source code* berupa simbol-simbol, *node* dan garis sebagai data *flow* untuk mengeksekusi program termasuk kode dari *front panel*. Contoh blok diagram pada *labview* ditunjukkan pada Gambar 7b.



Gambar 7. (a).Tampilan *front panel* (b) *Block diagram*

Dalam membuat aplikasi *Vis*, harus diperhatikan tipe data tiap simbol agar data *flow* dapat berjalan semestinya. Tipe data yang tersedia yaitu numerik, *boolean* dan *string*. Tipe data dari sebuah simbol dapat diketahui dari warna node atau warna kabel ketika dihubungkan ke simbol lainnya. Untuk tipe data numerik ditandai dengan warna oranye (untuk bilangan *float*) atau biru (untuk bilangan *integer*), tipe data *boolean* ditandai dengan warna hijau dan tipe data *String* ditandai dengan warna merah muda.

METODOLOGI

Metodologi rancang bangun alat pengukur tekanan pada untai FASSIP berbasis *Labview* menggunakan metode pengukuran pada *Data Acquisition System National instrument (DAS NI)* dengan *labview* dan eksperimen *ampermeter* dengan *hydrostatic test*. Untuk langkah-langkahnya terdiri dari beberapa tahapan berikut :

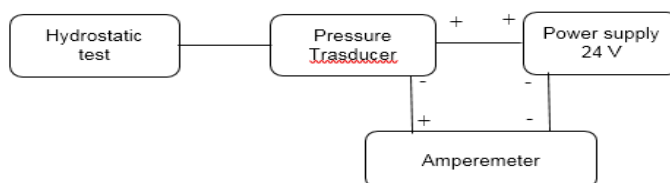
1. Membuat skema rangkaian pengukuran *pressure transducer* dengan *ampermeter* dan *hydrostatic test*.
2. Inventarisasi hasil pengukuran *pressure transducer* dengan *ampermeter* dan *hydrostatic test*.

3. Mencari formulasi linear yang diperoleh dengan metode *regresi linear* berdasarkan data arus dan tekanan dengan *hydrostatic test* yang dilengkapi pada *pressure gauge* dengan *ampermeter*.
4. Membuat program pada *labview* dengan memasukkan formulasi linear yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya.
5. Melakukan pengujian program dengan DAS NI dengan *labview*.
6. Membandingkan hasil pengukuran dengan simulasi *hydrostatic test* dengan *ampermeter* dan pengukuran pada DAS NI dengan *labview*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Membuat skema rangkaian pengukuran *pressure transducer* dengan *ampermeter* dan *hydrostatic test*.

Untuk konfigurasi alat ukur *pressure transducer* dengan *hydrostatic test* yang dilengkapi *pressure gauge* dengan *ampermeter* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema rangkaian pengukuran *pressure transducer* dengan *ampermeter* dengan dan *hydrostatic test*

Dari gambar skema diatas pada *pressure transducer* diberikan tekanan dari *hydrostatic test* sebesar 0,1,2,3,4,5 bar. Lalu pada masing-masing tekanan di hitung kuat arusnya dengan *ampermeter*. Percobaan ini dilakukan sebanyak lima kali. Dari masing-masing percobaan hasilnya dirata-rata untuk digunakan mencari fomulasi linear. Sedangkan formulasi linier diperoleh dengan metode *regresi linier* berdasarkan data arus *pressure transducer* dengan tekanan *pressure gauge* dan *ampermeter*.

2. Inventarisasi hasil pengukuran *pressure transducer* dengan *ampermeter* dengan dan *hydrostatic test*.

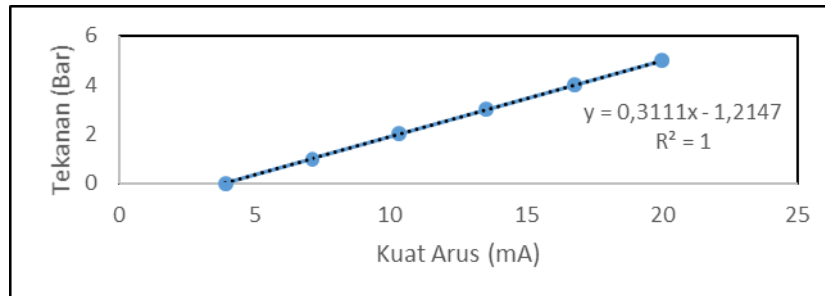
Dari hasil eksperimen pengukuran *pressure transducer* dengan *ampermeter* dan *hydrostatic test* diperoleh data pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil data pengukuran *pressure transducer* dengan *ampermeter* dan *hydrostatic test*

Tekanan (Bar)	Kuat arus (mA)					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
0	3,89	3,90	3,91	3,92	3,90	3,904
1	7,10	7,13	7,13	7,12	7,11	7,118
2	10,32	10,33	10,34	10,33	10,34	10,332
3	13,55	13,54	13,55	13,53	13,56	13,546
4	16,78	16,76	16,75	16,76	16,75	16,760
5	19,98	19,97	19,96	19,98	19,98	19,974

3. Mencari formulasi linier yang diperoleh dengan metode *regresi linier* berdasarkan data arus dan tekanan dengan *hydrostatic test* yang dilengkapi pada *pressure gauge* dengan *ampermeter*.

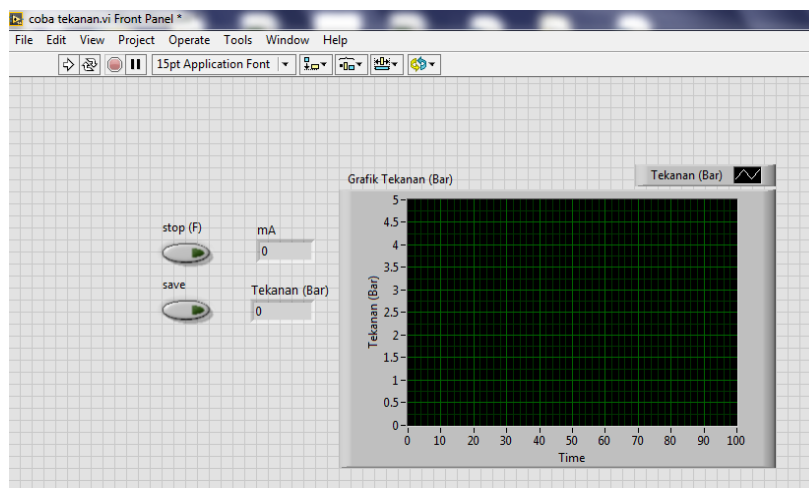
Dari data hasil eksperimen pengukuran *pressure transducer* dengan *ampermeter* dan *hydrostatic test* maka dapat didapatkan formulasi linear dengan metode *regresi linear* data arus dan tekanan. Dari grafik pada Gambar 9 maka di dapat formulasi linearnya $y = 0,3111x - 1,2147$ - 1,2147.



Gambar 9. Kurva perbandingan tekanan dan kuat arus dari data hasil eksperimen pengukuran *pressure transducer* dengan *ampermeter* dan *hydrostatic test*

4. Membuat program pada *labview* dengan memasukkan formulasi linear yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya.

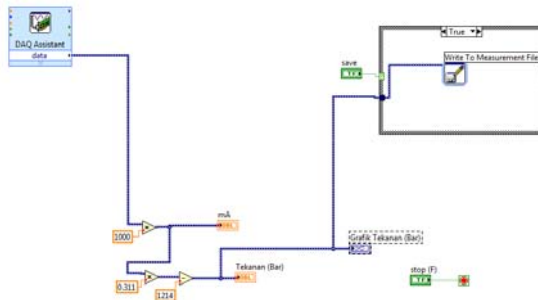
Pada perancangan tampilan pada *front panel labview* untuk mengukur tekanan telah dilakukan perancangan seperti terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Tampilan *front panel* pada *labview* untuk pengukuran tekanan

Pada tampilan *front panel* ketika program dijalankan maka diukur tekanan pada *plant* yang telah terpasang sensor tekanan. Untuk menyimpan hasil pengukuran tekanan pada *harddisk* tekan tombol *save*. Apabila telah selesai disimpan dan data pada pengukuran tekanan telah didapatkan maka tekan tombol *stop* pada *front panel* program. Pada perancangan *block diagram* pada *labview* untuk pengukuran tekanan telah dilakukan perancangan pada Gambar 11.

Pada *Block diagram* program telah dibuat *block diagram DAQ assistant* untuk mengatur pengukuran *DAS* pada tampilan program. *Block diagram DBL* untuk menampilkan tampilan pengukuran. Pada *block diagram* pada pengukuran tekanan perlu ditambahkan *block diagram* formulasi yang didapat dari hasil pengukuran simulasi sensor tekanan dengan perbandingan antara arus dengan *ampermeter* dan *hydrostatic test*. Lalu hasilnya dibuat persamaan dalam *block diagram* pengukuran. *Blok Write to measurement file* untuk menulis hasil data pada pengukuran supaya dapat disimpan dalam format data. Dan *block diagram save* untuk menyimpan data dan *stop* untuk menghentikan program apabila data yang diinginkan telah disimpan dalam *harddisk*.



Gambar 11. Block diagram pada labview untuk pengukuran tekanan

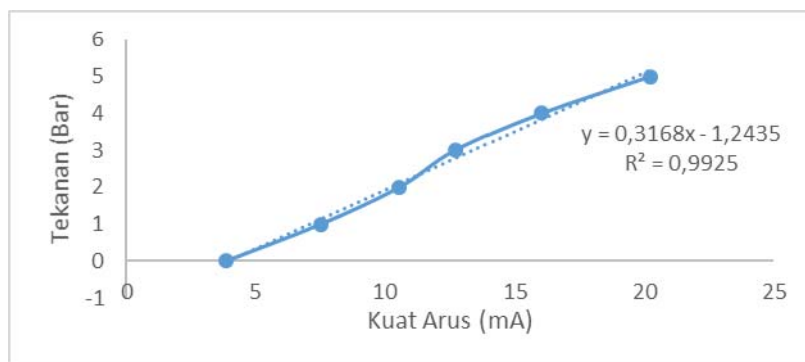
5. Melakukan pengujian *pressure transducer* pada DAS NI dengan labview.

Setelah dibuat program maka perlu dilakukan pengujian hasil tampilan tekanan dan kuat arus pada DAS NI 9203 dengan labview. Kanal yang digunakan adalah kanal 03 pada pada modul NI 9203. Dari hasil pengujian karakterisasi *pressure transducer* dengan DAS NI 9203 maka diperoleh hasil seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. hasil pengukuran *pressure transducer* pada DAS NI

Tekanan (Bar)	Kuat arus (mA)					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
0	3,86	3,83	3,82	3,87	3,85	3,846
1	7,427	7,435	7,458	7,743	7,504	7,5134
2	10,882	10,44	10,478	10,588	10,429	10,5634
3	12,72	12,76	12,73	12,68	12,67	12,712
4	16,02	16,03	16,01	16,05	16,06	16,034
5	20,25	20,191	20,19	20,267	20,278	20,2352

Dari data hasil pengukuran *pressure transducer* dengan DAS NI maka didapat formulasi linear dengan metode regresi linear data arus dan tekanan. Dari grafik pada Gambar 12 maka di dapat formulasi linearnya $y = 0,3168x - 1,2435$.



Gambar 12. Kurva perbandingan tekanan dan kuat Arus dari data hasil pengujian dengan DAS NI

6. Membandingkan hasil pengukuran dengan simulasi *hydrostatic test* dengan *ampermeter* dan pengukuran pada DAS NI dengan labview.

Dari hasil hasil pengukuran *pressure transducer* dengan ampermeter dan *hydrostatic test* dan pengujian dengan DAS NI maka diperoleh *error relatif* 2,52 % pada *pressure transducer* di Untai HSS FASSIP. Dari hasil tersebut menghasilkan *error relatif* yang kecil sehingga *pressure transducer* tersebut dapat digunakan DAS NI di fasilitas eksperimen FASSIP.

Tabel 3. Hasil perbandingan hasil pengukuran dengan simulasi *hydrostatic test* dan DAS NI

Kuat Arus (mA)	<i>Hydrostatic test</i> (Bar)	DAS NI (Bar)	<i>Error Relatif</i> (%)
4	0,03	0,02	20,20
5	0,34	0,34	0,09
6	0,65	0,66	0,83
7	0,96	0,97	1,15
8	1,27	1,29	1,32
9	1,59	1,61	1,42
10	1,90	1,92	1,49
11	2,21	2,24	1,54
12	2,52	2,56	1,57
13	2,83	2,87	1,60
14	3,14	3,19	1,62
15	3,45	3,51	1,64
16	3,76	3,83	1,66
17	4,07	4,14	1,67
18	4,39	4,46	1,68
19	4,70	4,78	1,69
20	5,01	5,09	1,70
Rata-rata <i>Error relatif</i>			2,52

Pada pengukuran tekanan pada arus 4-5 mA dari hasil karakterisasi dengan *hydrostatic-test* dan pengujian dengan DAS NI terdapat *error relatif* besar yaitu 20,20 %. Hal ini disebabkan oleh karena respon dari *pressure transducer* pada arus 4-5 mA terjadi transien pada masukan konstan, sensitivitas sensor, adanya gangguan dari dalam komponen elektronik, baik itu sebagai akibat dari pembebanan dan kualitas komponen dari *pressure transducer* tersebut. Dari hasil karakterisasi dengan *hydrostatic-test* dan pengujian dengan DAS NI untuk pengukuran arus 4-20 mA didapat nilai rata-rata *error relatif* 2,52 %. Dengan nilai tersebut maka nilai *error relatif* kecil, maka dapat dilakukan pengukuran tekanan dengan *pressure transducer* U5100 MEAS di Untai HSS FASSIP.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian Rancang Bangun Alat Pengukur Tekanan Pada Untai HSS FASSIP dapat di simpulkan sebagai berikut : Rancang bangun alat pengukur tekanan pada untai HSS FASSIP menggunakan labview menampilkan parameter tekanan pada untai HSS FASSIP, hasil eksperimen pengukuran *pressure transducer* dengan *hydrostatic test* dan ampermeter telah diperoleh formulasi linear $y = 0,3111x - 1,2147$, untuk pengujian pada DAS NI $y = 0,3168x - 1,2435$. Dari nilai formulasi linear tersebut didapat nilai rata-rata *error relatif* 2.52 %. Dengan nilai tersebut maka nilai *error relatif* kecil, maka dapat dilakukan pengukuran tekanan dengan *pressure transducer* U5100 MEAS di Untai HSS FASSIP. *Error relatif* adalah suatu pengukuran yang menunjukkan seberapa besar persentase kesalahan dari pengukuran. Keterkaitan *error relatif* dengan penelitian rancang bangun alat pengukur tekanan berbasis labview pada untai HSS FASSIP untuk memperoleh alat ukur yang baik

dan akurat pada pengukuran tekanan di untai HSS FASSIP. Pada penelitian ini telah diperoleh rancang bangun alat pengukur tekanan berbasis *labview* pada untai HSS FASSIP yang dapat menyimpan data hasil akuisisi secara komputerisasi dan menyimpan data hasil tersebut kedalam harddisk dalam bentuk file untuk memudahkan analisis data.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Hibah Program Insinas Pratama Kemitraan Kemenristekdikti Tahun Anggaran 2017 yang telah membiayai penelitian dan mahasiswa kerja praktek jurusan teknik mesin Atmajaya di fasilitas temohidrolik yang telah membantu menyiapkan peralatan, melaksanakan eksperimen dan pengujian bagi keberhasilan dan kelancaran kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Broughton, James M., P. Kuan, A. David, Petti, and E. L. Tolman, "A Scenario of the Three Mile Island Unit 2 Accident, Nuclear Technology", p. 34-53 (1989).
2. Mulya J., "Laporan Penelitian Studi Eksperimental Fenomena Sirkulasi Alamiah Aliran Satu-Fasa untuk Pengembangan PRHRS Menggunakan Untai FASSIP-01", Serpong (2005).
3. Sumantri H., "Rancang Bangun Sistem Monitoring dan Pengukuran Parameter Termohidrolika Berbasis Labview Pada Untai FASSIP, Proseding Seminar Nasional XII SDM Teknologi Nuklir, Hal 435-442, Yogyakarta (2016).
4. Eka Budiono. "Programmable Automation Control (PAC) dengan labview. Gava Media", Yogyakarta (2007).
5. ENDANG WIJAYA. "Teknik Elektronika Industri", Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta, Jakarta (2005).
6. Datasheet NI 9203.
7. Datasheet NI Compact DAQ 9188.
8. ISMU HANDOYO DKK., "Karakterisasi Perubahan Tekanan Dan Temperatur Pada Untai Uji Beta (UUB) Berdasarkan Variasi Debit Aliran, Prosiding seminar penelitian dan pengelolaan perangkat nuklir", Prosiding PTAPB BATAN, Yogyakarta (2011).
9. Datasheet Pressure Transducer Measurement specialties U5100.
10. Datasheet KYOWA Hydrostatic test pump T50KP.
11. L/K WELL AND J. TRAVIS, "Labview for everyone: Graphical Programming Made Even Easier 2nd Edition", (1996).

EFFECT OF CHLORIDE AND COPPER ION FOR REACTOR TANK MATERIAL INTEGRITY OF RSG GAS PRIMARY COOLING SYSTEM

Rahayu Kusumastuti¹, Sumaryo², Sriyono¹, Sofia L. Butarbutar¹, M.Subekti¹, Geni Rina Sunaryo¹

¹Center for Nuclear Reactor Technology and Safety
PUSPIPTEK Area 80 Building, Setu, Tangerang Selatan 15310

²Center for Science and Advanced Materials Technology
PUSPIPTEK Area 71 Building, Setu, Tangerang Selatan 15310
email: rahayu@batan.go.id

ABSTRACT

EFFECT OF CHLORIDE ION AND COPPER ION FOR TANK MATERIAL INTEGRITY OF RSG GAS PRIMARY COOLING SYSTEM. RSG GAS as Multipurpose Reactor designed to operate for 30 years, now RSG GAS has been operating for approximately 29 years. Al_2Mg_3 as a reactor tank material has a weakness in its use, that is not resistant for environment that contains of chloride ions and copper ion. The purpose of this research was to know the impact of Cl^- and Cu^{2+} for tank material integrity of the RSG GAS primary cooling system. The analysis is done by simulation on Al_2Mg_3 corrosion in Cl^- and Cu^{2+} solution using Potensiogalvanostate IG & G. The results showed that the concentration of chloride ion in the primary cooling water that greater than 6 ppm have potentially to degrade the integrity of reactor tank material. The existence of copper ions in the primary cooling water will accelerate the damage to the reactor tank. Material integrity of RSG GAS reactor tank can be maintained by limiting the concentration of chloride and copper ions in each of the primary cooling water in accordance with the standard requirement.

Keywords: integrity, the reactor tank material, the primary cooling water, RSG-GAS.

ABSTRAK

PENGARUH ION KLOORIDA DAN ION TEMBAGA TERHADAP INTEGRITAS MATERIAL TANGKI PADA SISTEM PENDINGIN PRIMER REAKTOR RSG GAS. Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG GAS) dirancang untuk beroperasi selama 30 tahun, sampai saat ini RSG GAS telah beroperasi selama kurang-lebih 29 tahun. Al_2Mg_3 sebagai bahan tangki reaktor mempunyai kelemahan dalam penggunaannya yaitu tidak tahan dengan lingkungan yang mengandung ion klorida Cl^- dan ion tembaga Cu^{2+} . Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh Cl^- dan Cu^{2+} terhadap integritas tangki Reaktor RSG GAS. Analisis dilakukan melalui simulasi uji korosi Al_2Mg_3 dalam lingkungan ion Cl^- dan Cu^{2+} menggunakan Potensiogalvanostate IG&G. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada konsentrasi ion klorida dalam ATR lebih besar dari 6 ppm berpotensi mendegradasi integritas tangki reaktor. Keberadaan ion tembaga dalam ATR akan mempercepat kerusakan tangki reaktor. Integritas tangki reaktor RSG GAS dapat dipertahankan dengan membatasi konsentrasi ion klorida dan ion tembaga dalam air pendingin primer masing-masing tidak melebihi standar yang dipersyaratkan.

Kata Kunci : integritas, tangki reaktor, air pendingin primer, RSG-GAS.

INTRODUCTION

Multipurpose Reactor G.A. Siwabessy (RSG GAS) designed to operate for 30 years, now RSG GAS has been operating for approximately 29 years. Because of aging process, very possible that the condition of systems, structures and components (SSCs) of the reactor will degraded the function of reactor material. Degradation of system functions and components can disrupt the continuity of the operation of the reactor and interfere the reactor operation safety. Operation safety of RSG GAS should be maintained so that the operation of reactor can be extended for 10 years. Therefore, it is necessary to monitor the reactor safety, by predicting the strength of the reactor tank material [1]. Aging management is one program that must be done to get a reactor operating life longer [2]. Monitoring of the reactor material is very important to do, especially for Al_2Mg_3 as the RSG GAS reactor tank

material. Aluminium alloy has a weakness in its use which is not resistant to environments containing chloride ions, especially when there is a copper Cu ion. That will trigger the corrosion process on aluminum alloys. Therefore, there should be analysis of the influence of chloride ion and Cu ion in primary cooling water for RSG GAS material integrity. The use of water as a coolant in research reactors could pose problems for the integrity of structures, systems and components of the reactor, such as the corrosion of the reactor material, the formation of oxide layer in the cladding of fuel elements and heat exchangers pipes so that will reduce the efficiency of heat conductivity, radiation exposure increases due to the activation of particles dissolved in the water, and the emergence of aggressive species generated by radiolysis process [3]. Various mitigation needs to be done to minimize the negative effects arising from the use of water as a coolant. Water treatment is needed to be important in obtaining water quality which low aggressiveness [2] It is necessary to minimize the negative effects arising from the reactor cooling water to the reactor material. Therefore, it is necessary to periodically monitoring system against reactor water chemistry quality conditions so that if any irregularities will be immediately anticipated and reactor water quality will be maintained according to the requirements [4]. Chloride ion and copper ion is very aggressive towards aluminium (Al_2Mg_3) as reactor tank material, so that if the concentration exceeds the concentration required it will damage the reactor tank material and lead operations will shorter. The purpose of this study was to know the impact of Cl^- and Cu^{2+} for material integrity on the RSG GAS primary cooling system. The existence of trace elements in the primary cooling water on RSG GAS especially chlorida ion and copper ion have not been monitored periodically. Monitoring on water quality conditions of the primary cooling water on RSG GAS done on the pH (degree of acidity) and electrical conductivity of water.

ALUMINIUM CORROSION ON WATER

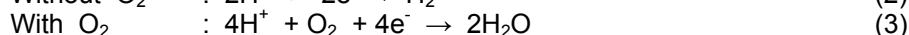
Corrosion degraded the quality of material caused by reactions with the environment [5]. The mechanism of corrosion process in water by electrochemically occurring simultaneously at the anode and cathode regions on the electric current circuit closed [6-7].

1. Reaction on anoda (oxidation)

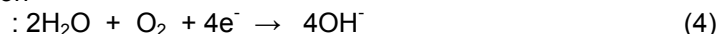


2. Reaction on catoda (reduction)

- a. acidic solution



- b. Alkali or neutral solution



- c. The reduction of the dissolved metal ions



The stages on corrosion process in 4 phases, as follows: [8].

1. Anode, oxidation reaction occurs that releases electrons, so the corrosion process will take place.
 2. Cathode, there will be a reduction reaction that will capture electrons.
 3. The electrolyte as a medium of contact between the anode and the cathode so as to allow the flow of electricity.
 4. The electrical circuit between the anode and cathode which allows the flow of electrons
- Water is a one aggressive substance towards metal which pasted. Because water will be ionized to produce ions H^+ and OH^- ions in 10^{-7} mol per liter ($pH = 7$). H^+ ions will acts as an oxidant in corrosion process in the structure and components of the material reactor. So the presence of hydrogen ions in the water has a chance to damage the metal, support for the corrosion process such as the occurrence of defects on the surface[9]. Corrosion will occur in the structure and components on the material reactor if water is used in reactor coolant contains aggressive ions such as chloride ion and cupper ion. For example, the aggressiveness of ion chloride and copper ion in form of pitting on aluminum alloy such as Figure 1 [10-12].

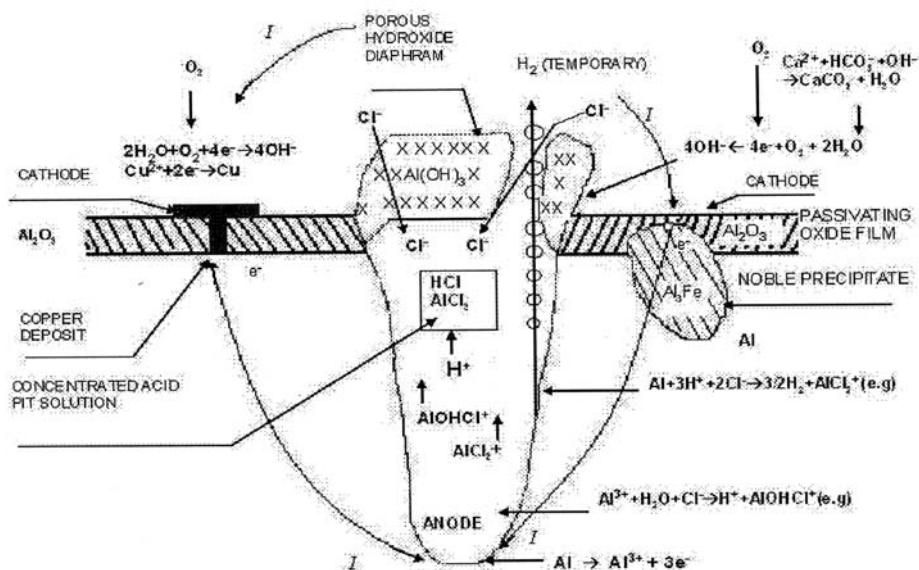


Figure 1. Formation process of pitting corrosion due to the effect of chloride ions and copper ions on aluminum alloy [10].

METHODOLOGY

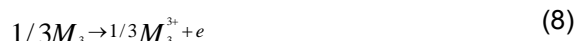
If the primary cooling water in RSG GAS containing chloride ions and copper ions, the integrity of the material reactor tank needs to be analyzed to ensure the continuity and safety of operation. The analysis was performed through corrosion process using a potentiogalvanostate for Al_2Mg_3 as the reactor tank material on the solution that contains chloride and copper ion. The element content on Al_2Mg_3 as described in the Table 1.

Table 1. Element content on Al_2Mg_3 [13].

Element W (%)	Al	Fe	Mn	Cu
	98.9034	0.4939	0.4189	0.1838

Al_2Mg_3 had cutting with 1.6 cm diameter cylindrical shape as a sample corrosion test. The sample then polishing by using sandpaper with 100, 400, 800, 1200 mesh. Simulations carried out by using a sodium chloride solution with varying concentrations of 0, 2, 4, 6 ppm. Varien concentration of copper solution with 0.02 ppm, 0.1 ppm, 0.15 ppm is add on the sodium chloride solution 2 ppm. The corrosion rate is calculated using the phenomenon of Faraday's law [14]:

Corrosion process on the metal (M), occurs electrochemically by follow the equation such as



M_1 = monovalent metal M_2 = bivalent metal and M_3 = trivalent metal

If in the corrosion test, has result the current (i_{corr}) of 1 Faraday (96500 Coulomb) means there has been a corrosion process on metal as much as 1 equivalent. Faraday formulation to calculate the corrosion rate.

$$Corrosion.rate = \frac{0.13i.eq}{\rho A} mpy$$

corrosion rate = mpy (mili inchi per year)

A = area of the metal (cm^2)

eq = equivalent weight

ρ = metal density (gr/cm^3)

i = current (mili ampere)

RESULTS AND DISCUSSION

The water quality requirements (safety analysis report) on Triga Reactor-Bandung, Kartini reactor-Yogyakarta, RSG GAS-Serpong are shown in Table 2:

Table 2. Safety analysis report of water quality requirement

No.	Parameter	Reactor research		
		Kartini	Triga	RSG GAS
1.	pH	5.5 – 6.5	5.5 - 6.5	5.8 – 7.0
2.	λ ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	< 3.5	< 3.5	< 8.0
3.	TDS (ppm)	-	-	-
4.	Ca (ppm)	< 1	< 1	-
5.	Mg (ppm)	< 1	< 1	-
6.	Si (ppm)	< 1	< 1	-
7.	Na (ppm)	< 1	< 1	0.0232
8.	Fe (ppm)	-	-	-
9.	Mn (ppm)	0.004	< 0.1	-
10.	Al (ppm)	-	-	0.0115
11.	Cu (ppm)	-	-	0.0209
12.	Ni (ppm)	-	-	-
13.	Zn (ppm)	-	-	-
14.	Cd (ppm)	-	-	-
15.	Be (ppm)	-	-	-
16.	Cl^- (ppm)	-	-	0.049
17.	SO_4^{2-} (ppm)	-	-	0.0528

Effect of chloride ion to Al_2Mg_3 corrosion rate as RSG GAS reactor tank material is shown in Figure 2. Effect of copper ion concentration of 0.2; 0.10; 0.150 ppm to Al_2Mg_3 corrosion rate on chloride solution as shown in Table 3. We can see that there are the corrosion process on Al_2Mg_3 on concentration chloride ion solution 0 ppm with corrosion rate of 0.0121 mpy (0.000307 mm/year). It is possible there are the corrosion process on Al_2Mg_3 , supported by reaction 1,2 and 3. Water will contribute the corrosion process, in the presence of hydrogen ions from the dissociation process, it is exactly to effect for the corrosion process. If ion concentration at primary cooling water can be maintained under the standard requirement, especially ion concentration 0 ppm, a reduction in the thickness of the reactor tank material for 30 years was 0.363 milli-inch (0.009210 mm). Reduction in thickness due to corrosion of the reactor material tank in these conditions is small relatively so that the integrity of the reactor material tank is still high relatively.

The RSG GAS safety analysis reports of chloride ion concentration on the primary cooling water is 0.049 ppm. Based on the curve of Figure 2, can be determined that the corrosion rate of RSG GAS reactor material tank is 0.0144 mpy (0.000365 mm/year). So, thinning tank reactors over 30 years of age RSG will not exceed 0.432 milli-inch (0.010970 mm). This condition is still safe for thinning reactor material tank still small relatively. So that the integrity of the material tank is high relatively.

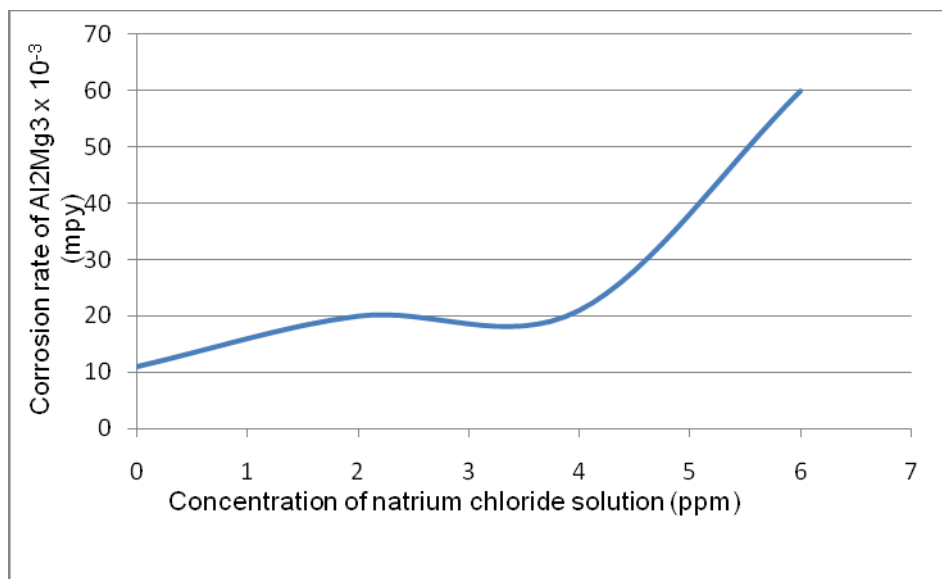


Figure 2. Effect of chloride ion to Al₂Mg₃ corrosion rate

Table 3. Effect of copper ion to Al₂Mg₃ corrosion rate

Konsentrasi Cl ⁻ / Cu ²⁺ (ppm)	0,00/0,00	2,00/ 0,00	2,00/0,02	2,00/0,10	2,00/ 0,15
Corrosion rate (mpy)	0,0121 mpy (0,000307 mm/year)	0,0213 mpy (0,000541 mm/year)	0,0639 mpy (0,001623 mm/year)	0,0958 mpy (0,002434 mm/year)	0,1478 mpy (0,003754 mm/year)

The corrosion rate of Al₂Mg₃ at 2, 4 and 6 ppm chloride ion concentration, is 0.0213 mpy (0.000541 mm/year), 0.0258 mpy (0.000655 mm/year) and 0.0609 mpy (0.001546 mm / year). So can be expected the possibility of thinning material for 30 years is 0.639 milli-inch (0.016230 mm), 0.774 milli-inch (0.019650 mm), and 1.827 milli-inch (0.046400 mm). On the condition of the chloride ion concentration below 6 ppm, thinning of the reactor tank is small relatively so that the integrity of the reactor material tank at these concentrations can still be maintained. It can be seen table 3, that the corrosion rate of Al₂Mg₃ in the chloride solution with concentration of 2 ppm add the copper solution with 0.150 ppm is 0.1478 mpy (0.003754 mm/year), much higher than the corrosion rate of Al₂Mg₃ in the chloride solution with concentration of 2 ppm with and without copper solution is 0.0213 mpy (0.000541 mm / year). We can see that increase of the corrosion rate is 7 times. It can be confirmed that the presence of copper ions in the primary cooling water would be able to trigger an increase in the corrosion rate of Al₂Mg₃.

Monitoring of primary cooling water quality especially chloride ions and copper ions as periodically should be done so that the integrity of the reactor material can be maintained. If there are symptoms of increased ion is then immediately do a more intensive refining primary cooling water thus further corrosion of the tank can be avoided.

CONCLUSION

A concentration of chloride ions in primary cooling water is greater than 6 ppm potentially degrade the integrity of the material reactor tank. Presence of copper ions in the primary cooling water would accelerate damage to the material reactor tank. Monitoring of primary cooling water quality especially chloride and copper ions should be done periodically so that the integrity of the reactor material can be maintained. If there are symptoms of increased ion is then immediately do a more intensive refining primary cooling water thus further corrosion of the tank can be avoided. Monitoring of primary cooling water quality especially chloride ions and copper ions as periodically should be done so that the integrity of the reactor material can be maintained.

ACKNOWLEDGMENT

The author appreciates gratefully acknowledge the financial support of DIPA of PTKRN 2016 (BATAN) that makes this research possible.

REFERENCES

1. YEON SOO KIM, G.I HOFMAN, A.B. ROBINSON, "Oxidation of Aluminum Alloy Cladding for Research and Test Reactor Fuel", Elsevier: Journal of Nuclear Materials, vol.378, pp: 220-228 (2008).
2. IAEA, "Ageing Management For Research Reactors", IAEA Safety Standards Series No. SSG-10, Vienna, International Atomic Energy Agency (2010).
3. MAHBUBOOR R. CHOUDURY, MING-KAI HSIEH., RADISAV D VIDIC., DAVID A. DZOMBAK., "Corrosion Management In Power plant Cooling Systems Using Tertiary-Treated Municipal Wastewater as Makeup Water"., Elsevier: Corrosion Science. Vol 61: 231-241.(2012).
4. SINDELAR ROBERT L, CHANDLER GREG T AND MICALONIS JOHN L" Water Quality and Corrosion: Considerations for Nuclear Reactor Systems,"Journal of the South Carolina Academy of Science, Vol. 9: Iss. 1, Article 13 (2013).
5. PETER L. ANDERSEN, Corrosion Sci of Journal., Vol. 69, No. 10, pp. 1024-1038 (2013).
6. IAEA, TRS No. 418, "Corrosion Of Research Reactor Aluminium Clad Spent Fuel In Water" IAEA, Vienna (2003).
7. LIJIN DONG and EN-HOU HAN, "Environmentally Assisted Crack Growth in 308L Stainless Steel Weld Metal in Simulated Primary Water", Corrosion Science, Vol 117, pp.1-10 (2017).
8. RAKHMAD INDRA PRAMANA., "Studi Ekstrak Beluntas (Plunchea Indica Less) Sebagai Inhibitor Korosi Ramah lingkungan Terhadap Baja Karbon Rendah Di Lingkungan 3,5 % NaCl"., Tesis FT-UI, Jakarta(2012)
9. ADRIAN, "Perilaku Korosi Material Baja Paduan Akibat Pengaruh Kondensat Yang Berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi", Tesis, FMIPA-UI, Jakarta (2009).
10. P. M. NATISHAN AND W. E. O'GRADY, "Chloride Ion Interactions with Oxide-Covered Aluminum Leading to Pitting Corrosion: A Review", *J. Electrochem. Soc.* Vol. 161, issue 9, pp.421-432 (2014)
11. ROSA VERA AND PATRICIA VERDUGO, "Corrosion of Aluminium in Copper-Aluminium Couples Under a Marine Environment: Influence Of Polyaniline Deposited Onto Copper", Corrosion Science, Vol 52, Issue 11, pp.3803-3810 (2010).
12. H. NADY, M.M.EL-RABIEI, M.SAMY, "Corrosion Behavior and Electrochemical Properties Of carbon Steel, Commercial pure Titanium, Copper and Copper-Aluminum-Nickel Alloy in 3.5% Sodium Chloride Containing Sulfide Ions", Egyptian Journal of Petroleum, Vol 26, Issue 1, pp:79-94 (2017).
13. GENI RINA SUNARYO, SRIYONO, "Aplikasi Program Pengawasan korosi Untuk Kolam Penyimpanan Reaktor RSG-GAS", Prosiding Seminar Nasional ke-16 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir ISSN : 0854 - 2910, pp: 158 -164 (2010)
14. SOFYAN YUSUF, "Laju Korosi Pipa Baja Karbon A106 Sebagai Fungsi Temperatur dan Konsentrasi NaCl Pada Fluida Yang Tersaturasi Gas CO₂", Tesis, FMIPA-UI, Jakarta (2008)

MONITORING TEGANGAN LDR MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA-2560 BERBASIS LabVIEW UNTUK PENGUKURAN KERAPATAN AEROSOL

G. Bambang Heru K, Alim Mardhi, Joko P, Edy S, Deswandri, Geni R Sunaryo

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir – BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan
email: heru66@batan.go.id

ABSTRAK

MONITORING TEGANGAN LDR MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA-2560 BERBASIS LabVIEW UNTUK PENGUKURAN KERAPATAN AEROSOL. Pendinginan eksternal maupun internal sungkup reaktor dapat disimulasikan menggunakan FESPECo. DAS-NI sebagai sistem instrumentasi FESPECo dikembangkan guna memenuhi kebutuhan berbagai parameter pengukuran yang diperlukan, salah satunya adalah pengukuran kerapatan aerosol. Pada kegiatan ini dilakukan pembuatan program monitoring tegangan LDR yang digunakan sebagai sensor cahaya pada sistem pengukuran kerapatan aerosol. Tujuan kegiatan untuk memonitor tegangan LDR sebagai fungsi kerapatan aerosol yang dapat dipantau secara *real time* pada *front panel* LabVIEW. Dalam setiap tahapan simulasi, tegangan LDR dipantau berdasarkan intensitas cahaya yang diterima. Signal tegangan LDR tersebut dikondisikan dengan modul arduino mega-2560, selanjutnya dibaca menggunakan program aplikasi LabVIEW. Hasil eksekusi program menunjukkan tegangan LDR pada setiap tahapan simulasi dapat dipantau secara *real time* pada *front panel* LabVIEW. Dengan demikian program monitoring tegangan LDR dapat diaplikasikan pada sistem pengukuran kerapatan aerosol.

Kata kunci: FESPECo, DAS-NI, LDR, aerosol, LabVIEW.

ABSTRACT

LDR VOLTAGE MONITORING USING ARDUINO-2560 LABVIEW BASED FOR THE MEASUREMENT OF AEROSOL DENSITY. *The cooling of internal and external can be simulated using FESPECo. The NI data acquisition system as FESPECo instrumentation system has been developed in order to meet various parameter measurements required of the aerosol density. In every stage of simulated, voltage LDR monitored based on the intensity of light received. Voltage the signal LDR conditioned with modules arduino mega-2560, then read on the application LabVIEW. The program voltage execution show LDR at every stage simulated can be monitored in real time in front labview panel. Thus the monitoring voltage LDR can be applied in a system of measuring aerosol density*

Keywords: FESPECo, DAS-NI, LDR, aerosols, LabVIEW.

PENDAHULUAN

Sungkup reaktor merupakan benteng terakhir untuk menahan terlepasnya zat-zat radio aktif ke lingkungan saat terjadi kecelakaan parah dari PLTN (Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir). Sehingga, diperlukan pendinginan sungkup reaktor untuk mencegah terlampauinya batas desain (tekanan dan temperatur) yang dapat terjadi pada saat kecelakaan nuklir. Penelitian pendinginan sungkup reaktor, baik sistem pendinginan aktif maupun pasif terus dilakukan dan dikembangkan oleh banyak negara[1-3]. Setelah terjadinya kecelakaan parah yang menyebabkan lelehnya teras, maka reruntuhan teras akan jatuh pada lantai beton sungkup. Interaksi antara reruntuhan teras dengan beton sungkup menghasilkan partikel partikel aerosol produk fisi yang tersebar pada atmosfer sungkup[4-6]. Pendinginan sungkup secara eksternal maupun internal dapat disimulasikan menggunakan Fasilitas Eksperimen Simulasi Pendingin Containment (FESPECo). FESPECo adalah sarana eksperimen untuk memahami fenomena pendinginan pada sungkup reaktor nuklir ketika diasumsikan terjadi kecelakaan parah pada PLTN.

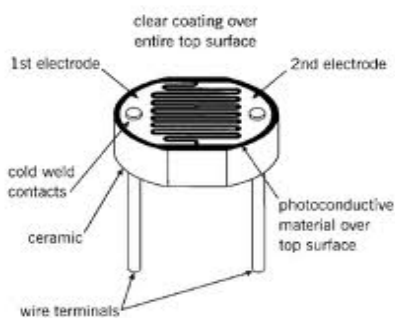
FESPECo dilengkapi sistem akuisisi data (DAS) National Instruments dengan program aplikasi LabVIEW. Sampai dengan saat ini, parameter pengukuran DAS-NI adalah tekanan, temperatur dan laju alir[7]. DAS-NI sebagai sistem instrumentasi FESPECo dikembangkan guna memenuhi kebutuhan berbagai parameter pengukuran yang diperlukan. Salah satunya adalah pengukuran kerapatan aerosol. Metode pengukuran yang digunakan pada sistem pengukuran kerapatan aerosol adalah beda intensitas cahaya. Sumber cahaya yang digunakan adalah sinar laser dan sebagai sensor cahaya digunakan *Light Dependent Resistor* (LDR). Tegangan LDR akan berubah sesuai intensitas cahaya yang diterima. Jika aerosol dikondisikan berada antara sumber cahaya dan sensor cahaya, maka besar tegangan LDR merupakan fungsi dari kerapatan aerosol tersebut. Kegiatan penelitian difokuskan pada pembuatan program monitoring tegangan LDR menggunakan modul Arduino Mega-2560 berbasis LabVIEW yang diaplikasikan pada sistem pengukuran kerapatan aerosol.

METODOLOGI

1. Alat dan bahan

Light Dependent Resistor

Light Dependent Resistor (LDR) biasa digunakan sebagai sensor cahaya. LDR adalah jenis resistor yang nilai hambatannya berubah sesuai intensitas cahaya yang diterima. Semakin besar intensitas cahaya yang diterima semakin kecil hambatannya. LDR terdiri dari sebuah cakram semikonduktor yang mempunyai dua buah elektroda pada permukaannya seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. *Light Dependent Resistor* [8]

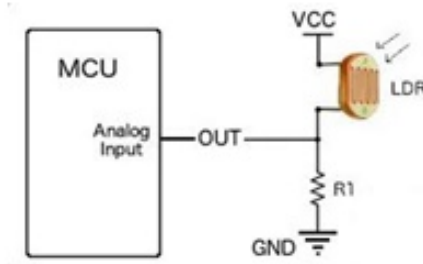
Gambar 1 menunjukkan adanya material *photoconductive* pada permukaan LDR yang memisahkan elektroda 1 dengan elektroda 2. Material tersebut terbuat dari cadmium sulphida (CdS) yang sangat sensitif terhadap pengaruh cahaya. CdS merupakan bahan semikonduktor yang memiliki gap energi antara elektron konduksi dan elektron valensi. Ketika cahaya mengenai CdS, maka hambatannya akan berkurang[8,9]. Rentang tegangan LDR diperoleh ketika intensitas cahaya diterima penuh (tanpa halangan) dan ketika cahaya sama sekali tidak diterima (terhalang penuh). Variasi tegangan dilakukan dengan memberi penghalang cahaya, pada kegiatan ini digunakan asap.

Ketika LDR dialiri arus listrik, arus mengalir dari elektroda 1 menuju elektroda 2 melalui CdS, sehingga tegangan LDR dapat dihitung dengan rumus(1).

$$V = i R \quad (1)$$

dengan : V = Tegangan LDR (Volt)
 i = Arus (Ampere)
 R = Hambatan CdS (Ohm)

Tegangan LDR berubah seiring dengan perubahan hambatan CdS. Sebagai sensor kerapatan aerosol, besar tegangan LDR merupakan fungsi dari kerapatan aerosol. Perubahan tegangan LDR dipantau melalui modul kontroler seperti pada Gambar 2. Pada kegiatan ini, sebagai modul kontroler digunakan modul Arduino Mega-2560.



Gambar 2. LDR terangkai sebagai sensor cahaya [9]

Gambar 2 menunjukkan LDR dirangkai pada rangkaian pembagi tegangan. R_1 berfungsi untuk menjaga tegangan LDR tidak *short* ketika hambatannya sangat kecil. Tegangan LDR dapat dihitung dengan rumus(2).

$$V_{LDR} = \frac{R_1}{R_1 + R_{LDR}} V_{CC} \quad (2)$$

dengan :

V_{LDR}	=	Tegangan LDR	(Volt)
R_{LDR}	=	Hambatan LDR	(Ohm)
R_1	=	Hambatan	(Ohm)
V_{CC}	=	Tegangan catu daya	(Volt)

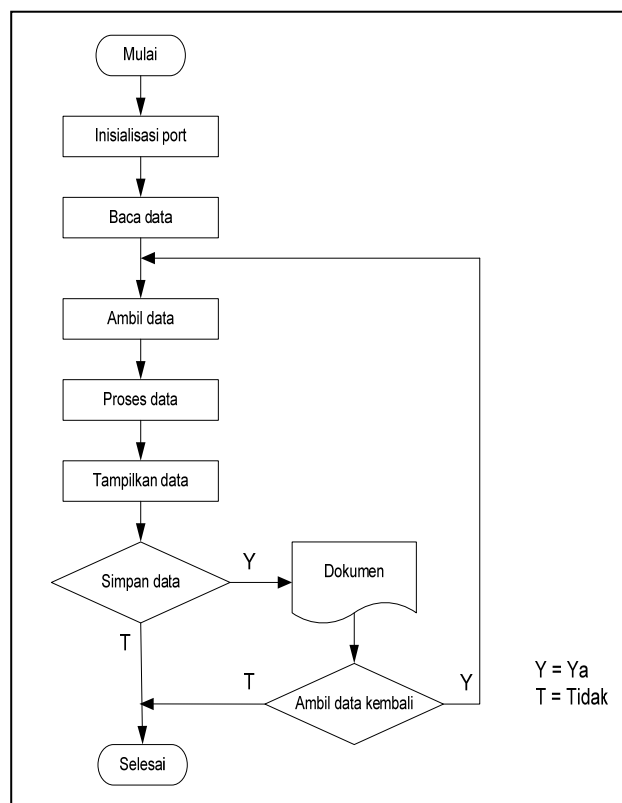
Arduino Mega-2560

Arduino Mega-2560 adalah sebuah rangkaian yang dikembangkan dari mikrokontroler berbasis AT-Mega. Arduino Mega-2560 memiliki 2 port analog input dan 1 port digital input seperti terlihat pada Gambar 3, dimana setiap port terdiri dari 8 kanal. Kelebihan Arduino diantaranya adalah tidak perlu perangkat chip programmer karena didalamnya sudah ada *bootloader* yang akan menangani *upload* program dari komputer. Selain itu arduino sudah memiliki sarana komunikasi USB, sehingga pengguna yang tidak memiliki port serial/RS-323 bisa menggunakannya[10].



Gambar 3. Modul Arduino Mega-2560 [10]

Pada kegiatan ini, analog input (P0 dan P1) Arduino Mega-2560 terhubung dengan LDR yang difungsikan sebagai sensor cahaya seperti pada Gambar 2. Dengan demikian tersedia 16 kanal untuk 16 LDR. Signal tegangan LDR dibaca LabVIEW dan ditampilkan pada *front panel*, selanjutnya disimpan dengan selang waktu 1 detik. Perlu terlebih dahulu menginstal *driver* arduino agar dapat dikenal oleh program aplikasi LabVIEW. Diagram alir pemrograman LabVIEW dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir pemrograman LabVIEW

LabVIEW membaca signal tegangan LDR pada setiap kanal analog input arduino mega-2560, selanjutnya ditampilkan pada *front panel*. Pada *front panel* dibuat multi menu tampilan yang terdiri dari menu display, data dan grafik. Masing-masing menu tersebut memberikan data tegangan LDR pada setiap kanal arduino secara *real time*. Mengikuti alur program pada Gambar 4, selanjutnya data disimpan dengan mengikut sertakan waktu. Waktu yang dimaksud adalah waktu sesuai format komputer yang digunakan.

2. Setup simulasi

Langkah awal simulasi dengan mengkondisikan sumber cahaya sinar laser dan LDR berjarak tetap pada sebuah kotak yang dapat ditutup rapat, arah sinar laser tepat mengenai permukaan LDR. LDR dirangkai sebagai salah satu hambatan pada rangkaian pembagi tegangan seperti pada Gambar 2. Titik yang menyatakan tegangan LDR dihubungkan ke port 0.0 modul arduino. Pada kotak dimana sumber cahaya dan LDR terpasang, disiapkan selang untuk saluran asap yang akan ditiupkan ke dalam kotak tersebut.

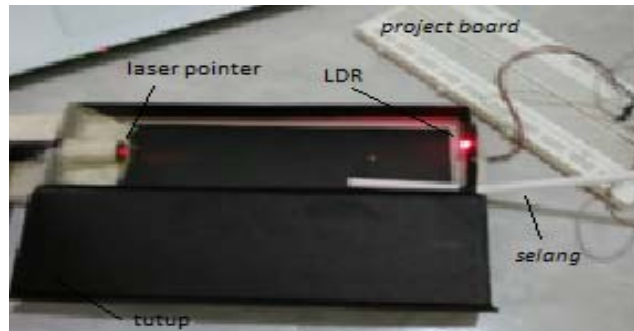
3. Tahapan simulasi

Tahapan simulasi diawali dengan memantau tegangan LDR pada pencahayaan ruang. Selanjutnya kotak ditutup sehingga tidak ada cahaya yang masuk. Biarkan beberapa saat dan nyalakan sinar laser. Tiupkan asap kedalam wadah melalui selang yang tersedia, tunggu sampai tegangan LDR menunjukkan kondisi tanpa halangan. Buka tutup kotak, amati apakah masih ada asap dalam kotak. Matikan sinar laser dan biarkan tegangan LDR kembali seperti pada kondisi pencahayaan ruang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

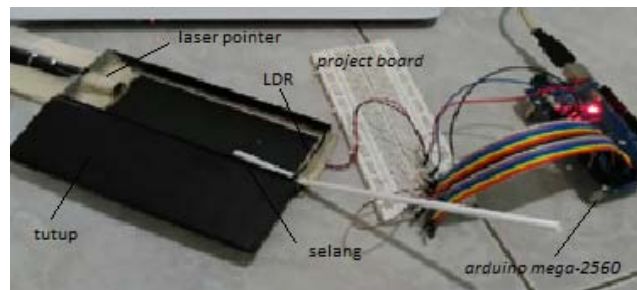
1. Hasil setup simulasi

Gambar 5 adalah foto setup simulasi yang memperlihatkan kotak hitam, *project board* dan modul arduino. Kotak hitam mempunyai tutup yang dapat direkatkan. Pada sisi sebelah kiri kotak dipasang laser pointer merah sebagai sumber sinar laser dan sisi sebelah kanan dipasang LDR.



Gambar 5. Foto kotak simulasi kerapatan aerosol

Bintik merah pada LDR menandakan sinar laser mengenai permukaan LDR. Selang putih di dekat LDR adalah sedotan plastik yang digunakan sebagai saluran asap. LDR terhubung dengan rangkaian pembagi tegangan yang dipasang pada *project board* terlihat pada Gambar 6.

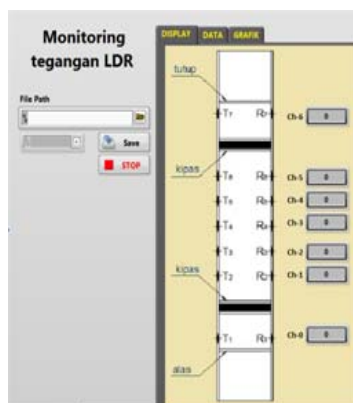


Gambar 6 . Foto setup simulasi kerapatan aerosol

Project board berfungsi untuk merangkai rangkaian pembagi tegangan. Vcc menggunakan fasilitas dari modul arduino sebesar 5 volt. LDR dihubungkan ke rangkaian pembagi tegangan melalui kabel, demikian juga untuk titik tegangan LDR dihubungkan dengan kabel ke modul arduino. Kabel pita yang terlihat pada Gambar 6 untuk menyambungkan kanal arduino yang tidak digunakan ke *ground*.

2. Hasil eksekusi program

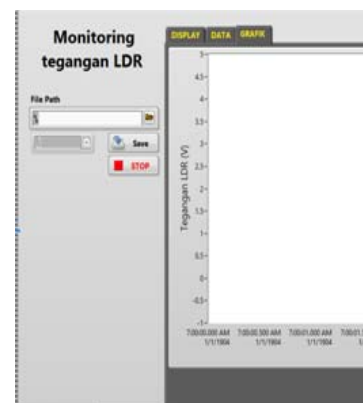
Terdapat 3 menu yang tersedia pada *Front panel* program LabVIEW yaitu menu display, menu data dan menu grafik seperti pada Gambar 7a, 7b dan 7c.



Gambar 7a. Menu display



Gambar 7b. Menu data



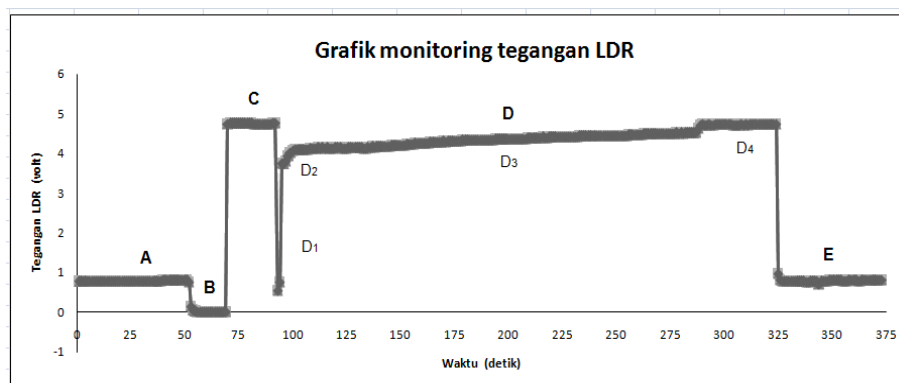
Gambar 7c. Menu grafik

Semua menu menampilkan data tegangan LDR pada kanal arduino tetapi berbeda cara menampilkannya. Hal tersebut dilakukan untuk mempermudah monitoring data sesuai kebutuhan. Pada menu display, data ditampilkan sesuai posisi LDR pada fasilitas simulasi

kerapatan aerosol. Sedangkan menu data memperlihatkan data pada semua kanal arduino berikut dengan waktunya. Menu grafik menampilkan semua data secara grafik, perubahan data lebih mudah dilihat dengan menu ini.

3. Hasil simulasi

Simulasi pengukuran kerapatan aerosol menggunakan asap dilakukan sesuai tahapan simulasi. Simulasi dilakukan dalam waktu 375 detik dan hasilnya terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik simulasi kerapatan aerosol menggunakan asap

Grafik pada Gambar 8 dibagi dalam beberapa bagian yaitu bagian A sampai dengan E. Setiap bagian menunjukkan tegangan LDR pada intensitas cahaya yang berbeda sesuai tahapan simulasi. Bagian A menunjukkan tegangan LDR pada intensitas cahaya ruang. Bagian B tanpa cahaya (gelap), bagian C intensitas cahaya sinar laser, bagian D intensitas cahaya sinar laser terhalang asap dan bagian E intensitas cahaya ruang. Setiap bagian dipantau secara *real time* dengan *delay time* 1 detik sampai dengan tegangan LDR menunjukkan nilai tegangan yang stabil.

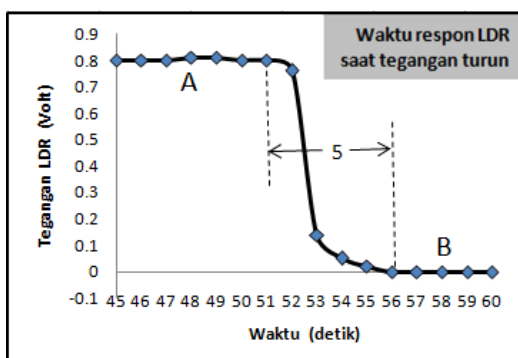
Ketika program dieksekusi, kotak simulasi seperti pada Gambar 5 dibiarkan terbuka sehingga LDR mendapat intensitas cahaya ruang (bagian A). Tegangan LDR terpantau stabil antara 0,77–0,81 volt. Selanjutnya kotak ditutup (bagian B), tegangan LDR menurun mendekati 0 volt. *Laser pointer* sebagai sumber sinar laser dihidupkan (bagian C), tegangan LDR naik antara 4,73-4,77 volt. Dilanjutkan dengan meniupkan asap melalui sedotan plastik (bagian D). Gambar 8 memperlihatkan bagian D terbagi menjadi 4 bagian, yaitu D₁, D₂, D₃ dan D₄. Pembagian ini berdasarkan perkiraan posisi asap di dalam kotak. Diperkirakan pada bagian D₁, begitu asap ditiupkan langsung menutup sinar laser dan belum sempat memenuhi ruangan (tidak merata). Hal ini terlihat dari turunnya tegangan LDR secara tajam. Pada bagian D₂, diperkirakan asap mulai memenuhi ruangan (merata) sehingga kepekatan asap berkurang, hal ini terlihat dengan naiknya tegangan LDR. Bagian D₃, diperkirakan asap mulai keluar dari dalam kotak secara perlahan. Dari luar kotak tidak terlihat adanya asap yang keluar, tetapi perkiraan tersebut berdasarkan pada penutup kotak yang kurang rapat untuk menahan asap. Pada bagian ini tegangan LDR terlihat naik dengan pelan, lebih lama dibandingkan dengan bagian yang lain. Setelah dirasa cukup lama yaitu 200 detik setelah asap ditiupkan, kotak dibuka dan dimulailah bagian D₄. Begitu tutup kotak dibuka, terlihat asap tipis masih ada dalam kotak, tegangan LDR naik lebih cepat seiring dengan keluarnya asap. Ketika tegangan LDR menunjukkan nilai yang sama seperti pada bagian C, sinar laser dimatikan. Bagian E memperlihatkan tegangan LDR mendekati tegangan awal simulasi dilakukan yaitu pada intensitas cahaya ruang.

Digunakannya asap sebagai pengganti aerosol dengan pertimbangan bahwa dimensi asap lebih kecil/halus dibanding dengan aerosol hasil produk fisi pada kontaimen reaktor. Jika dengan dimensi yang kecil sinar dapat terhalang, dimensi yang lebih besar juga dapat menghalangi sinar.

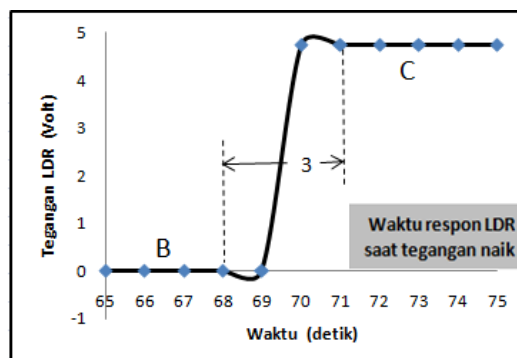
4. Waktu respon

Waktu respon diperlukan untuk melihat kemampuan respon modul arduino mega-2560 dalam membaca perubahan tegangan LDR. Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 8, terlihat tegangan LDR kadang naik dan turun sesuai intensitas cahaya yang diterima.

Waktu respon ketika tegangan LDR turun dapat dilihat pada saat kotak akan ditutup (bagian A menuju B), cuplikan grafik pada kejadian tersebut dapat dilihat pada Gambar 9a. Cuplikan grafik untuk kejadian tegangan LDR naik (bagian B menuju C) terlihat pada Gambar 9b.



Gambar 9a. Waktu respon LDR pada saat tegangan turun



Gambar 9b. Waktu respon LDR pada saat tegangan naik

Grafik pada Gambar 9a menunjukkan waktu respon tegangan turun terlihat pada detik ke 51 sampai dengan detik ke 56 selanjutnya tegangannya stabil. Tegangan LDR turun juga dapat dilihat pada saat sinar laser dimatikan, bagian D₄ menuju bagian E. Waktu responnya juga hampir sama sekitar 5 detik. Grafik pada Gambar 9b menunjukkan waktu respon tegangan naik pada detik ke 68 sampai dengan detik ke 71, sekitar 3 detik.

Waktu respon sebuah alat ukur yang baik mendekati waktu respon dari sensor yang digunakan. LDR sebagai sensor cahaya mempunyai waktu respon dalam orde mili detik. Melihat waktu respon hasil simulasi pada gambar 9a dan 9b terlihat perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini bukan berarti modul arduino mega-2560 tidak dapat merespon dalam orde mili detik, tetapi lebih pada sistem instrumentasi yang belum terangkai dengan baik. Rangkaian pembagi masih dilakukan pada *project board* dan *delay time* 1 detik juga perlu dipercepat, hal ini menjadi catatan untuk perakitan sistem selanjutnya. Sesuai dengan tujuan dari kegiatan yaitu monitoring tegangan LDR, Gambar 8 bagian D (D₁ sampai D₄) menunjukkan bahwa kerapatan asap dapat dimonitor secara *real time* pada *front panel* program LabVIEW. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa program monitoring tegangan LDR dapat diaplikasikan pada sistem pengukuran kerapatan aerosol.

KESIMPULAN

Hasil eksekusi program monitoring tegangan LDR menjelaskan bahwa perubahan tegangan LDR dapat dimonitor pada *front panel* secara *real time* untuk setiap tahapan simulasi. Perubahan tegangan LDR dapat dikondisikan dengan modul arduino mega-2560 sehingga dapat dibaca oleh program LabVIEW. Simulasi menggunakan asap menunjukkan bahwa secara kualitatif sistem instrumentasi yang dibangun dapat digunakan sebagai pengukur kerapatan aerosol. Dengan demikian program monitoring tegangan LDR dapat diaplikasikan pada sistem pengukuran kerapatan aerosol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Hendro Tjahjono selaku narasumber pada kegiatan penelitian ini. Penelitian didanai oleh DIPA PTKRN tahun anggaran 2016-2017.

DAFTAR PUSTAKA

1. HENDRO TJAHOJONO, "Optimasi Pendinginan Eksternal Pada Model Sungkup PWR-1000 Menggunakan Metode Estimasi Analitik" Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir, Vol.16, No.2, Juni, (2014)59-74.
2. ANDY SOFRANY, dkk "Pemodelan Sistem Pendinginan Sungkup Secara Pasif Menggunakan Relap5", Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir, Vol.14, No.3, Oktober, (2012)137-145.

3. HENDRO TJAHHJONO, "Investigasi Transien Tekanan dan Temperatur Sungkup AP1000 dalam Kecelakaan SBO dengan Set-point Tekanan Pengguyuran Berbeda", Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir, Vol.17, No.1, Februari, (2015)1-12.
4. BUDI ROHMAN, "Pemanasan Sungkup Reaktor Pada Saat Terjadinya Pelelehan Teras" Prosiding Seminar Nasional ke-9 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, JAKARTA, 20, Agustus, (2003)149-158.
5. BUDI ROHMAN, dkk "Penyebaran dan Perilaku Produk Fisi di dalam Kontainmen Reaktor", Prosiding Presentasi Ilmiah Teknologi Keselamatan Reaktor-III, 13-14, Mei, (1998)151-156.
6. JUPITER SITORUS PANE dan SURIP WIDODO, "Analisis Pengendalian dan Pemindahan Produk Fisi PWR dengan Artmod", Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir, Bandung, 4, Juli, (2013)445-452.
7. G. BAMBANG HERU K, dkk "Pemrograman Sistem Akuisisi Data Pengukuran pada Fasilitas Eksperimen Simulasi Pendingin Containment", Sigma Epsilon, Vol.18, No.2, Mei, (2014)51-57.
8. TRISHA GUSTIYA, dkk "Sensor Cahaya LDR (Light Dependent Resistor) Berbasis Mikrokontroler At Mega 328 Sebagai Alat Pendeteksi Kekeruhan Air", Prosiding Seminar Kontribusi Fisika, Bandung, 16-17, Desember, (2015)83-88.
9. ELLYS KUMALA dan ENDARKO "Kajian Alat Ukur dan Sensor Standar pada Proses Kalibrasi Data Sensor Cahaya", Jurnal Fisika dan Aplikasinya, Vol.8, No.2, Juni, (2012)120206|1-4.
10. SILVIA, dkk "Rancang Bangun Akses Kontrol Pintu Gerbang Berbasis Arduino dan Android", Jurnal Electrans, Vol.13, No.1, (2014)1-10.

EFFECT OF TEMPERATURE TO ADSORPTION CAPACITY AND DISTRIBUTION COEFFICIENT ON RARE EARTH ELEMENTS ADSORPTION (Y, Dy, Gd) USING SIR

Dwi Biyantoro¹, Agus Taftazani¹, Aswati Mindaryani², Supranto², Nofriady Aziz²

¹Pusat Sains dan Teknologi Akselerator – BATAN, Jl. Babarsari YKBB Yogyakarta

²Universitas Gadjah Mada, Jl. Bulak Sumur Yogyakarta

Email: d.biyantoro@gmail.com

ABSTRACT

EFFECT OF TEMPERATURE TO ADSORPTION CAPACITY AND DISTRIBUTION COEFFICIENT ON RARE EARTH ELEMENTS ADSORPTION (Y, Dy, Gd) USING SIR. The use of Rare Earth Elements (REEs) like element of yttrium (Y) as a superconducting material requires a purity of more than 90% so it needs to increase the purity of Y from the separation and purification process. The purpose of this research is to study the separation process of REEs (Y, Gd, Dy) elements from RE Hydroxide (RE(OH)₃) using Solvent Impregnated Resins (SIR). This research was conducted on variation of SIR composition, temperature variation of adsorption process, determination of equilibrium equation and kinetic sorption occurring in SIR adsorption. Based on the calculation result, the most effective SIR composition for REEs separation is 0.75 g, the equilibrium equation for Y, Gd and Dy approximates the Henry equilibrium model and the pseudo kinetic model of the reaction order Y, Gd, and Dy is approximated by the pseudo reaction of second order. The result of separation of RE(OH)₃ with SIR is said to be effective from other method because purity is obtained that is 96.73% and qualify as a superconductor material.

Keywords: SIR, Amberlite XAD-16, REEs, TBP, D2EHPA

ABSTRAK

PENGARUH SUHU TERHADAP DAYA SERAP DAN KOEFISIEN DISTRIBUSI PADA ADSORPSI LOGAM TANAH JARANG (Y, Gd, Dy) DENGAN SIR. Penggunaan Logam Tanah Jarang (LTJ) seperti unsur itrium (Y) sebagai bahan superkonduktor memerlukan kemurnian lebih dari 90% sehingga perlu ditingkatkan kemurnian Y dari hasil proses pemisahan dan pemurnian. Tujuan penelitian ini untuk mempelajari proses pemisahan unsur LTJ (Y, Gd, Dy) dari LTJ hidoksida (LTJ(OH)₃) menggunakan metode "Solvent Impregnated Resins" (SIR). Pada penelitian ini dilakukan variasi komposisi SIR, variasi suhu proses adsorpsi, penentuan persamaan kesetimbangan dan sorpsi kinetik yang terjadi di dalam adsorpsi SIR. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh hasil komposisi SIR yang paling efektif untuk pemisahan LTJ yaitu 0,75 g, persamaan kesetimbangan untuk Y, Gd dan Dy mendekati model kesetimbangan Henry dan model kinetik pseudo orde reaksi Y, Gd, dan Dy didekati dengan reaksi pseudo orde 2. Hasil pemisahan LTJ dengan SIR dikatakan efektif dari metode lainnya dikarenakan kemurnian yang diperoleh yaitu 96,73% dan memenuhi syarat sebagai bahan superkonduktor.

Kata kunci: SIR, Amberlite XAD-16, LTJ, TBP, D2EHPA

INTRODUCTION

Rare earth elements (REEs) are the group of 15 metallic, chemical elements with atomic numbers from 57 to 71 and also scandium and yttrium. They are divided into three groups: the light (La, Ce, Pr, Nd), middle (Sm, Eu, Gd, Tb) and heavy (Y and Dy to Lu) rare earths. The minerals bastnasite, monazite, xenotime, allanite, gadolinite, loparite and fergusonite are the source of REEs. REEs play an increasingly crucial role in industrial applications and modern technologies. For example, their compounds are used in glass polishing, phosphors, lasers, magnets, batteries, high-temperature superconductors and optical glass and REEs are also used as catalysts in the production of petroleum and synthetic products, and nuclear technologies [1,2,3,4].

Xenotime sand is one of the most important natural geological materials because it contain rare earth elements (REEs) especially the heavy rare earths. In Indonesia, xenotim

is mostly found in beach sands around the coastal belt of Bangka, Belitung and Singkep islands is a by-product of tin mining of PT Timah, Tbk in Bangka [5,6].

Xenotime which is a rare earth elements phosphate compounds and is usually written with REEPO_4 or YPO_4 and containing the main elements that are Yttrium (Y), Gadolinium (Gd), and Dysprosium (Dy) [4,5,7,8]. Xenotime containing the main elements that are yttrium (Y), gadolinium (Gd), and dysprosium (Dy) with each content is 60% , 3.6% and 7.5% [9].

Because of the prospect, potential and economic value of REEs is very large, especially the use of a single REEs like Y then it is necessary to separate the REEs to obtain elements Y with high purity (more than 90%) in order to be used as a superconductor material. While processing of xenotime before the purification process, Y only has content 79-80% so it needs to be increased purity. However, the problems experienced by the REEs have similar chemical properties and physical properties that are difficult to separate [5,8,10].

The separation of REEs is usually carried out by solvent extraction or ion exchange. Extraction and ion exchange technique have several limitations. Extraction technique still need multistage extraction and back-extraction to get optimum separation. In addition, liquid waste disposal from extraction can cause environmental pollution. The limitations of ion exchange resins are mainly due to its lower extraction selectivity for rare earth elements and poor metal sorption capacity.

In 1971, Warshawsky proposed physical impregnation method known as solvent impregnated resins (SIR) method for separation of metal ions. SIR method has been used in metal or organic compounds recovery, pre-concentration of trace metal ions and also for removal of hazardous metal ions such as cadmium, mercury, and chromium(VI) [10].

This study purpose to study the separation process of REE (Y, Gd, Dy) from Rare Earth hydroxide ($\text{REE}(\text{OH})_3$) using SIR method and are consisting of Amberlite XAD-16 resin impregnated with Di- (2-ethylhexyl) phosphate (D2EHPA) and Tributyl Phosphate (TBP), to determine the isotherm model on REE adsorption and determine the kinetic model of pseudo adsorption reaction.

Rare earth elements (REE) are very rare, in nature can be complex compounds, generally complex phosphate compounds and carbonates. One of them is xenotime which is a rare earth elements phosphate compounds and is usually written with REPO_4 or YPO_4

Because of the prospect, potential and economic value of REEs is very large, especially the use of a single REE like Y then it is necessary to separate the REE to obtain elements Y with high purity (more than 90%) in order to be used as a superconductor material. While processing of xenotime before the purification process, Y only has content 79-80% so it needs to be increased purity. However, the problems experienced by the REEs have similar chemical properties and physical properties that are difficult to separate. REE separation is usually done by solvent extraction or ion exchange (resin). However, solvent extraction and ion exchange techniques have some limitations [8,10]. To solve the limitations of extraction and ion-exchange resins, Warshawsky in 1974 introduced a method called solvent impregnated resins (SIR) method for the separation of metal ions [6,8,10,11].

This study purpose to study the separation process of REEs (Y, Gd, Dy) from RE hydroxide ($\text{RE}(\text{OH})_3$) using SIR method and are consisting of Amberlite XAD-16 resin impregnated with Di- (2-ethylhexyl) phosphate (D2EHPA) and Tributyl Phosphate (TBP), to determine the isotherm model on REE adsorption and determine the kinetic model of pseudo adsorption reaction.

THEORY

SIR MECHANISM

The separation mechanism occurring within the SIR can be seen in Figure 1. Figure 1 to the right describes the basic principle, organic solvents, D2EHPA compounds and TBP adsorbed in XAD-16 polymer pores with van der waals bond interactions forming SIR solids, and the physical adsorption occur of a tensile force between the adsorbent with XAD-16 resin [10]. Solvent D2EHPA and TBP are selective in yttrium (Y) elements compared to other rare earth metals. In addition, the radius of ion possessed by Y is 0.88 nm smaller than Gd and Dy that is 0.938 nm and 0.908 nm and make it possible for Y ions to be absorbed by SIR.

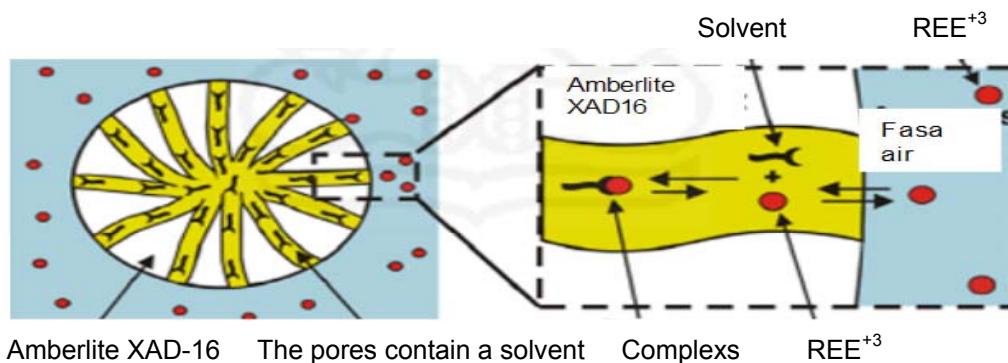


Figure 1. The solute separation mechanism in SIR (de Haan 2004) [12]

Distribution Coefficient dan Separation Factor

The resin adsorption capacity (q_{AS}) of metal ions is calculated by Equation 1 [13]

$$q_{AS} = \frac{(C_{A0} - C_{AS})V}{m} \quad (1)$$

The equation of distribution coefficient (K_d) and separation factor (β) in Equation 2 and Equation 3 are [1,5,11]

$$K_d = (C_{A0} - C_{AS}) / C_{AS} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{K_{d1}}{K_{d2}} \quad (3)$$

Equilibrium Equations

Through this research will be presented the adsorption of SIR to REE by using adsorption isotherm. In this research we will use 3 equilibrium models of Henry's isotherm model, Langmuir model and Freundlich model as an approach to describe the adsorption equilibrium behavior of REEs ions in SIR due to the adsorption of molecules or ions on the surface of the solid is generally limited to one molecule (monolayer) layer and shown on Table 1.

Table 1. Equilibrium equations

Model Equilibrium	Equilibrium Equations	Temperature function
Henry	$C_{AS} = H \cdot q_{AS}$	$H = e^{\frac{\Delta H}{RT}}$
Freundlich	$q_{AS} = k_F \cdot C_{AS}^{1/n}$	$k_F = k_{F,0} e^{-k_F a T}$, $n = \frac{1}{k_{F,0} T}$
Langmuir	$q_{as} = \frac{q_m b C_{AS}}{1 + b C_{AS}}$	$b(T) = b_0 \cdot e^{-Q/T}$

Kinetic Sorption

Kinetic sorption describes rates that include time and adsorption reactions and are expressed in the rate of adsorption rate occurring on the adsorbate. The sorption rate and the reaction mechanism of the REEs ion in the SIR use two kinetic models and are presented in Table 2.

Table 2. Kinetic sorption

Kinetic sorption	Model Kinetic sorption	Temperature function
pseudo orde 1	$\frac{dq}{dt} = k_1 (q_{AS} - q_t)$	$\ln(q_{AS} - q_t) = \ln q_{AS} - k_1 t$
pseudo orde 2	$\frac{dq}{dt} = k_1 (q_{AS} - q_t)^2$	$\frac{t}{qt} = \frac{1}{k_2 (q_{AS})^2} + \frac{t}{q_{AS}}$

METHODOLOGY

1. Materials

The tools to be used in this research are beaker, erlenmeyer, magnetic stirrer, hot plate, stirrer bar, pumpkin neck 3, measuring, buret, plastic bottle, XRF tool and the device where sample for xrf analysis, measuring cylinder, measuring pipette, volume pipette, porcelain plate, analytical balance, filter paper oven, glass funnel, thermometer. Materials to be used in this study are Tributyl Phosphate (TBP), Bis (2-ethylhexyl) Phosphate Acid (D2EHPA), REE(OH)₃, Aquadest, XAD-16 Resin, Nitric Acid (HNO₃), NaOH and Acetone.

2. Methods

In Figure 2 is a diagram of the process of research activities to be performed. Step work done in this research is

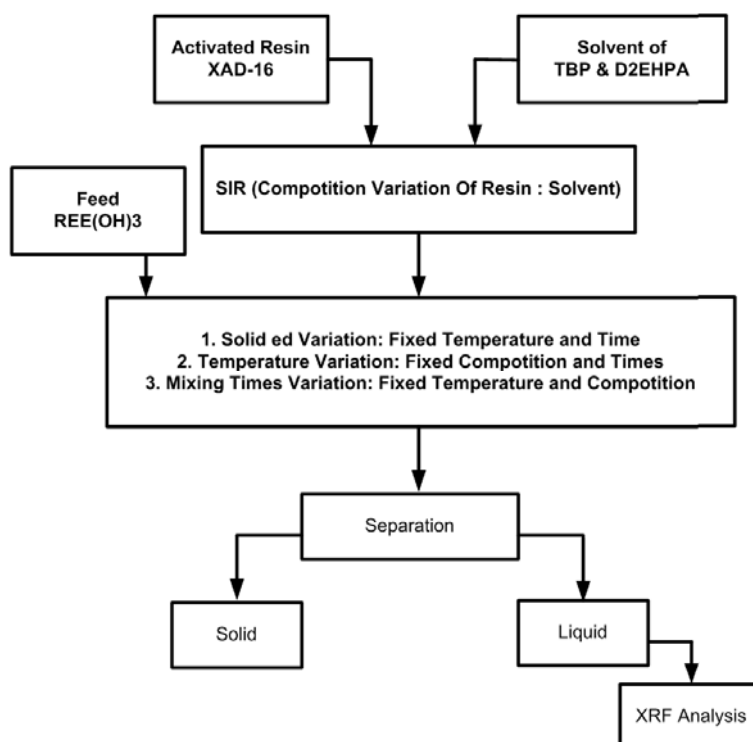


Figure 2. Flow diagram of SIR process

3. Activation of XAD – 16

The process begins with activating XAD - 16 as much as 50 g XAD - 16 soaked HNO₃ 2 M for 2 hours then filtered. Then soaked again with 2 M NaOH for 2 hours then filtered. After it was rinsed with aquadest to neutral, soaked with acetone for 2 hours, and dried with oven for 50 °C.

4. Preparation of D2EHPA / TBP Solution (3: 1) and Resin Impregnation

Prepared D2EHPA and TBP solution, then mixing to homogeneous with a ratio of 3: 1. Then 20 g solvent soaked with 100 mL of acetone and add 20 g of resin (50% / 50%) was stirred at 350 rpm at room temperature for 2 hour and dried in 50 °C oven for 24 hours.

5. Making Feed Solution REE(OH)₃

The RE(OH)₃ feedstock standard solution was prepared by weighing as much as 25 g of RE(OH)₃ dissolved in concentrated HNO₃ and then heated to 120 °C until the acidity of the depleted HNO₃ vapor was then dissolved in 0.5 M.

6. Determination of Adsorption Optimization Y, Gd, Dy

The SIR variation is made by a certain ratio with a fixed feed amount of 10 mL as in Table 3.

Table 3. Variation of SIR

Solution	SIR
Feed	0
A	0.25 g
B	0.5 g
C	0.75 g
D	1 g
E	1.5 g

In each variation the SIR was then mixed with feed at 30 °C and atmospheric pressure stirred at 350 rpm for 30 minutes. Then separated by filter paper. The filtrate was taken as much as 5 mL to be analyzed using XRF. This process is also carried out for temperatures of 30 °C, 40 °C, 50 °C, and 60 °C.

7. Kinetic of Sorption

Comparison of 0.75 g SIR composition: 10 mL of feed then mixed at 30 °C and atmospheric pressure stirred at 350 rpm for 30 minutes. Then separated by filter paper. The filtrate was taken as much as 5 mL to be analyzed using XRF. This adsorption action is carried out for temperature variations of 30 °C, 40 °C, 50 °C, 60 °C with mixing time variation of 2 minutes, 5 minutes, 10 minutes, 20 minutes, 30 minutes.

RESULTS AND DISCUSSION

1. Rare Earth Separation Mechanisms

After processing from leaching to settling obtained levels of Y, Gd and Dy of 79.4%; 12.1% and 8.5%. However, the use of Y as a superconductor material requires a purity of Y of 90% so it needs to be increased Y purity. After the calculation done the results Table 4.1.

Table 4. Type of separation based on% purity and % recovery

Type of Separation	% purity			% recovery		
	Y	Gd	Dy	Y	Gd	Dy
Adsorption						
Activated Carbon	77.15	10.08	12.77	7.27	4.85	31.76
Silica	81.98	7.09	10.93	6.19	2.73	21.78
Extraction						
Solvent D2EHPA	91.11	6.33	2.57	60.27	39.45	55.88
Solvent TBP	90.57	6.91	2.53	23.27	16.72	21.36
Solvent Mixture TBP-D2EHPA	91.,87	5.26	2.87	66.38	35.85	68.23
Resin XAD -16						
	92.20	6.30	1.50	17.29	6.03	7.42
SIR						
SIR Solvent D2EHPA	93.91	3.62	2.47	22.69	4.46	15.73
SIR Solvent TBP	90.95	7.21	1.84	14.20	5.75	7.57
SIR Solvent TBP - D2EHPA	96.73	2.74	0.54	33.46	4.83	4.89

In Table 4, the separation by using SIR obtained by Y purity 96.73% with Gd and Dy of 2.74% and 0.54% compared with adsorption using activated carbon or silica, extraction and ion exchange resin and qualified to be used as. The superconductor material is Y 89.76%. The analysis used XRF with 99.95% accuracy and 90.43% precision using Merck Y₂O₃ standard with 99.99%. In addition, based on the results of previous research, it can be seen that the separation by using SIR is much greater than using liquid liquid extraction and ion exchange resin. The results of this study were comparative using the extraction method, ion-exchange resin and SIR and presented in Table 4.

Table 5. Separation method of REE

Type of Separation	Kd			β		Effect Synergistic
	Y	Gd	Dy	Gd	Dy	
Adsorption						
Activated Carbon	0.08	0.05	0.47	1.54	0.17	
Silica	0.07	0.03	0.28	2.35	0.24	
Extraction						
Solvent D2EHPA	1.52	0.65	1.27	2.33	1.20	
Solvent TBP	0.30	0.20	0.27	1.51	1.12	
Solvent Mixture TBP-D2EHPA	1.97	0.56	2.15	3.53	0.92	1.08
Resin						
SIR						
SIR Solvent D2EHPA	0.29	0.05	0.19	6.28	1.57	
SIR Solvent TBP	0.17	0.06	0.08	2.72	2.02	
SIR Solvent TBP - D2EHPA	0.56	0.07	0.12	8.00	4.67	1.22

Table 5 shows the synergistic effect between the solvent mixture of D2EHPA and TBP that is greater than 1.

2. Effect of Composition Variation SIR

Effect of weight SIR against Kd and separation factor (β)

Based on the calculations, we obtain the weight relationship SIR (g) Vs Kd is presented in Figure 3, and the weight relationship SIR (g) Vs separation (β) is presented in Figure 4.

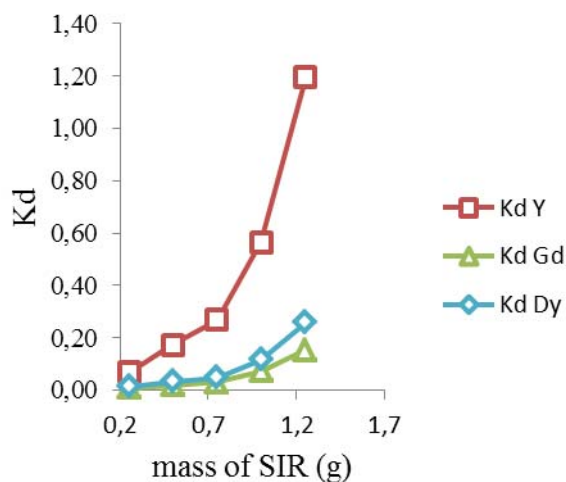


Figure 3. Relations mass of SIR (g) vs. Kd

Based on Figure 3 and 4 it can be seen that with the increasing weight of SIR used in the separation of REEs the distribution coefficients of each element (K_{dY} , K_{dGd} , K_{dDy}) will also increase. The largest distribution coefficient is owned by Y indicating that the Y^{3+} ion is absorbed larger than Gd and Dy.

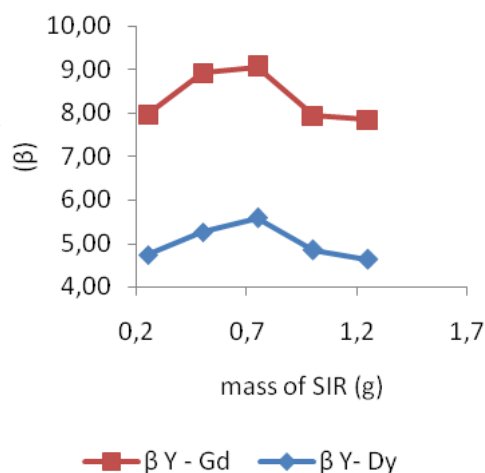


Figure 4. Relations mass of SIR (g) vs separation factor (β)

3. Effect of temperature on Kd and separation factor (β)

Based on the calculations, we obtain the temperature relationship SIR ($^{\circ}$ C) Vs Kd is presented in Figure 5, and the temperature relationship SIR ($^{\circ}$ C) Vs separation (β) is presented in Figure 6.

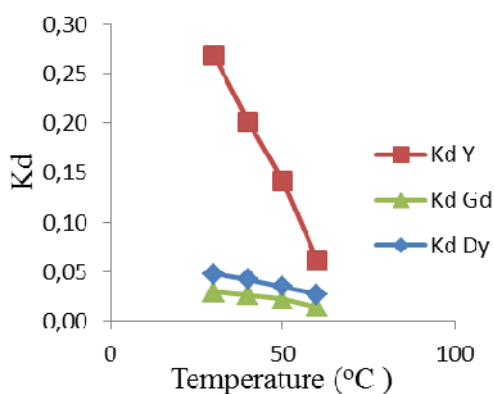


Figure 5. Relations temperature ($^{\circ}$ C) vs Kd

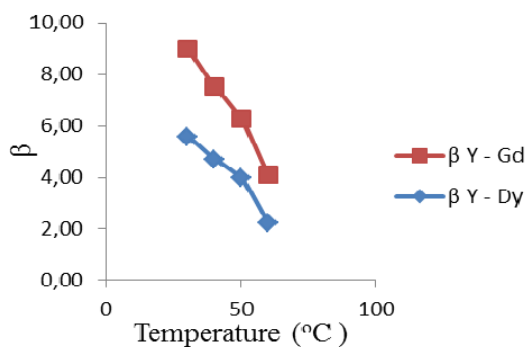


Figure 6. Relations temperature ($^{\circ}$ C) Vs separation factor (β)

Based on Figure 5 it can be seen that with the decreasing temperature used in the separation of REEs the distribution coefficients of each element (Kd_Y , Kd_{Gd} , Kd_{Dy}) will also increase. In Figure 6 it can be seen that with the decreasing temperature used in the

separation of the REE, the separation factor (β) of Y-Gd and Y-Dy increases, so that the optimum temperature is 30 °C.

4. Adsorption Equilibrium Equation

Determination of adsorption equilibrium time

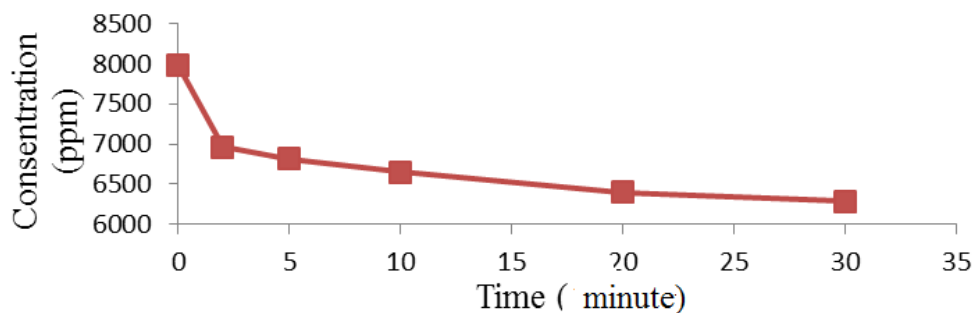


Figure 7. Equilibrium time (min) for yttrium ion sorption

Figure 7 shows that there is a decrease in concentration and the equilibrium time has been reached in the 30th minutes.

5. Isotherms Adsorption

Through this research, SIR adsorption power will be exposed to REEs to formulate the adsorption equilibrium behavior of Y, Gd and Dy ions in SIR.

Table 6. Adsorption isotherm equations of yttrium (Y)

Equations	Temperatures, °C			
	30	40	50	60
Henry				
r^2	0.9824	0.9829	0.9977	0.9812
Error (%)	3.35	3.22	1.71	7.05
Freundlich				
r^2	0.900	0.8654	0.9515	0.9946
Error (%)	5.59	7.75	7.22	3.25
Langmuir				
r^2	0.9526	0.9356	0.9107	0.9538
Error (%)	11.28	13.00	14.50	10.04

Table 7. Adsorption isotherm equations of gadolinium (Gd)

Equations	Temperatures, °C			
	30	40	50	60
Henry				
r^2	0.9926	0.9946	0.9967	0.9884
Error (%)	5.02	4.91	4.92	8.70
Freundlich				
r^2	0.8953	0.9106	0.9669	0.9872
Error (%)	13.05	13.13	8.99	7.05
Langmuir				
r^2	0.8460	0.8534	0.8499	0.8904
Error (%)	19.99	19.08	19.68	16.31

Table 8. Adsorption isotherm equations of dysprotium (Dy)

Equations	Temperatures, °C			
	30	40	50	60
Henry				
r ²	0.9894	0.9931	0.9953	0.9969
Error (%)	5.83	5.25	5.31	5.73
Freundlich				
r ²	0.8789	0.9064	0.9221	0.9261
Error (%)	13.49	12.42	13.57	32.61
Langmuir				
r ²	0.8422	0.8480	0.8437	0.8132
Error (%)	20.37	20.02	19.62	21.18

Based on Table 6-8 it can be stated that the adsorption of Y, Gd and Dy metals follows the Henry isotherm model because r² is close to 1 and the isotherm error of Henry is less than that of Langmuir isotherms and Freundlich isotherms.

6. Isotherms Adsorption of Temperature Function and Van't Hoff Equation

The van't Hoff equation can be done to find out the dependence of the equilibrium concentration on temperature and the results obtained in Table 9.

Table 9. Reaction heat of REE

Element	Ho	ΔH (kcal/mol)
Y	1646.65	-3.05
Gd	38368.80	-0.87
Dy	48194.49	-0.74

In Table 9 it can be seen that the largest ΔH is owned by Yttrium that is 3.05 kcal/mol and ΔH is negative ie the exothermic reaction due to K decreases with temperature so that the metal sorption of Y in SIR is faster than Gd or Dy metal.

7. Kinetic of Sorption

a. Compare model

Result of rate constant of adsorption based on some models can be seen in Table 10.

Table 10. Reaction model of REEs pseudo kinetics of Y, Gd, Dy

Pseudo Model/Temperatures oC	Y				Average
	30	40	50	60	
Orde 1					
r ²	0.7	0.6723	0.9557	0.8353	0.7908
error (%)	25.58	31.45	16.75	29.51	25.82
Orde 2					
r ²	0.99996	0.9999	0.9996	0.9985	0.9995
error (%)	1.89	0.96	2.23	5.69	2.69
Pseudo Model/Temperature	Gd				Average
	30	40	50	60	
Orde 1					
r ²	0.965	0.9955	0.9983	0.9959	0.9887
error (%)	31.45	14.96	-7.04	-9.95	7.36
Orde 2					
r ²	0.9378	0.8626	0.7868	0.6433	0.8076
error (%)	6.07	12.96	15.30	17.09	12.86

Pseudo Model/Temperatures	Dy				Average
	30	40	50	60	
Orde 1					
r ²	0.9497	0.987	0.9821	0.9569	0.9689
error (%)	18.72	20.17	13.01	17.74	17.41
Orde 2					
r ²	0.9206	0.9088	0.799	0.5481	0.7941
error (%)	10.140	9.35	14.74	13.95	12.04

Table 10 shows that the REE adsorption kinetics of the SIRs are more suitably explained by the second order pseudo adsorption kinetics model because r² is close to 1 and the error by the 2nd order reaction kinetics is smaller than the order 1.

b. Effect of temperature on sorption kinetics

The effect of temperature on the value of the rate constant (k) on the pseudo adsorption kinetics model 2 can be seen in Table 10. In Table 10 and Figure 8 it is seen that the higher the temperature the constant value of the speed will be smaller because the SIR resistance at temperatures below 60 °C so that the REE will be bound complex and stable in the SIR at a temperature of 30 °C. The largest reaction rate constant is owned by Y so that Y is more chemically stable in the SIR.

Table 11. Kinetic constants reaction of order 2 pseudo REEs

Temperature (°C)	k ₂ (mg/g adsorbent. min)		
	Y	Gd	Dy
30	0.3872	0.3434	0.3533
40	0.3005	0.2660	0.2894
50	0.2344	0.2127	0.2188
60	0.2158	0.1911	0.2092

CONCLUSION

The paper of effect of temperature to adsorption capacity and distribution coefficient on rare earth elements adsorption (Y, Dy, Gd) using SIR. The support is a solvent impregnated resins (SIR) which by impregnated Amberlite XAD-16 with TBP-D2EHPA were obtained the most most effective SIR composition for rare earth metal separation is 0.75 g with a temperature of 30 °C, separation factor (β) of Y/Gd and Y/Dy are 8.00 and 4.67 respectively, equilibrium equations for Y, Gd, Dy approach the Henry equilibrium model, Y, Gd, Dy kinetic sorption follows the pseudo reaction kinetics of order 2 and the reaction kinetics constant belongs to Y that is 0.3872 mg/g of minutes adsorbent at a temperature of 30 °C. The result of separation of RE(OH)₃ with SIR is said to be effective from other method because purity is obtained that is 96.73% and qualify as a superconductor material.

ACKNOWLEDGEMENT

We would like to thank all technicians, and the staff members of separation techniques in Department of Process Technology to all the people who have made contributions and help to our works, during doing the research or preparations for seminar and publications. Thank you also to PSTA – BATAN who has provided this research fund with number: 3444.240001 / DIPA PSTA / 2016 and UGM for their cooperation.

REFERENCES

1. SATUSINPRASERT, P., SUWANMANEE, U., AND RATTANAPHRA, "Separation of Light and Middle-Heavy Rare Earth from Nitrate Medium by Liquid-Liquid Extraction, *Kaetsart J. (Nat. Sci.)* 49: 155-163, (2015).
2. AHMED, S. HELALY, O. A., Abd El-Ghany, M. S., Preliminary Study for Separation of Heavy Rare Earth Concentrates from Egyptian Crude Monazite, *International Journal of Chemical, Molecular, Nuclear, Materials and Metallurgical Engineering* Vol:8, N:8, 2014.
3. KOLTUN P. AND THARUMARAJAH A., "Life Cycle Impact of Rare Earth Elements", Hindawi Publishing Corporation ISRN Metallurgy Vol. 2014, Article ID 907536, 10 pages, (2014).
4. BIYANTORO, D., "Teknologi Pemisahan Itrium dari Pasir Senotim Untuk Industri", Orasi Pengukuhan Profesor Riset, Bidang Kimia dan Teknologi Proses Bahan BATAN, Yogyakarta, (2008).
5. BIYANTORO, D., HANDINI, T., SETYADJI, M., Ekstraksi-*Stripping* Y, Dy, Gd, Ce, La, Nd dari Hasil Olah Pasir Senotim, Prosiding Seminar Nasional, Teknologi Energi Nuklir, PKSEN – BATAN, Batam, 4-5 Agustus 2016.
6. KHALDUN, I., Pemisahan Unsur-Unsur Logam Tanah Jarang Dari Pasir Monasit Bangka Dengan Metode Sovent Impregnated Resin (SIR), Disertasi, Program Studi Kimia, ITB, Bandung, (2009).
7. XIE F., ZHANG T. A., DREISINGER D., DOYLE, F., "A Critical Review on Solvent Extraction of Rare Earths from Aqueous Solutions", *Minerals Engineering* 56 (2014) 10 – 28
8. KHALDUN, I., BUCHARI, AMRAN, M. B., DAN SULAEMAN, Pengaruh Komposisi Asam Bis(2-Etilheksil)Fosfat (D2EHPA) dan Tributyl Fosfat (TBP) dalam Resin Amberlite Xad-16 terhadap Sorpsion-Ion La(III), Nd(III) dan Gd(III), ITB, Bandung, (2009).
9. Atmawinata, A., *Pengembangan Industri REE di Indonesia*, Kementerian Perindustrian, Jakarta, (2011).
10. Cortina JL, Warshwasky A., Developments in Solid-Liquid Extraction by Solvent-Impregnated Resins. Di dalam: Marinsky JA, Marcus Y, editor. *Ion Exchange and Solvent Extraction*. Vol. 13 New York: Marcel Dekker. hlm. 195-287, (1997).
11. BIYANTORO, D., SUKARNA, I. M., SUYANTO, A., Pemisahan Zirkonium Dan Hafnium Memakai Campuran Solvent TBP-D2EHPA dan Amberlite XAD-16, *Jurnal Iptek Nuklir Ganendra*, Volume 20 No. 1, (2017).
12. de Haan AB. 2004. Separation Technology at University of Twente. Di dalam *EFCE-WP Distillation, Absorption Extraction Meeting*; Huelva; 16-18 Sept 2004. Separation Technology Group.
13. DAVIDDESCU, C. M., CIOPEC, M., NEGREA, A., POPA, P., LUPA, L., NEGREA, P., MUNTEAN, C., MOTOC, M., Use of di-(2-ethyl) Phosphoric Acid (DEHP) Impregnated XAD7 Copolymer Resin for the Removal of Chromium (III) from Water, *REV. CHIM.* (Bucharest), 62, No. 7, 2011.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

STUDI PERENCANAAN ENERGI KELISTRIKAN KALIMANTAN TIMUR DENGAN OPSI PLTN JENIS SMR

Wiku Lulus Widodo, Rizki Firmansyah Setya Budi

PKSEN-BATAN, Kuningan Barat, Jakarta Selatan 12710
wikululu@batan.go.id

ABSTRAK

STUDI PERENCANAAN ENERGI KELISTRIKAN KALIMANTAN TIMUR DENGAN OPSI NUKLIR. Telah dilakukan studi perencanaan energi kelistrikan untuk wilayah Kalimantan Timur hingga tahun 2050. Batubara sebagai bahan bakar untuk menghasilkan energi listrik dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik di Kalimantan Timur. Kondisi sumber daya energi batubara yang melimpah di Kalimantan Timur belum banyak dimanfaatkan untuk sektor kelistrikan. Studi ini bertujuan untuk menganalisis dan memproyeksikan kondisi kelistrikan di Kalimantan Timur hingga tahun 2050 dengan opsi nuklir. Metode yang digunakan dalam studi ini adalah mengumpulkan data kelistrikan Kalimantan Timur, mendesain rantai energi untuk MESSAGE dan menghitung energi listrik yang diproduksi setiap pembangkit listrik hingga tahun 2050. PLTN yang digunakan adalah SMR (Small Medium Reactor) dengan kapasitas 200 MW. Hasil perhitungan diperoleh dengan kebutuhan listrik Kalimantan Timur pada tahun 2020 diperkirakan sebesar 4,8 Twh dan naik pada tahun 2050 hingga mencapai 28,5 TWh. Hasil skenario non nuklir menunjukkan bahwa PLTU diproyeksikan akan mendominasi hingga pada tahun 2050 mencapai 18,41 Twh. Hasil skenario nuklir menunjukkan bahwa pada tahun 2040 PLTN SMR akan berperan untuk memenuhi kebutuhan beban dasar maka dengan produksi listrik sebesar 0,88 Twh atau pangsa sebesar 4,7%. Adapun untuk tahun 2050 maka PLTN SMR akan memproduksi 2,63 Twh atau pangsa sebesar 9,3% dari total listrik yang diproduksi. PLTN SMR akan berfungsi mengurangi pangsa PLTU batubara sehingga bermanfaat untuk menekan pertumbuhan emisi karbon.

Kata kunci : MESSAGE, SMR , Kalimantan Timur, Metodologi INPRO, Energi

ABSTRACT

STUDY OF ELECTRICAL ENERGY PLANNING FOR EAST KALIMANTAN WITH NUCLEAR OPTIONS. Has carried out studies of electrical energy planning for East Kalimantan until 2050. Coal as a fuel to generate electrical energy can be used to supply the electricity demand in East Kalimantan. The condition of abundant coal energy resources in East Kalimantan but has not been utilized for the electricity sector. This study aims to analyze and project the electrical condition in East Kalimantan until 2050 for nuclear option. The method used in this study is to collect East Kalimantan electricity data, design the energy chains for MESSAGE and calculate the electrical energy produced by each power plant until 2050. The SMR (Small Medium Reactor) will be used in this study is NPP with capacity of 200 MW. The calculation results obtained that the demand of electricity in East Kalimantan in 2020 is estimated at 4.8 Twh and rose in 2050 to reach 28.5 TWh. The result for non-nuclear scenario shows that Coal Power Plant is projected to dominate up to 18.41 Twh in 2050. The results for nuclear scenario show that in 2040 the SMR will contribute to meet the base load with electricity production of 0.88 Twh or a share of 4.7%. As for the year 2050 SMR will produce 2.63 Twh or a share of 9.3% of the total electricity produced. SMR will serve to reduce the share of coal steam power plants so it is useful to suppress the growth of carbon emissions.

Keywords: MESSAGE, SMR, East Kalimantan, INPRO Methodology, Energy

PENDAHULUAN

Kalimantan Timur merupakan salah satu propinsi di Pulau Kalimantan dengan jumlah penduduk yang paling banyak dibandingkan propinsi lainnya di Pulau Kalimantan. Potensi sumber energi batubara yang cukup melimpah menjadikan Kalimantan Timur sebagai pengekspor batubara yang potensial. Pemanfaatan batubara untuk sektor kelistrikan di Kalimantan Timur masih tergolong sangat rendah, hal ini menjadi tidak optimalnya pengembangan industri kelistrikan[1]. Untuk itu diperlukan strategi untuk memenuhi kebutuhan dan pasokan energi termasuk sektor kelistrikan di Kalimantan Timur di masa mendatang[2]. Salah satu pilihan dalam pemenuhan energi adalah dengan opsi pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir berdaya kecil dan menengah di Kalimantan Timur[3].

Studi ini bertujuan untuk memproyeksikan sistem energi kelistrikan di Kalimantan Timur hingga tahun 2050 dengan opsi PLTN jenis SMR. PLTN SMR ini akan bersubstitusi dengan PLTU yang akan berperan dalam memenuhi kebutuhan beban dasar. Pemanfaatan sumber energi yang dimiliki Kalimantan Timur dan karakteristik durasi beban daya menentukan jenis dan pangsa pembangkit listrik yang akan dibangun kedepannya. Perangkat lunak yang digunakan adalah MESSAGE (*Model for Energy Supply Strategy Alternatif and their General Environment Impacts*) yang dirilis secara resmi oleh IAEA[4].

Metodologi yang digunakan dalam studi ini mengumpulkan data kelistrikan mulai dari kurva beban, kebutuhan energi, potensi sumber daya energi, jumlah penduduk dan beberapa data yang terkait. Data yang diperoleh digunakan untuk mendesain rantai energi dalam perangkat lunak MESSAGE. Hasil yang diperoleh dari MESSAGE adalah jumlah energi yang diproduksi oleh setiap jenis pembangkit listrik setiap tahunnya hingga tahun 2050. Perhitungan proyeksi dilakukan dengan menggunakan 2 skenario yaitu opsi nuklir dan non nuklir.

Manfaat perhitungan ini adalah sebagai pertimbangan bagi pemerintah Indonesia dalam rangka merencanakan sistem kelistrikan dengan opsi nuklir. Hal ini menjadi sangat penting jika Indonesia telah memilih skenario penggunaan nuklir untuk bauran energi. IAEA telah memberikan arahan melalui metodologi INPRO untuk melakukan perencanaan energi nuklir[5,6,7]. Studi tentang perencanaan energi dengan metodologi INPRO telah banyak dilakukan diberbagai negara seperti Rusia, Bellarus, China, Kroasia, Brasil dan negara anggota IAEA[8,9,10,11].

TEORI

Perencanaan Energi

Perencanaan energi adalah usaha pendekatan terpadu yang mempertimbangkan baik penyediaan pasokan energi maupun peran efisiensi energi dalam memenuhi kebutuhan (*Integrated Resource Planning*). Perencanaan energi harus selalu mencerminkan hasil dari pertumbuhan populasi dan pembangunan.

Kurva Beban (*Load Curve*)

Beban dikategorikan menurut konsumen penggunaannya yaitu pemukiman, perkantoran & pertokoan (komersial), layanan publik, dan industri yang dipengaruhi beberapa faktor antara lain : kebiasaan hidup, pola aktivitas, perkembangan ekonomi, dan iklim[12,13,14]. Kurva beban menggambarkan penggunaan beban listrik dalam satu tahun. Kurva beban dapat ditampilkan dalam bentuk sekuensial waktu maupun sekuensial tinggi beban[15,16,17,18].

Faktor Kapasitas (*Capacity Factor-CF*)

Faktor kapasitas adalah perbandingan permintaan rata-rata dengan kapasitas maksimum terpasang atau perbandingan energi output pembangkit yang dihasilkan terhadap kapasitas terpasang dari pembangkit tersebut untuk periode waktu tertentu[19,20]. Sebagai contoh CF 85% untuk pembangkit 100 MW, berarti dalam satu tahun harus bisa menghasilkan energi sebesar $0,85 \times 100 \text{ MW} \times 365 \text{ hari} \times 24 \text{ jam}$. Persamaan untuk menunjukkan faktor kapasitas ditunjukkan pada persamaan 1.

$$CF = \frac{\sum \text{produksi bruto pertahun (kwh)}}{\sum \text{kapasitas terpasang (kw)} \times 8760 \text{ (jam)}} \times 100\% \quad (1)$$

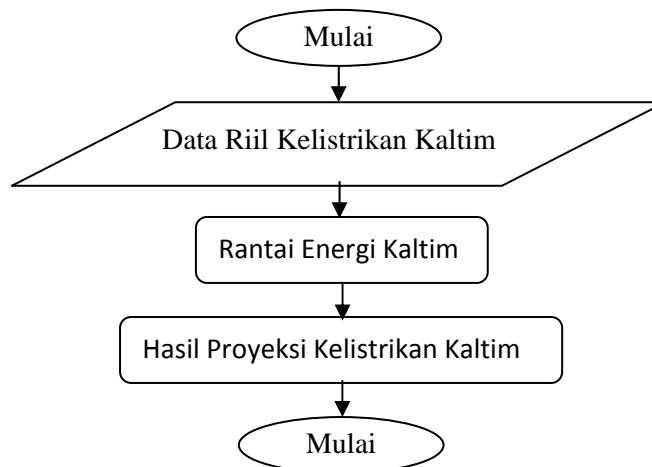
Faktor Beban (*Load Factor-LF*)

Faktor beban adalah perbandingan antara produksi listrik total dalam satu sistem wilayah terhadap hasil perkalian antara beban puncak dengan rentang waktu satu tahun[19,20]. Persamaan untuk menghitung faktor beban ditunjukkan pada persamaan 2.

$$LF = \frac{\sum \text{produksi bruto pertahun (kwh)}}{\sum \text{beban puncak(kw)} \times 8760 \text{ (jam)}} \times 100\% \quad (2)$$

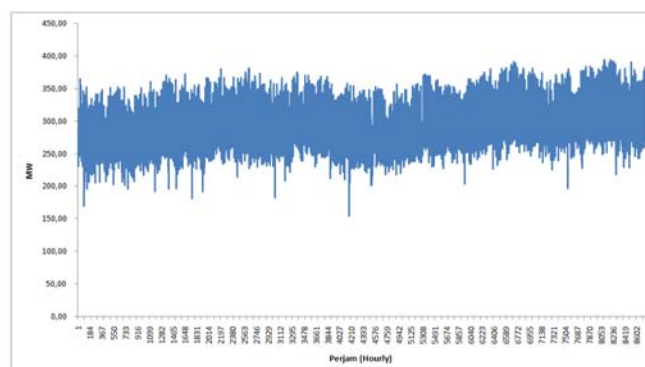
METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam studi ini adalah pengumpulan data riil kondisi kelistrikan Kalimantan Timur, pembuatan rantai sistem energi kelistrikan dengan menggunakan perangkat lunak MESSAGE, Perhitungan faktor beban dan kapasitas beban riil dan kondisi mendatang dan target daerah berdasarkan Rencana Umum Energi Daerah (RUED). MESSAGE adalah perangkat lunak milik IAEA yang digunakan untuk membantu dalam perhitungan pada perencanaan energi serta dampak lingkungannya[21,22]. Hasil perhitungan dari perangkat lunak MESSAGE dibuat dalam bentuk grafik untuk memudahkan dalam menjelaskan ilustrasi perencanaan energi. Diagram Alir ditunjukkan pada gambar1.



Gambar 1. Diagram Alir perhitungan perencanaan energi Kalimantan Timur dengan perangkat lunak MESSAGE

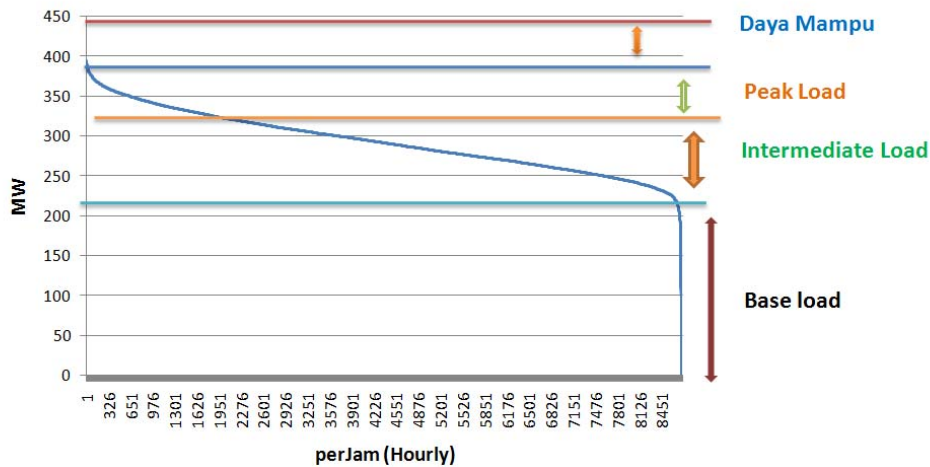
Kondisi kelistrikan Kalimantan Timur didominasi oleh sistem Mahakam yang telah memiliki jaringan listrik secara terintegrasi, adapun sistem kelistrikan selain sistem Mahakam masih dikategorikan terisolasi (*isolated sistem*). Salah satu kondisi kelistrikan sistem Mahakam adalah kurva beban perjam selama satu tahun yaitu pada tahun 2015 sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 2. Faktor beban sistem Mahakam tahun 2015 dihitung berdasarkan rumus 1 sebesar 73% dan rata-rata faktor kapasitas yang dihitung dengan rumus 2 sebesar 63%.



Gambar 2. Kurva Beban Sistem Mahakam tahun 2015

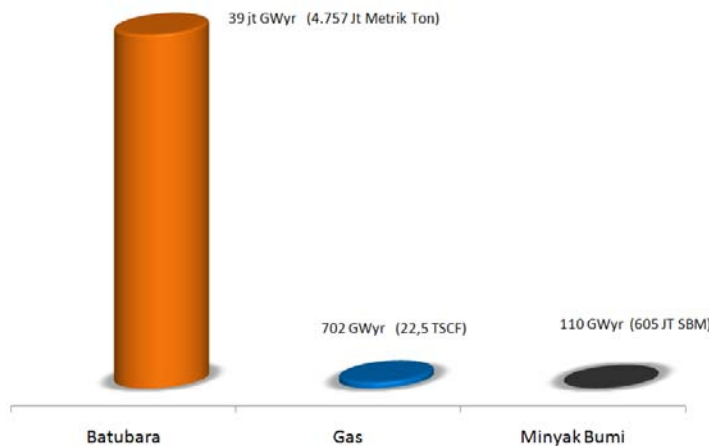
Perhitungan untuk perencanaan energi menggunakan analisa kurva durasi beban. Kurva durasi beban pada sistem Mahakam 2015 berdasarkan data kurva beban ditunjukkan pada gambar 3. Berdasarkan data tersebut dapat diperoleh informasi bahwa beban terendah

sebagai indikator beban dasar sebesar 214 MW. Beban puncak tertinggi sekitar 391 MW dan total daya mampu sebesar 447 MW. Kurva durasi beban tersebut digunakan untuk mengidentifikasi jenis pembangkit yang harus dibangun untuk memenuhi kebutuhan beban baik yang dasar (base load), menengah (intermediate load) maupun puncak (peak load).



Gambar 3. Kurva durasi beban sistem Mahakam tahun 2015

Kondisi riil Kalimantan Timur yang berpengaruh kepada kondisi kelistrikan dan perencanaan ke depan adalah sumber daya energi yang potensial dimiliki oleh Kalimantan Timur. Data potensi sumber daya energi fosil yang dimiliki oleh Kalimantan Timur ditunjukkan pada Gambar 4. Potensi batubara yang dimiliki cukup besar sekitar 4,757 Jt Metrik Ton yang setara dengan 39 Jt Gwyr. Potensi gas sebesar 22,5 TSCF setara dengan 702 Gwyr sedangkan potensi minyak bumi sebesar 605 Jt SBM setara dengan 110 Gwyr. Kondisi sumber daya energi tersebut menjadi dasar untuk memilih jenis pembangkit listrik yang diprioritaskan.



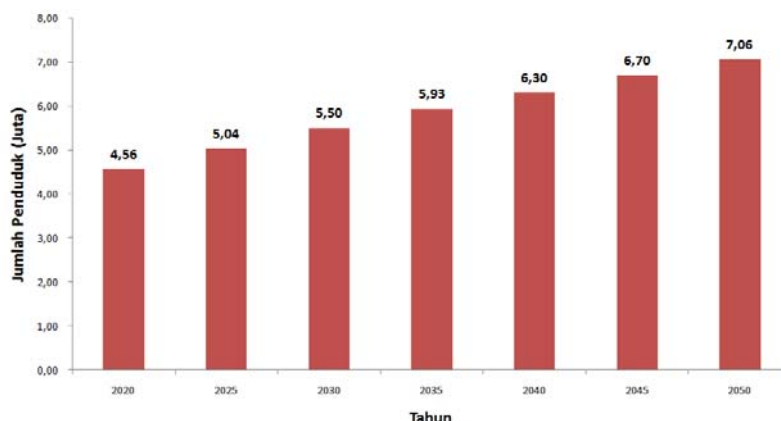
Gambar 4. Potensi sumber energi fosil di wilayah Kalimantan Timur [23]

Berbagai asumsi digunakan dalam studi ini untuk data masukan program MESSAGE yaitu musim (*season*) dalam setahun di tentukan sebanyak 12 jenis sesuai dengan jumlah bulan dalam satu tahun. Asumsi lainnya adalah jenis hari dibagi menjadi 3 kategori yaitu hari kerja, hari sabtu dan hari minggu. Jenis penggunaan listrik perjam dalam satu hari dibagi menjadi 4 jenis yaitu jam pagi, jam kerja, jam puncak dan jam dini hari. Jam pagi adalah jam 04.00 sampai jam 07.00, jam kerja adalah jam 08.00 sampai jam 17.00, jam puncak adalah jam 18.00 sampai jam 23.00 dan jam dini hari adalah jam 24.00 sampai jam 03.00.

HASIL DAN PEMBAHASAN

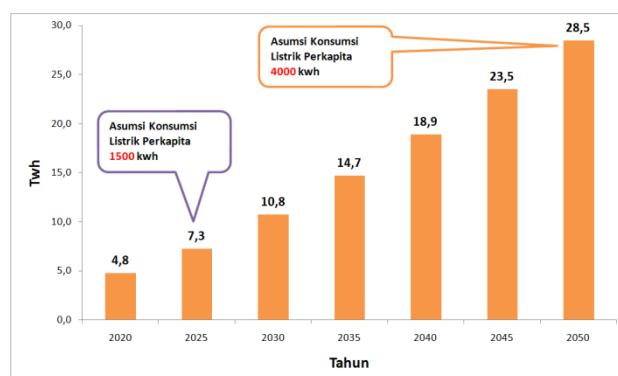
Jumlah penduduk Kalimantan Timur berdasarkan data dalam buku Kalimantan dalam angka diproyeksikan pada tahun 2020 sebanyak 4,56 juta dan bertambah hingga mencapai 7,06 juta pada tahun 2050[1]. Proyeksi jumlah penduduk Kalimantan Timur ditunjukkan pada

gambar 5. Proyeksi jumlah penduduk tersebut akan mempengaruhi jumlah konsumsi energi dengan nilai yang bergantung pada konsumsi rata-rata perkapita.



Gambar 5. Proyeksi jumlah penduduk Kalimantan Timur hingga 2050 [23]

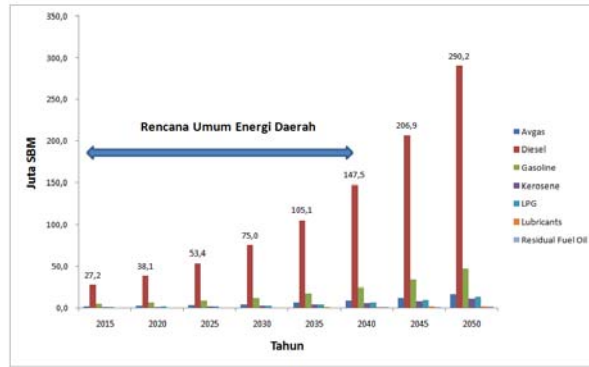
Target konsumsi listrik perkapita Kalimantan Timur mengikuti RUED dan RUEN. Konsumsi listrik perkapita Kalimantan Timur pada tahun 2025 ditargetkan sebesar 1500 kwh perkapita dan pada tahun 2050 ditargetkan sebesar 4000 kwh perkapita. Kebutuhan listrik total berdasarkan proyeksi jumlah penduduk dan target konsumsi perkapita ditunjukkan pada gambar 6. Kebutuhan listrik Kalimantan Timur diperkirakan sebesar 4,8 Twh pada tahun 2020 dan bertambah hingga mencapai 28,5 Twh pada tahun 2050.



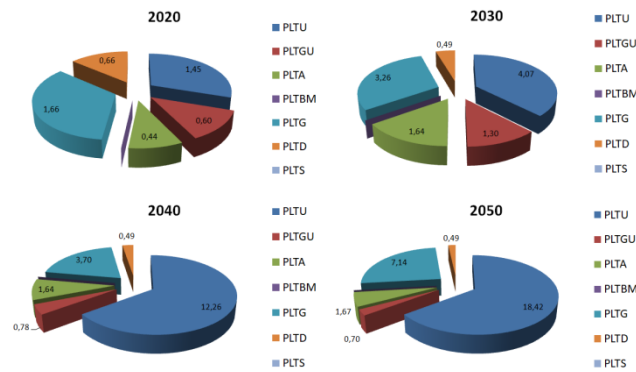
Gambar 6. Proyeksi kebutuhan listrik di Kalimantan Timur[19]

Perencanaan dalam pembangunan pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik juga harus memperhitungkan kebutuhan energi di luar kelistrikan. Berdasarkan data pada buku Kalimantan Timur dalam angka, mayoritas kebutuhan energi di luar kelistrikan adalah kebutuhan minyak. Proyeksi kebutuhan energi minyak di luar kelistrikan untuk Kalimantan Timur ditunjukkan pada gambar 7. Kebutuhan diesel sangat mendominasi karena untuk sektor transportasi bahkan diperkirakan pada tahun 2050 kebutuhan diesel sebesar 290,2 jt SBM. Hal ini sangat mempengaruhi kebijakan daerah untuk menekan dan mengurangi penggunaan diesel untuk kelistrikan.

Hasil perhitungan dengan perangkat lunak MESSAGE menggunakan 2 skenario yaitu skenario non nuklir dan skenario nuklir. Hasil proyeksi pembangkit listrik yang akan dibangun untuk skenario non nuklir di Kalimantan Timur hingga tahun 2050 ditunjukkan pada gambar 8. Tahun 2020 diperkirakan PLTG mendominasi sebesar 1,66 Twh karena gabungan antara pembangkit yang telah eksis dengan rencana RUPTL PLN. PLTU mulai banyak yang beroperasi hingga mencapai 1,45 Twh dan diikuti dengan pembangkit lain PLTD, PLTA dan PLTBM. Porsi PLTS masih sangat kecil walaupun sudah ada dikarenakan program insentif dari pemerintah pusat.



Gambar 7. Proyeksi kebutuhan energi minyak di Kalimantan Timur.

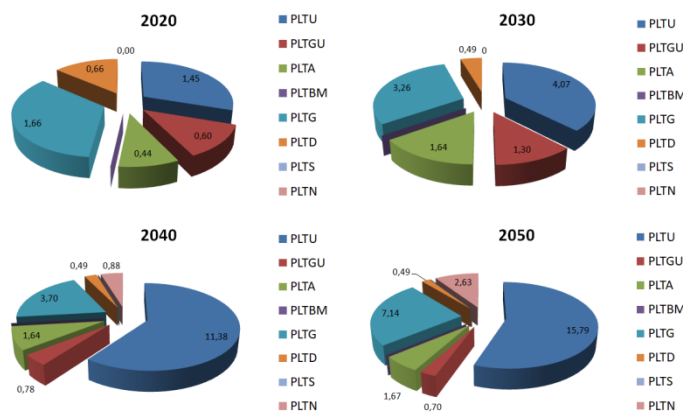


Gambar 8. Proyeksi pangsa pembangkit listrik Kalimantan Timur skenario non nuklir hingga 2050

Tahun 2050 untuk opsi non nuklir diproyeksikan PLTU akan mendominasi dengan produksi total sebesar 18,41 Twh. PLTG yang memiliki porsi terbesar setelah PLTU yaitu sebesar 7,14 Twh digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban menengah dan sebagian dari beban puncak. Pembangkit lain seperti PLTD, PLTBM dan PLTGU lebih banyak dimanfaatkan untuk beban puncak.

Hasil proyeksi pembangkit listrik untuk skenario nuklir di Kalimantan Timur hingga tahun 2050 ditunjukkan pada gambar 9. Tahun 2020 diperkirakan PLTG mendominasi sebesar 1,66 Twh sehingga masih sama dengan hasil skenario non nuklir. Tahun 2030 pangsa pembangkit listrik untuk skenario nuklir juga masih sama dengan skenario non nuklir. Hal ini dikarenakan PLTN jenis SMR dengan kapasitas 200 MW baru bisa dibangun pada tahun 2035. Pembangunan PLTN harus mempertimbangkan kemampuan jaringan transmisi dan total kapasitas pembangkit yang telah eksis.

Tahun 2040 diperkirakan produksi listrik dari PLTN sebesar 0,88 Twh dan pada tahun 2050 sebesar 2,63 Twh. Data tersebut menunjukkan bahwa pada tahun 2040 PLTN memberikan porsi sebesar 4,7% dan pada tahun 2050 sebesar 9,3%. Hasil proyeksi ini didasarkan pada pemilihan jenis kapasitas PLTN dan penggunaan PLTN untuk memenuhi kebutuhan beban dasar. Dengan demikian adanya PLTN akan mengurangi porsi PLTU yang bermanfaat untuk menekan kenaikan emisi karbon akibat pembakaran energi fosil.



Gambar 9. Proyeksi pangsa pembangkit listrik Kalimantan Timur skenario nuklir hingga 2050

KESIMPULAN

Studi perencanaan energi kelistrikan Kalimantan Timur yang telah dilaksanakan dengan mempertimbangkan target dan kebijakan daerah serta kondisi kelistrikan memberikan hasil dalam bentuk 2 skenario yaitu skenario non nuklir dan skenario nuklir. Untuk skenario non nuklir diperoleh hasil bahwa pada tahun 2020 PLTG mendominasi akan tetapi seiring berjalannya waktu hingga tahun 2050 PLTU akan mendominasi hingga mencapai 64,8%. Untuk skenario nuklir dimana PLTN SMR akan berperan untuk memenuhi kebutuhan beban dasar maka tahun 2040 PLTN akan memproduksi listrik sebesar 0,88 Twh atau pangsa sebesar 4,7%. Adapun untuk tahun 2050 maka PLTN akan memproduksi 2,63 Twh atau pangsa sebesar 9,3% dari total listrik yang diproduksi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Dr. Suparman yang telah mendukung dalam program peningkatan SDM melalui training perangkat lunak MESSAGE dan studi perencanaan energi di Kalimantan Timur.

DAFTAR PUSTAKA

1. BPS Kalimantan Timur, "Kalimantan Timur dalam Angka 2016", BPS Samarinda Kalimantan Timur, 2016.
2. WIDODO W.L., SUPARMAN, FIRMANSYAH R., "Studi Pengembangan Kelistrikan Kalimantan Barat dengan Opsi Nuklir Berdaya Kecil & Menengah", Prosiding SENTEN 2014, Pontianak Kalimantan Barat (2014).
3. FIRMANSYAH R., Widodo W.L., "Aplikasi Program MESSAGE dalam Perencanaan Sistem Energi", Prosiding SENTEN 2014, Pontianak Kalimantan Barat (2014).
4. IAEA, "MESSAGE User Manual, IAEA Vienna Austria, 2011,
5. KUZNETSOV V., ANDREEVA-ANDRIEVSKAYA L.N., FESENKO G., KRIACHKO M., POPLAVSKAYAC E., USANOV V. "Progress of the IAEA/INPRO Project 2 "Global Nuclear Energy Scenarios", Nuclear and Environmental Safety, 2, Moscow (2013).
6. IAEA-TECDOC-NG-T-4.4, "INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems : Economics", IAEA, Vienna (2014).
7. IAEA-TECDOC-NG-T-3.12, "INPRO Methodology for Sustainability Assessment of Nuclear Energy Systems : Infrastructure", IAEA, Vienna (2014).
8. BYCHKOV A., DRACE Z., FESENKO G., GRIGORIEV A., KORINNY A., KUZNETSOV V., PARK P.H., "INPRO Activities in Support of Transition to Sustainable Nuclear Energy Systems," 16th International Conference on Emerging Nuclear Energy Systems, 26-30 May, Madrid, Spain (2013).
9. INPRO – Ein nachhaltiges internationales Engagement im Sinne von „Atoms for Peace“ (INPRO - A Sustainable International Involvement in "Atoms for Peace") - Bernhard Kuczera und Th, June, Walter Tromm, Karlsruhe, (2012).
10. KUZNETSOV V., FESENKO G., ANDRIANOV A., and KUPTSOV I., "INPRO Activities on Development of Advanced Tools to Support Judgment Aggregation for Comparative Evaluation of Nuclear Energy Systems," Science and Technology of Nuclear Installations, vol. 2015, Vienna (2015).

11. BEATTY, R.L., GOWIN, P.J., PHILLIPS, J.R., OCENIC, E.L. "The International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO)", European Nuclear Conference, ENC 2012, 9-12 December, Manchester, UK (2012).
12. IAEA-User Manual DOC, "MESSAGE (Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts)", IAEA, Vienna (2007).
13. IAEA-A User's Guide DOC, "Modelling Nuclear Energy Systems with MESSAGE", IAEA, Vienna (2009).
14. DRACE Z., KUZNETSOV V.,LYSAKOV V., "Legal and institutional issues of transportable nuclear power plants", International Conference "Small-sized Nuclear Power Plants (SNPP), 3-5 December, Moscow, Russian Federation (2013).
15. FESENKO, G., KUZNETSOV V., POPLAVSKAYA, E. "Sensitivity analysis of synergistic collaborative scenarios towards sustainable nuclear energy systems Proceedings of Global 2013, Paper 7422, 29 September -3 October 2013, Salt Lake City, Utah, USA (2013).
16. FESENKO, G., KUZNETSOV, V., POPLAVSKAYA, E. "Scenarios of transition to sustainable nuclear energy systems with alternative fast reactor deployment strategies", 23- 27 September, Obninsk, Kaluga region, Russian Federation (2013).
17. ANDREEVA-ANDRIEVSKAYAL.N., KUZNETSOVV.V., BUSURINYu.N., PONOMAREVA.V., "INPRO-Synergies – a New International INPRO/IAEA Project", Nuclear and Environmental Safety, 1, Moscow (2012).
18. RAJ, B., VASILE, A., KAGRAMANYAN, V., XU, M., NAKAI, R., KIM, Y. I., "Multilateral Assessment of the Fast Reactor System as a Component of the Future Sustainable Nuclear Energy and Paths for the System Deployment", Journal of NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY, Vol. 48, No. 4, p. 591–596 (2011).
19. PT PLN, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2014 – 2023", PT PLN, Jakarta (2015).
20. PT PLN, "Statistik PLN 2014", PT PLN, Jakarta (2015).
21. FIRMANSYAH R., WIDODO W.L. dan SALIMY D.H., "Pengelolaan Sumber Daya Energi di Kalimantan untuk Mendukung Kemandirian Energi dan Pertumbuhan Industri", JPEN Volume 16 hal. 43, Nomor1, Juni, PKSEN BATAN, Jakarta (2014).
22. FIRMANSYAH R, SUPARMAN," Perhitungan Faktor Emisi CO2 PLTU batubara dan PLTN", JPEN Volume 15 hal. 1, Juni PKSEN BATAN, Jakarta (2013).
23. Kalimantan Timur,"Rencana Umum Energi Daerah 2012", Samarinda, Kalimantan Timur, 2012.

ANALISIS KEKUATAN MEKANIK ALAT BANTU ULTRASONIK UNTUK PEMERIKSAAN *BEAM TUBE* RSG-GAS

Dedy Haryanto*, Almira Citra Amelia*, Aep Saepudin Catur**

*Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir

**Pusat Reaktor Serba Guna

Email: dedy.haryanto@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS KEKUATAN MEKANIK ALAT BANTU ULTRASONIK UNTUK PEMERIKSAAN *BEAM TUBE* RSG-GAS. Reaktor Serba Guna G.A Siwabessy (RSG-GAS) memiliki fasilitas *beam tube* yang berfungsi sebagai tabung berkas tempat terjadinya proses iradiasi. Salah satu langkah perawatan terhadap *beam tube* yang akan dilakukan adalah pemeriksaan kondisi kelayakan *beam tube* menggunakan metode ultrasonik. Oleh karena itu maka perlu didesain alat bantu ultrasonik untuk mendukung pelaksanaan pemeriksaan pada *beam tube*. Alat bantu tersebut didesain mampu membawa probe ultrasonik dan meletakkan probe tepat pada jarak yang diijinkan sesuai dengan ketentuan pemeriksaan dengan metode ultrasonik. Analisis kekuatan mekanik alat bantu harus dilakukan setelah desain alat diperoleh dan sebelum dipabrikasi. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan dan keamanan alat bantu ketika digunakan untuk pemeriksaan *beam tube*. Alat bantu didesain menggunakan material Aluminium Alloy 1050 (Al 1050) dan analisis dengan metode pengujian secara simulasi menggunakan software CATIA. Tahapan yang dilakukan dalam menganalisis kekuatan mekanik yaitu ; pembuatan model 3-dimensi yang dilengkapi dengan sifat mekanik material yang digunakan yaitu Al 1050, memberikan *restraint* dan beban pada model 3-dimensi dan melakukan pengujian secara simulasi. Hasil pengujian pada perenggangan (*translational displacement*) 2,69 mm menimbulkan tegangan mekanik (*von mises stress*) sebesar 36,5 Mpa dengan gaya yang diberikan sebesar 125 N. Hasil tersebut dinilai baik karena pada perenggangan maksimal yang akan terjadi pada saat alat bantu digunakan tegangan mekanik yang terjadi jauh lebih kecil daripada *yield strength* material yang digunakan dan masih berada pada area elastisnya. Sehingga desain alat bantu ultrasonik dapat dipabrikasi dan digunakan untuk mendukung pemeriksaan *beam tube* dengan metode ultrasonik.

Kata kunci : *Beam tube*, alat bantu ultrasonik, *translational displacement*, tegangan mekanik.

ABSTRACT

MECHANICAL STRENGTH ANALYSIS OF SUPPORTING TOOL FOR ULTRASONIC EXAMINATION OF RSG-GAS BEAM TUBE. Multipurpose Reactor G.A. Siwabessy (RSG-GAS) has a *beam tube* facility where the irradiation process occurs. that serves as the site of irradiation. One of the treatments steps of *beam tube* that will be done is check the condition of the feasibility eligibility conditions of *beam tube* inspection using ultrasonic method. Therefore it needs to be then designed of tool a supporting tool of ultrasonic for the implementation of ultrasonic checking on *beam tube*. The designed supporting tool should will be designed must to be able to bring the ultrasonic probe to the position and probe put right at a distance which is permitted in accordance with the examination using with the ultrasonic method. Analysis Mechanical strength analysis must be done after designed of tool supporting is obtained and before manufactured. This analysis aims to determine the feasibility and safety of tools when used for examination of *beam tube*. Supporting tools designed using 1050 aluminum alloy material (Al 1050) and analyzed with simulation method using CATIA. Steps being taken in analyzing the mechanical strength is; three dimensional modeling with the mechanical properties of the used material (Al 1050), provide *restraint* and load on three dimensional models and testing in simulation method. The test results on the stretch (*translational displacement*) 2.69mm mechanical stresses (*von mises stress*) of 36.5 MPa for applied force are 125 N. These results are considered as a good result because the maximum stretching that will occur far less than the yield strength of the material used and is still in the elastic area. The design of the ultrasonic supporting tool can be fabricated and used to support the *beam tube* inspection with ultrasonic methods.

Keywords: *Beam tube*, ultrasonic supporting tool , *translational displacement*, mechanical stress.

PENDAHULUAN

Reaktor Serba Guna – G.A. Siwabessy (RSG-GAS) adalah reaktor riset jenis MTR (*Material Testing Reactor*) pertama di dunia yang dioperasikan langsung dengan bahan bakar pengkayaan uranium rendah atau LEU (*Low Enriched Uranium*), dengan kapasitas daya sebesar 30 MW_{th}. RSG-GAS ini memiliki struktur yang terdiri dari kolam reaktor, pelat kisi dan selubung teras, penyangga teras, elemen bakar, elemen kendali, batang kendali, elemen reflektor dan blok reflektor, penutup dan *dummy*, perisai teras reaktor, tabung berkas, fasilitas iradiasi di dalam teras, dan jembatan reaktor [1][2][3]. Beberapa fasilitas iradiasi di dalam teras reaktor yang terdiri dari *Central Irradiation Position (CIP)*, *Irradiation Position (IP)*, *Sistem Rabbit*, *Power Ramp Test Facility (PRTF)*, dan Tabung Berkas (*beam tube*) [4]. RSG-GAS memiliki enam *beam tube*, *beam tube* S-1 digunakan untuk memproduksi *Iodine-125*. *Beam tube* S-6 (*tangential Beam tube*) dilengkapi dengan *powder diffractometer*. Empat *beam tube* yang lain digunakan untuk riset *magnetic alloys*, polimer dan bahan nuklir dengan teknik *neutron scattering* dan difraksi neutron [3][5].

Untuk kelancaran saat dioperasikan fasilitas-fasilitas itu memerlukan perawatan untuk mempertahankan keandalannya selama digunakan. Salah satu perawatan yang dilakukan adalah pemeriksaan kondisi kelayakan *beam tube* menggunakan peralatan ultrasonik yang merupakan salah satu dari metode uji tak rusak (*Non Destructive Test*) [6]. Oleh karena posisi *beam tube* berada pada level 13.150mm dibawah permukaan air pendingin kolam reaktor, maka diperlukan sebuah alat bantu untuk mendukung kegiatan pemeriksaan tersebut. Alat bantu ultrasonik berfungsi untuk meletakkan *probe* ultrasonik tepat pada jarak yang diijinkan sesuai ketentuan pemeriksaan dengan ultrasonik yaitu sebesar 25,4 mm. Alat bantu ultrasonik didesain menggunakan material aluminium Alloy – 1050 (Al 1050) untuk menghindari terjadinya korosi dan mempunyai bobot yang ringan.

Pembuatan desain alat bantu dilakukan menggunakan *software* AutoCad dengan komponen tuas pengarah, plat utama, roda penggerak, dan dudukan *probe* ultrasonik. Plat utama berbentuk lingkaran tidak penuh sehingga alat bantu dapat ditekan dan mencengkram *beam tube*. Ketika plat utama ditekan ke arah *beam tube* plat akan mengalami kerengangan maksimal (*translational displacement*) sebesar 2,69 mm, sehingga untuk itu perlu dilakukan analisis untuk mengetahui besarnya tegangan mekanik (*von mises stress*) pada plat utama..

Analisis kekuatan mekanik dilakukan dengan pengujian secara simulasi menggunakan *software* CATIA. Analisis yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui tegangan mekanik yang terjadi pada desain alat bantu ultrasonik dengan material Al 1050 ketika diregangkan sebesar 2,69 mm. Regangan sebesar 2,69 mm adalah regangan yang terjadi ketika alat bantu ultrasonik mengalami regangan maksimum pada saat dipasangkan pada *beam tube*. Tahapan analisis yang dilakukan meliputi ; pembuatan model tiga dimensi, mengumpulkan data sifat-sifat mekanik material yang digunakan pada alat bantu, serta melakukan pengujian kekuatan mekanik secara simulasi [7]. Dengan membandingkan besar tegangan mekanik yang terjadi pada plat utama alat bantu ultrasonik dengan *yield strenght* material Al 1050 maka dapat diketahui kekuatan mekanik alat bantu [8][9].

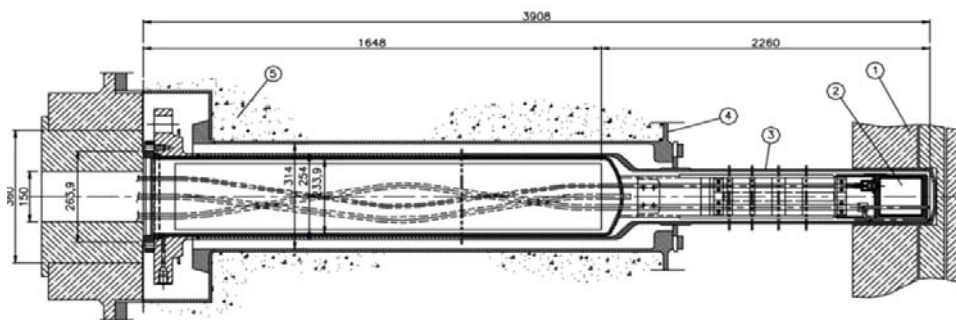
TEORI

Fasilitas *beam tube* berfungsi sebagai tabung berkas tempat terjadinya iradiasi yang berada didalam kolam reaktor. Penampang *Beam tube* ditunjukkan pada Gambar 1.

Beam tube merupakan fasilitas iradiasi yang berada di luar teras reaktor. RSG-GAS memiliki enam *Beam tube* yaitu [10] :

1. *Beam tube* S-1 (*Xenon Loop*). Fasilitas ini digunakan untuk produksi I-125.
2. *Beam tube* S-2 (*Dry Neutron Radiography*). Digunakan untuk penelitian sains dan materi.
3. *Beam tube* S-3 (*Small Angle Neutron Scattering*), digunakan untuk penelitian sains dan materi.
4. *Beam tube* S-4 (*Neutron Defraction*). digunakan untuk penelitian sains dan materi.
5. *Beam tube* S-5 (*Polarized Neutron Scattering*), digunakan untuk penelitian sains dan materi.
6. *Beam tube* S-6 (*Powder Diffractometer*), digunakan untuk penelitian sains dan materi.

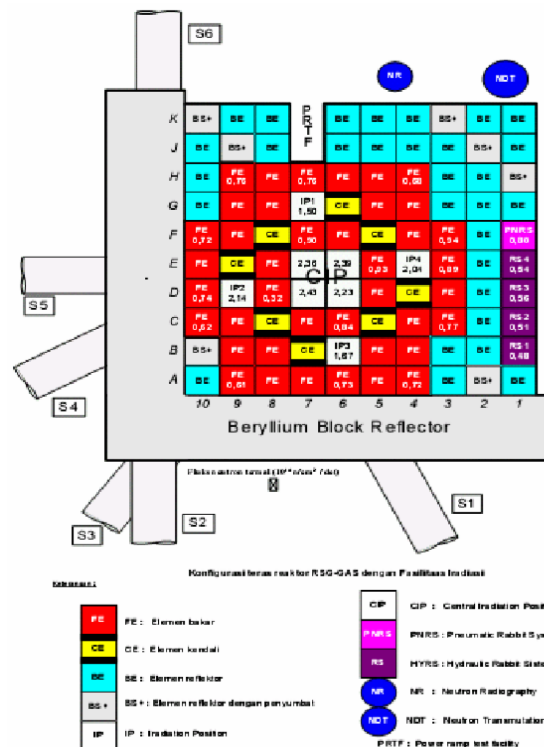
Posisi seluruh *Beam tube* (6 buah) berada didalam kolam reaktor pada level 13.150mm dibawah permukaan air pendingin kolam reaktor. Konfigurasi keenam *Beam tube* didalam kolam reaktor seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Keterangan gambar :

1. Berilium reflektor
2. Kamar iradiasi
3. *Beam tube*
4. Dinding kolam
5. Perisai beton

Gambar 1. Penampang *beam tube* [4]



Gambar 2. Konfigurasi *Beam tube* pada teras RSG-GAS[5]

Tindakan perawatan sangat diperlukan untuk menjaga kondisi kelayakan *beam tube*, salah satu tindakan perawatan yang dilakukan adalah pemeriksaan kondisi *Beam tube* menggunakan peralatan ultrasonik. Dengan ultrasonik dapat diketahui adanya keretakan pada dinding *beam tube* sehingga tindakan penanggulangan dan pencegahan agar kerusakan tidak semakin parah dapat segera dilakukan. Untuk melakukan pemeriksaan menggunakan ultrasonik diperlukan sebuah alat bantu dikarenakan posisi *beam tube* yang berada 13.150mm dibawah permukaan air pendingin kolam reaktor. Alat bantu didesain untuk membawa *probe* ultrasonik ke dinding *beam tube* dengan jarak yang telah ditentukan yaitu sebesar 25,4 mm serta dapat digerakan sepanjang permukaan dinding *beam tube*.

Material alat bantu ultrasonik menggunakan Al1050 dengan tujuan untuk mempermudah proses pembuatan, ringan dan tahan karat. Disamping itu Al1050 adalah jenis material aluminium yang sering digunakan untuk logam lembaran kerja dimana

kekuatannya diperlukan. Material ini juga mempunyai ketahanan yang sangat baik terhadap korosi [11]. Sifat mekanik Aluminium Alloy 1050 (Al 1050) sebagai berikut:

Tabel 1. Sifat-sifat mekanik Al 1050 [12].

Mechanical properties	Besaran
Yield strength	105 MPa
Tensile strength	110 MPa
Density	2600 kg/m ³
Young's modulus	70 GPa
Thermal Expansion	2,4 x 10 ⁻⁵ /K
Poisson ratio	0,33

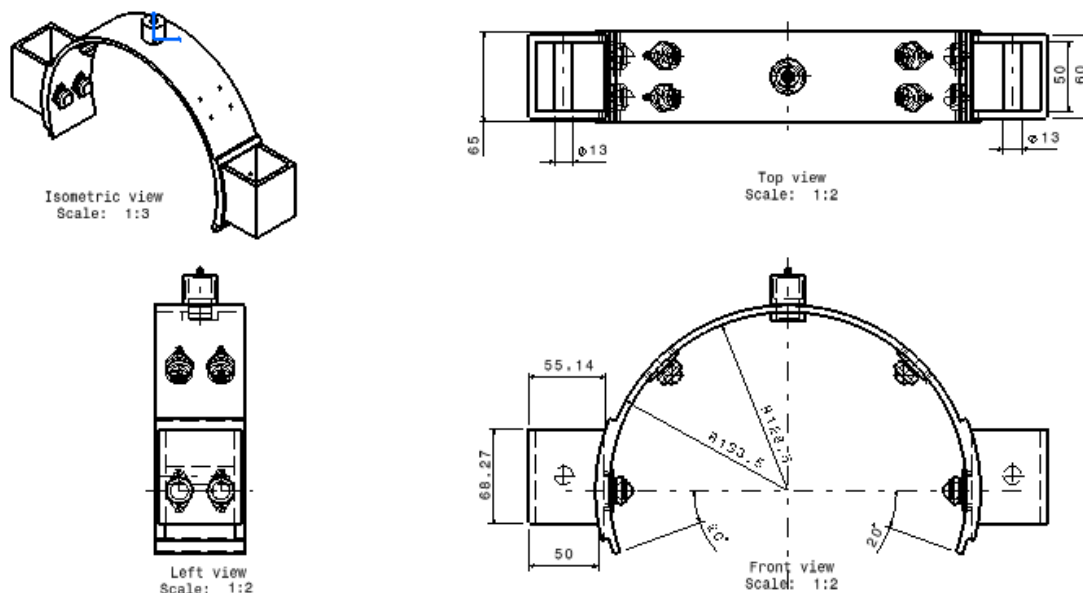
Alumunium Alloy adalah bahan campuran yang mempunyai sifat-sifat logam terdiri dari dua atau lebih unsur-unsur paduan. Penambahan unsur-unsur Cu, Zn, Mn, Mg, Si,Ti berfungsi sebagai tambahan untuk meningkatkan kekuatan mekaniknya. Fungsi dari unsur-unsur paduan dalam almunium alloy adalah sebagai berikut [13]:

1. Copper (Cu) 0,5%, menaikkan kekuatan dan kekerasan, namun menurunkan elongasi (pertambahan panjang pangjangan saat ditarik).
2. Zink atau Seng (Zn) 0,5%, menaikkan nilai tensile.
3. Mangan (Mn) 0,5%, menaikkan kekuatan dalam temperature tinggi.
4. Magnesium (Mg) 0,5%, menaikkan kekuatan alumunium dan ketahanan korosi.
5. Silikon (Si) 0,25%, menyebabkan paduan alumunium tersebut bisa dikenakan perlakuan panas untuk menaikkan sifat kekerasannya.
6. Ferro (Fe) 0,4%, menaikkan kekuatan.
7. Titanium (Ti) 0,03%, ditambahkan untuk memperbaiki sifat tahan oksidasinya.

TATA KERJA

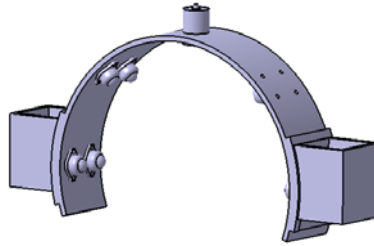
Desain Alat Bantu Ultrasonik

Alat bantu ultrasonik berfungsi sebagai alat pembawa *probe* ultrasonik dalam pemeriksaan *beam tube*. Alat bantu ini didesain dapat mempertahankan jarak sebesar 25,4 mm antara ujung *probe* dengan permukaan *beam tube*. Desain alat bantu ultrasonik seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain alat bantu ultrasonik.

Untuk melakukan analisis kekuatan mekanik pada desain alat bantu harus dilakukan pembuatan model tiga dimensi dengan mengacu desain yang telah dibuat. Pemodelan tiga dimensi alat bantu ultrasonik ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Model 3-dimensi alat bantu

Dengan adanya pemodelan tiga dimensi yang telah dilengkapi dengan sifat-sifat mekanik material yang digunakan, maka analisis kekuatan mekanik pada desain alat bantu ultrasonik dapat dilakukan melalui simulasi menggunakan *software* CATIA. Analisis kekuatan mekanik dengan *software* CATIA dapat digunakan untuk mengetahui besaran tegangan mekanik yang terjadi akibat adanya perenggangan sebesar 2,69 mm ketika alat bantu digunakan pada *beam tube*. Besaran tegangan mekanik tersebut dibandingkan dengan *yield strength* material Al 1050. Jika tegangan mekanik yang terjadi lebih kecil daripada *yield strength* material Al 1050 dan masih berada pada daerah elastisnya maka desain alat bantu ultrasonik dapat diterima dan dipabrikasi.

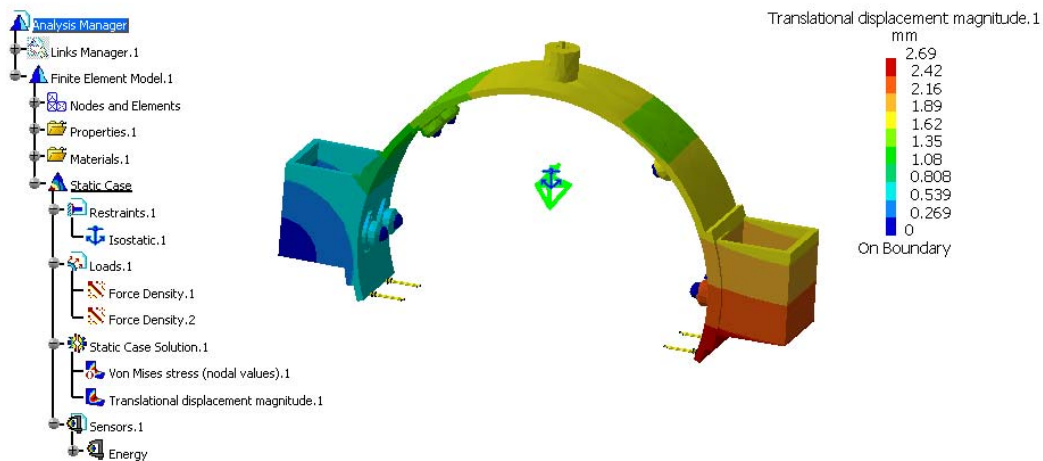
Tahapan Kerja

Tahapan yang dilakukan dalam melakukan analisis kekuatan mekanik melalui pengujian secara simulasi menggunakan *software* CATIA adalah sebagai berikut [14];

1. Pembuatan model tiga dimensi.
Pada tahapan ini model tiga dimensi alat bantu ultrasonik dibuat yang mengacu pada desain yang telah diperoleh. Model tersebut dilengkapi dengan sifat-sifat material yang digunakan pada desain dan digunakan sebagai data masukan pada pengujian secara simulasi.
2. Pembebanan.
Data pembebanan diasumsikan sebagai beban berupa gaya yang timbul akibat penekanan alat batu pada dinding *beam tube*. Besaran beban 125 N mengakibatkan adanya perenggangan sebesar 2,69 mm pada plat utama alat bantu.
3. *Restrain*.
Restrain mensimulasikan model tiga dimensi dari alat bantu ultrasonik pada kondisi statis. *Restrain* harus diberikan pada model karena tanpa adanya *restrain* maka pengujian secara simulasi tidak dapat dilakukan.
4. Pengujian tegangan mekanik.
Menggunakan model tiga dimensi yang telah diperoleh mengacu dari desain alat bantu ultrasonik yang telah dilengkapi dengan data masukan berupa sifat-sifat material, beban dan *restrain* selanjutnya dapat dilakukan pengujian secara simulasi untuk mengetahui besaran tegangan mekanik dan *translational displacement* yang terjadi. Besaran tegangan mekanik dibandingkan dengan *yield strength* material Al 1050 yang digunakan pada desain alat bantu sehingga dapat diketahui kekuatan mekanik desain alat bantu ultrasonik.

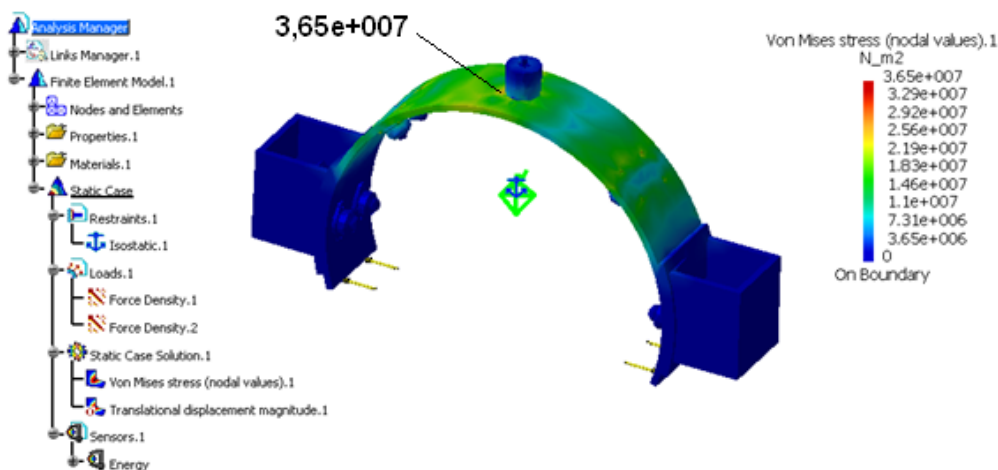
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian secara simulasi menggunakan *software* CATIA dilakukan dengan memberikan gaya ke arah sumbu Y positif dan Y negatif dengan gaya sebesar 125 N. Pemberian gaya ini mensimulasikan kondisi ketika alat bantu digunakan pada *beam tube* saat mengalami peregangan maksimal. Dengan pemberian gaya sebesar 125 N ke arah sumbu Y positif dan Y negatif didapatkan *translation displacement* (perenggangan) sebesar 2,69 mm terlihat pada Gambar 5.



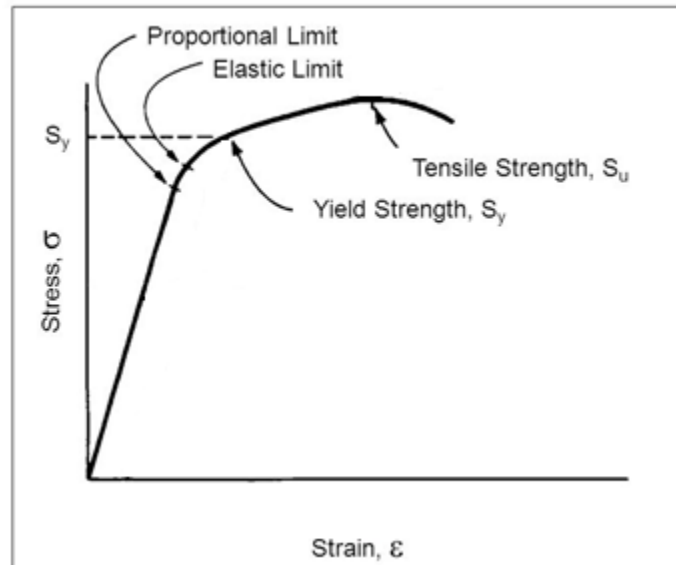
Gambar 5. Translation displacement (perenggangan) akibat gaya sebesar 125 N

Adanya peregangan sebesar 2,69 mm mengakibatkan adanya tegangan mekanik (*von mises stress*) sebesar 36,5 MPa ($3,65e+007 \text{ N/m}^2$) pada bagian atas alat bantu seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Tegangan mekanik (*von mises stress*) yang timbul akibat adanya peregangan.

Tegangan mekanik (*von mises stress*) yang timbul akibat peregangan sebesar 36,5MPa, sedangkan *yield strength* material Al 1050 yang digunakan sebesar 105 MPa ($1,05e+008 \text{ N/m}^2$)[13]. Jika dibandingkan antara tegangan mekanik yang timbul pada alat bantu dengan *yield strength* material Al 1050, tegangan mekanik tersebut lebih kecil daripada *yield strength* material Al 1050. Dan tegangan mekanik masih berada pada daerah elastis material Al 1050 sehingga jika beban diadakan maka tegangan mekanik akan hilang dan bentuk alat bantu akan kembali seperti semula seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 7. Grafik Stress versus Strain Aluminium Alloy 1050 [15]

Grafik pada Gambar 7 menunjukkan daerah elatis berada dibawah titik *yield strength*(S_y) material sebesar 105 MPa. Sehingga jika terjadi tegangan mekanik (*stress*) yang lebih kecil dibandingkan dengan *yield strength*(S_y) material maka material akan kembali ke bentuk semula. Sedangkan jika material mengalami tegangan mekanik (*stress*) yang lebih besar dari *yield strength* (S_y) material maka material tidak akan kembali ke bentuk semula. Jika gaya tetap diberikan sehingga tegangan melampaui *yield strength* dan mencapai titik *Tensile Strength* (S_u) maka alat bantu tersebut akan rusak, sesuai dengan hukum *hooke* yang berlaku untuk semua material logam [16]. Hal demikianlah yang terjadi pada alat bantu ultrasonik ketika diberikan gaya sebesar 125 N ke arah sumbu Y positif dan Y negatif sehingga mengalami perenggangan sebesar 2,69 mm.

KESIMPULAN

Pada saat aplikasi alat bantu ultrasonik digunakan pada *beam tube*, alat bantu akan mengalami peregangan sebesar 2,69 mm setara dengan pemberian gaya sebesar 125 N ke arah sumbu Y positif dan Y negatif. Akibatnya alat bantu akan mengalami tegangan mekanik sebesar 36,5 MPa ($3,65 \times 10^7 \text{ N/m}^2$). Tegangan mekanik yang timbul jauh lebih kecil dibandingkan dengan *yield strength* material Al 1050 yang digunakan sebesar 105 MPa ($1,05 \times 10^8 \text{ N/m}^2$) dengan demikian tegangan mekanik yang timbul masih berada di daerah elastis material. Jika peregangan dihilangkan dan gaya akan hilang maka alat bantu ultrasonik akan kembali ke bentuk semula. Dengan demikian desain alat bantu ultrasonik dapat dipabrikasi dan digunakan untuk mendukung pemeriksaan *beam tube* dengan metode ultrasonik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ucapkan terima kasih atas dukungan yang diberikan dengan adanya DIPAPTRKRN tahun anggaran 2015 untuk kegiatan penelitian ini, Kepala BPFKR selaku atasan langsung dan teman-teman Subbidang Fasilitas Termohidrolika serta Dr. Roziq Himawan atas diskusi teknis.

DAFTAR PUSTAKA

1. DEMON HANDOYO , AGUS CAHYONO , KHAIRUL HANDONO , SAPTA TEGUH P., Rancang Bangun Perangkat Lunak Simulator Reaktor Nuklir Untuk Sosialisasi PLTN, Jurnal Perangkat Nuklir, ISSN No. 1978-3515, Volume 05 Nomor 02 Nopember 2011
2. SYAHRUL, Pengetahuan dan Perawatan SSK Teras Reaktor RSG-GAS, Diktat Pelatihan Penyegaran Teknisi dan Supervisor Perawatan Reaktor RSG-GAS, 6 April 2015.
3. ANDI SOFRANY EKARIANSYAH, SUSYADI, SUKMANTO DIBYO, Aplikasi Program RELAP5/MOD3.2 Untuk Simulasi Beam tube Rupture RSG-GAS, Jurnal Teknologi

- Reaktor Nuklir-TRI DASA MEGA, P-ISSN: 1411-240X E-ISSN: 2527-9963, Vol. 8, No. 3, Oktober, 2006
4. INTERATOM, *Interatom TOP M29-6 Reactor Pool- Reactor Pool Upper Part (JAA)*.
 5. SUTRISNO, SUWOTO, ROYADI, Evaluasi Pemanfaatan Fasilitas Iradiasi RSG-GAS Pada Tahun 2006, Seminar Nasional III SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, ISSN 1978-0176 , 21-22 November 2007.
 6. SRI NITISWATI, ROZIQ HIMAWAN, Aktivitas SDM Uji Tak Rusak-PTRKN Untuk Menyongsong PLTN Pertama Di Indonesia, Seminar Nasional IV SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, ISSN 1978-0176 , 25-26 AGUSTUS 2008
 7. MHD. DAUD PINEM,S.T., CATIA Si Jago Desain Tiga Dimensi, Kawah Media, Jl. H. Montong No. 57, Ciganjur-Jagakarsa, Jakarta Selatan 12630, 2009.
 8. ENGINEERS EDGE, *Yield Phenomenon, Yield Strength–Strength (Mechanics) of Materials Strength/Mechanics of Materials*, http://www.engineersedge.com/material_science/yield_strength.htm, December 1st, 2011.
 9. DEDY HARYANTO, MULYA JUARSA, SAGINO., Analisis Kekuatan Mekanik Struktur Untai Uji Termohidrolika Reaktor Menggunakan Perangkat Lunak Uji Struktur, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016, ISSN: 2355-7524, Tahun 2016.
 10. ELISABETH RATNAWATI, SUTRISNO, SUNARKO, Pengujian Terhadap Kinerja Fasilitas Iradiasi Sistem Rabbit Pneumatik Reaktor RSG-GAS Dengan Menggunakan Bahan Acuan Standar, Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan Yogyakarta, ISSN 1410-8178, 11 September 2013
 11. AALCO, *The UK's independent multi-metals stockholder*, http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-1050A-H14-Sheet_57.ashx, diunduh bulan April 2017.
 12. DEDY HARYANTO, EDY KARYANTA, PUTUT HERY SETIAWAN, KAWKAB MUSTOFA, Pengaruh Penstabil Silikon Terhadap Kekuatan Mekanik Kapsul Iradiasi, Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Aplikasi Reaktor Nuklir, ISBN 978-979-17109-6-1, Tahun 2011
 13. YUDY SURYA IRAWAN, Material Teknik 08th, <https://matrudian.files.wordpress.com/2013/10/material-teknik-08th.pdf>, diunduh bulan April 2017.
 14. DEDY HARYANTO, RISWAN DJAMBIAR, SAGINO, Analisis Rancangan Kit Holder Pada Mesin Universal Gerinding RUP/1500, Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat NuklirPusat Sain dan Teknologi Akselerator, ISSN 1410-8178, Yogyakarta 9September 2014.
 15. NADCA A-3-2-06 STANDARD, *Material Properties Aluminium Alloys, NADCA Product Specification Standard for Die Castings*, 2006.
 16. DEDY HARYANTO, KUSSIGIT SANTOSA, Analisis Tegangan Mekanik Dan *Translational Displacement* Pada Struktur *Experiment* Kanal, Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2015, ISSN: 2355-7524, 15-16 Oktober 2015

PEMBUATAN SILIKON KARBIDA MONOLITIK DAN KARAKTERISTIKNYA

Futichah, Deni Mustika, Heri Hardiyanti, Pranjono, Isfandi, Jan Setiawan
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Kawasan Puspiptek Gd. 20, Tangerang Selatan
Email: futichah@batan.go.id

ABSTRAK

PEMBUATAN SILIKON KARBIDA MONOLITIK DAN KARAKTERISTIKNYA. Pembuatan SiC monolitik sebagai bahan pelapis pertama pada kelongsong bahan bakar nuklir berbasis komposit SiC telah dilakukan. Pada temperatur tinggi, SiC monolitik merupakan keramik yang mempunyai unjuk kerja yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan logam. Dalam penelitian ini dilakukan karakterisasi mekanik dan morfologi pada SiC monolitik yang dibuat melalui proses metalurgi serbuk dengan tekanan dan waktu kompaksi yang berbeda dan dengan proses sinter pada temperatur tertentu. Dari hasil karakterisasi diharapkan diperoleh data parameter pembuatan SiC monolitik yang terbaik. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk SiC dan larutan pengikat yang terdiri dari larutan toluen dan polycarbosilane dengan komposisi yang bervariasi. Serbuk SiC ditimbang kemudian dicampur dengan larutan binder, selanjutnya dikompakan menjadi pelet. Pelet hasil kompaksi disinter dalam tungku sinter mini pada temperatur 1300 °C selama 3 jam. Pelet SiC monolitik hasil sinter dikarakterisasi untuk mengetahui densitasnya menggunakan alat *autopicnometer*, struktur mikro SiC monolitik menggunakan mikroskop optik dan uji kekerasan mikro untuk mengetahui kekerasannya dengan *microhardness tester*. Semua uji yang dilakukan bertujuan untuk memperoleh kondisi parameter proses penahanan tekanan kompaksi yang optimum. Hasil sinter SiC monolitik yang telah dibuat mempunyai struktur mikro dimana SiC telah berdifusi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa proses kompaksi serbuk SiC relatif baik pada tekanan 10 kN dengan densitas SiC monolitik sebesar $(3,4 \pm 0,1) \text{ g/cm}^3$ dan nilai kekerasan rata-rata tertinggi sebesar 17,4 HVN. Karakteristik SiC monolitik yang diperoleh lebih rendah dibandingkan nilai secara teoritis dan sebagai lapisan pertama pada kelongsong komposit SiC belum dapat disimpulkan kinerjanya sebagai kelongsong bahan bakar nuklir.

Kata kunci: SiC monolitik, keramik, komposit, *polycarbosilane*, zirkaloi.

ABSTRACT

MANUFACTURING AND CHARACTERIZATION OF MONOLITHIC SILICON CARBIDE. The manufacture of monolithic SiC to be used as a nuclear fuel cladding has been performed. A ceramic, monolithic SiC has advantages compared to metallic cladding at high temperatures. Mechanical and morphological characterizations were conducted on the monolithic SiC manufactured from powder metallurgy process with various compaction pressures and times. Data obtained were used as the basis to determine best manufacture parameters. Materials used in the manufacture were SiC powder and a binder solution that consists of toluene and polycarbosilane with varied compositions. The SiC powders were weighed in certain mass and mixed with the binder solution in certain volume then were compacted to become pellets. The pellets were sintered at 1300 °C for 3 hours in inert gas. Sintered pellets were characterized for their density, microstructure morphology, and microhardness value. The objective of the tests was to acquire the optimum condition of compaction process parameters. Monolithic SiC showed microstructure with diffused powder. The pellets that were compacted at 10 kN showed good results with a density of $3.4 \pm 0.1 \text{ g/cm}^3$. The highest average micro hardness value was 17.4 HVN. The monolithic SiC characteristics compared to its theoretical value were lower, hence as first layer on silicon carbide composite cladding, in this case its performance as nuclear fuel cladding can't be determined.

Keywords: Monolithic SiC, ceramic, composite, *polycarbosilane*, zircaloy.

PENDAHULUAN

Keinginan untuk meningkatkan unjuk kerja paduan zirkonium yang lebih baik sebagai bahan struktur bahan bakar nuklir perlu dilakukan. Hal ini dipicu oleh trend pengembangan peningkatan burn-up bahan bakar yang lebih tinggi dari 60 MWd/kgU. Konsekuensinya adalah upaya-upaya peningkatan unjuk kerja bahan kelongsong zirkaloi sebagai bahan struktur, yaitu meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan korosi bahan pada temperatur tinggi. Hal ini dilakukan untuk mengatasi terbentuknya ZrH_2 (pada paduan Zr) yang menyebabkan perapuhan ataupun terbentuknya ZrO yang menghambat transfer panas dari bahan bakar ke pendingin, maka diusulkan desain kelongsong bahan bakar baik dengan pelapisan serat silikon karbida (SiC) pada zirkaloi atau SiC monolitik yang diperkuat dengan serat SiC. Kelemahan lain dari bahan kelongsong yang ada selain secara ekonomi mahal, juga terjadinya penurunan kekuatan mekanik ketika temperatur operasi reaktor meningkat [1, 2].

Dari uraian di atas maka perlu dilakukan upaya penguasaan teknologi proses pembuatan bahan struktur bahan bakar dari paduan berbasis Zr, komposit logam dengan penguat serat keramik SiC, serta komposit SiC/SiC dan SiC monolitik yang mempunyai unjuk kerja yang lebih tinggi [3,4]. Diperolehnya zirkaloi dan komposit keramik dapat meningkatkan efektivitas bahan bakar di teras reaktor, maka akan mendukung kemandirian bangsa Indonesia di masa depan apabila rencana pembangunan PLTN dilaksanakan dan pabrik bahan bakar nuklir dibangun. Dari aspek pemanfaatan untuk industri pada umumnya, komposit dan SiC monolitik diaplikasikan pada industri yang menuntut pengoperasian dan produk yang tahan pada temperatur tinggi dan tahan korosi hingga mencapai 1500 °C [5-7]. Sementara itu, zirkaloi yang memiliki temperatur leleh tinggi berkisar pada 1800 °C, namun dapat mengalami oksidasi pada temperatur 800 – 1200 °C [8]. Karakteristik oksidasi SiC-6H pada temperatur 1000 °C, 1200 °C dan 1400 °C dalam suasana udara terjadi perubahan berat tertinggi pada temperatur 1200 °C [9].

Desain kelongsong berbasis SiC yang dibuat dalam bentuk komposit SiC, perlu dilakukan pembuatan SiC monolitik. Penelitian ini adalah tahapan pertama pembuatan lapisan pertama dari komposit SiC yaitu SiC monolitik. Dalam Kegiatan penelitian ini diawali dengan melakukan proses pembuatan keramik SiC monolitik berbentuk pelet. Bahan utama yang digunakan adalah serbuk SiC dan larutan pengikat berupa *polycarbosilane* (PCS) yang dicampurkan kemudian dikompaksi dan disinter, selanjutnya dilakukan karakterisasi produk yaitu uji densitas, pengamatan mikrostruktur dan uji kekerasan mikro. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan parameter proses pembuatan SiC monolitik yang optimum.

METODOLOGI

Serbuk SiC yang digunakan adalah serbuk SiC 6H yang diproduksi dan disuplai dari Tiongkok [9]. Pembuatan SiC monolitik dilakukan dengan proses metalurgi serbuk. Dimensi SiC monolitik dibuat dengan diameter sekitar 12,7 mm dan ketebalan sekitar 1 mm [9]. Serbuk SiC ditekan, baik tanpa diberi dan diberi larutan pengikat (binder). Larutan pengikat yang diberikan merupakan campuran toluena dengan PCS dimana konsentrasi larutan campuran antara toluena dan PCS yang dipersiapkan dengan perbandingan 1:1 dan 1:1,5. Kompaksi pada serbuk SiC sehingga berbentuk pelet dilakukan variasi tanpa dan dengan pemberian sedikit larutan pengikat. Kompaksi dilakukan dengan variasi tekanan 10, 20 dan 30 kN selama 1 menit. Serbuk SiC yang tidak diberi larutan pengikat dilakukan kompaksi pada tekanan 10 dan 20 kN untuk waktu yang lebih panjang yaitu selama 5 menit, 10 menit dan 15 menit. SiC monolitik yang dihasilkan berbentuk pelet silinder, kemudian dilanjutkan proses sinter pada temperatur 1300 °C [3] dengan laju pemanasan lambat (5 °C/menit) dan ditahan selama 3 jam dalam suasana inert, sehingga diharapkan probabilitas pembentukan keramik semakin tinggi. Hasil proses sinter dilakukan karakterisasi meliputi pengujian densitas menggunakan *autopicnometer* dimana dalam pengukuran densitas tidak dibedakan SiC monolitik sinter dengan waktu kompaksi 5, 10 atau 15 menit. Pengamatan struktur mikro menggunakan mikroskop optik ephipot yang dilengkapi dengan penangkap citra digital dengan perbesaran 500x, dan pengujian kekerasan mikro menggunakan metode Vickers dengan beban sebesar 500 gf dan waktu penahanan selama 10 detik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil proses kompaksi SiC dengan variasi tekanan dan binder diperoleh pelet SiC monolith yang mudah pecah atau getas seperti tampak pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengamatan visual pelet SiC monolitik

Perbandingan toluena:PCS	volume larutan pengikat (mL)	Tekanan (kN)											
		10				20				30			
		Waktu tahan kompaksi (menit)											
		1	5	10	15	1	5	10	15	1	5	10	15
1:1	0,0	x	✓	✓	✓	x	x	x	x	x	o	o	o
	0,5	x	o	o	o	x	o	o	o	x	o	o	o
	1,0	x	o	o	o	x	o	o	o	x	o	o	o
	1,5	x	o	o	o	x	o	o	o	x	o	o	o
1:1,5	0,0	x	o	o	o	x	o	o	o	x	o	o	o
	0,5	x	o	o	o	x	o	o	o	x	o	o	o
	1,0	x	o	o	o	x	o	o	o	x	o	o	o
	1,5	x	o	o	o	x	o	o	o	x	o	o	o

Ket: x=pecah, ✓=tidak pecah, o=tidak dilakukan

Dari Tabel 1 terlihat bahwa sebagian besar serbuk SiC hasil kompaksi mengalami pecah atau getas. Pada serbuk SiC tanpa diberikan binder (larutan pengikat) diperoleh SiC monolitik yang tidak pecah dengan memberikan tambahan waktu kompaksi dari 5 hingga 15 menit dengan tekanan yang diberikan pada 10 dan 20 kN. Namun pada tekanan 20 kN, bentuk SiC yang diperoleh tidak utuh berbentuk silinder, sehingga dalam Tabel 1 tetap diberikan tanda silang (x) sebagai penanda hasil kompaksi tidak sempurna. Setelah dilakukan proses sinter, pelet hasil sinter dengan waktu kompaksi 10 dan 15 menit yang tetap utuh. Sementara itu, pada pelet yang hanya ditekan selama 5 menit mengalami patah setelah dilakukan proses sinter. Saat kompaksi terjadi transfer energi pada serbuk SiC yang salah satunya akan digunakan untuk berinteraksi antar serbuk sehingga terjadi ikatan secara mekanik (*mechanical interlocking*). Waktu kompaksi yang lebih singkat menunjukkan ikatan secara mekanik yang terjadi relatif lebih rendah sehingga lebih getas.

Hasil pengujian densitas untuk semua SiC monolitik menggunakan *autopicnometer* ditabulasikan pada Tabel 2. Densitas rata-rata yang diperoleh sebesar $3,4332 \text{ g/cm}^3$, dengan standar deviasi sebesar 0,1372 sehingga hasil pengukuran ini dapat dituliskan menjadi $(3,4 \pm 0,1) \text{ g/cm}^3$. Dari pengukuran ini diperoleh koefisien variasi sebesar 4% dimana nilai tersebut menunjukkan pengulangan pengukuran yang dilakukan relatif presisi, sedangkan akurasi pengujian diperoleh dari perbandingan nilai densitas teoritis sebesar $3,21 \text{ g/cm}^3$ dengan densitas pengukuran sebesar $3,43 \text{ g/cm}^3$, sehingga diperoleh akurasi pengujian sebesar 6,41% [10,11].

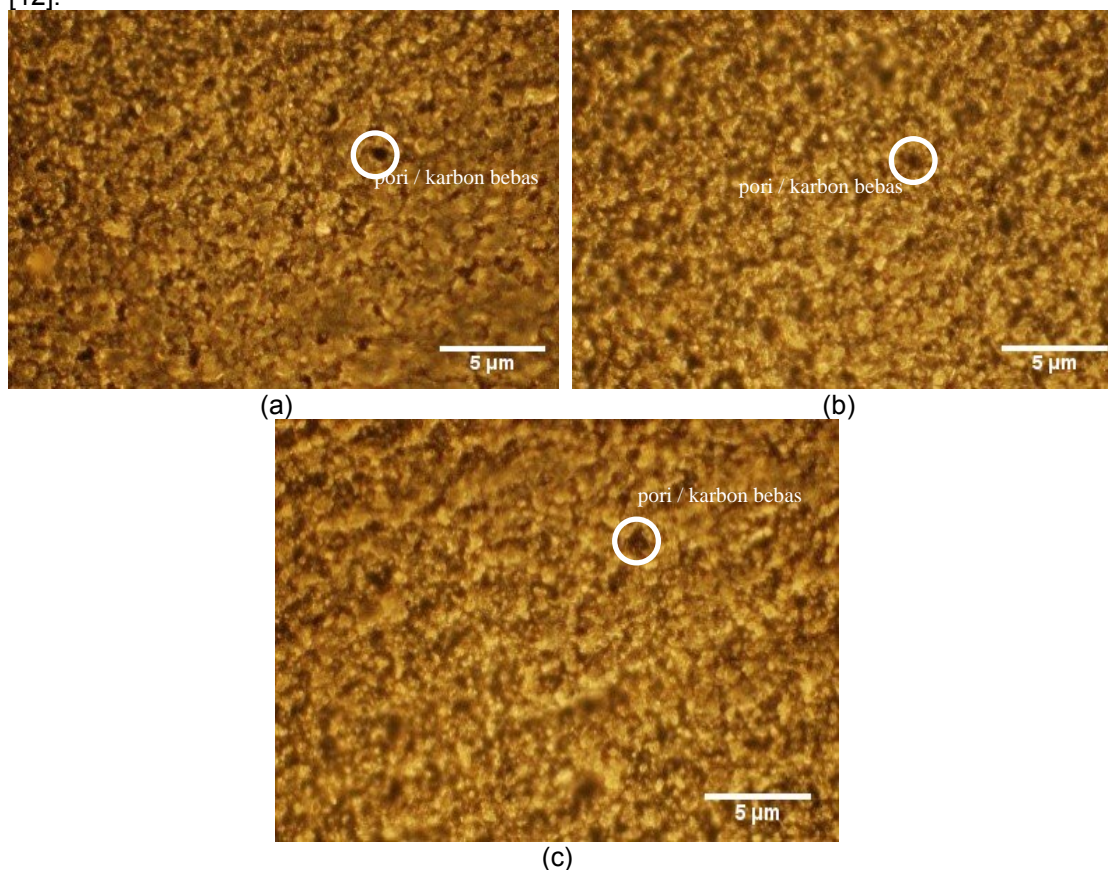
Tabel 2. Nilai densitas SiC monolitik menggunakan *autopicnometer*.

Run	Volume (cm ³)	Densitas (g/cm ³)
1	0,2165	3,6910
2	0,2224	3,5931
3	0,2265	3,5239
4	0,2295	3,4823
5	0,2350	3,4011
6	0,2374	3,3655
7	0,2394	3,3374
8	0,2241	3,3194
9	0,2414	3,3109
10	0,2438	3,2777
Densitas rerata:		3,4332

Tabel 2 menunjukkan bahwa densitas rata-rata yang diperoleh relatif lebih besar dibandingkan dengan densitas teoritis SiC, namun dari 10 kali pengulangan diperoleh nilai terkecil adalah $3,2777 \text{ g/cm}^3$. Hal ini menunjukkan SiC monolitik yang diperoleh hampir mendekati nilai densitas teoritis. Sebagian besar nilai yang tinggi, dimungkinkan karakteristik serbuk SiC pada permukaan SiC monolitik yang mudah mengalami erosi oleh gas He sebagai media dalam pengukuran densitas ini. Dimana serbuk SiC yang terlepas

akan terjebak di dalam *chamber* pengujian. Hal ini menyebabkan pengukuran volume yang sangat sensitif pada sampel uji oleh *autopicnometer* menjadi kelemahan dalam pengukuran SiC monolitik.

Hasil analisis struktur mikro dari SiC monolitik yang ditekan 10 kN selama 5, 10 dan 15 menit disajikan pada Gambar 1. Struktur mikro dari SiC menunjukkan sebagian serbuk SiC telah berdifusi, namun terlihat titik-titik hitam yang diduga sebagai pori atau sangat dimungkinkan juga sebagai karbon bebas yang terbentuk saat proses sintering. Ukuran pori atau karbon bebas yang terlihat pada Gambar 1, memiliki diameter berkisar antara 0,4-0,7 μm . Hal serupa terjadi pada pembuatan komposit SiC yang diperkuat dengan *graphene* dimana proses pengompakan yang dilanjutkan dengan proses sinter masih menghasilkan ketidak homogenan densitas dari produk salah satunya diakibatkan oleh adanya porositas [12].

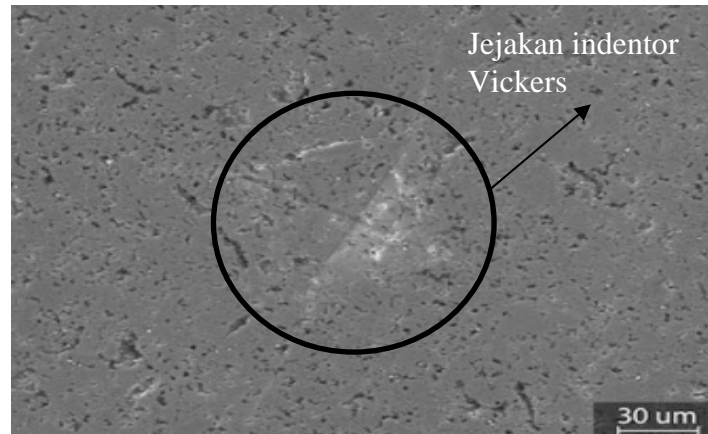


Gambar 1. Struktur mikro SiC monolitik hasil sinter ditekan 10 kN selama (a) 5 menit, (b) 10 menit dan (c) 15 menit.

Morfologi struktur mikro SiC masih belum menunjukkan butir yang ekuiaksial, sebab untuk memperoleh mikrostruktur ekuiaksial diperlukan waktu pemanasan yang lebih lama dan suhu yang lebih tinggi mendekati 2/3 dari titik leleh komposit SiC. Pada SiC monolitik, terlihat SiC yang berdifusi terlihat menyebar merata diseluruh bagian. Hal ini sangat mempengaruhi terhadap hasil pengujian kekerasan mikro. Ikatan SiC yang berdifusi akan lebih kuat dibandingkan dengan ikatan antar kelompok difusi SiC. Sehingga secara keseluruhan kekerasan SiC akan ditentukan oleh ikatan antar kelompok difusi SiC. Hasil pengujian kekerasan mikro ditabulasikan pada Tabel 3 dan citra SEM dari hasil jejak dari kekerasan mikro oleh [12] disajikan pada Gambar 2.

Tabel 3. Hasil uji kekerasan mikro SiC monolitik.

Beban indenter Vickers (gf)	Waktu kompaksi (menit)		
	5	10	15
500	17,4	7,9	11,1



Gambar 2. Citra SEM jejak indentor Vickers pada SiC mengandung 2% karbon [12].

Jejak indentor hardness Vicker pada SiC monolitik relatif samar seperti pada Gambar 2, sehingga menyulitkan penentuan d_1 dan d_2 dari jejak tersebut. Pada Gambar 2 tersebut dilakukan dengan beban 49 N dengan waktu penahanan saat menjejak indentor sekitar 30 detik. Hasil uji kekerasan yang diperoleh [12] berkisar pada 22,64 dan 25,08 GPa. Nilai tersebut sangat jauh dibanding dari yang dihasilkan penelitian ini. Perbedaan dan besaran nilai yang diperoleh pada penelitian ini dimungkinkan karena proses pembacaan pada jejak yang samar, sehingga keyakinan untuk menyatakan batas diagonal hasil jejak sangat mempengaruhi nilai yang diperoleh. Bagaimanapun turunnya kekerasan pada SiC monolitik yang dibuat, sangat dipengaruhi oleh struktur mikro SiC yang belum sempurna proses difusinya. Gambar 1 menunjukkan bahwa difusi SiC yang membangun struktur mikro, sangat berpengaruh terhadap kekerasan mikro yang diperoleh, pada Gambar 1.a terlihat area difusi SiC yang ada relatif lebih besar dibandingkan kedua gambar lainnya sehingga menunjukkan kekerasan mikro yang lebih besar. Hal ini disebabkan oleh terjadinya proses pautan mekanik (*mechanical interlocking*) yang sempurna selama pengompakan, sehingga proses difusi mudah terjadi akibatnya densitas menjadi tinggi yang diikuti kekerasannya juga tinggi.

Begitu juga dengan Gambar 1.c terlihat juga area difusi SiC yang relatif besar namun lebih sedikit jumlahnya dibandingkan pada Gambar 1.a, sedangkan Gambar 1.b area difusi SiC relatif kecil dan bintik hitam relatif menyebar merata. Hal ini disebabkan oleh proses kompaksi yang mengalami kejenuhan deformasi elastis dan mengakibatkan internal energi pada bahan yang dikompaksi memberikan penolakan terhadap tekanan yang diberikan, sehingga densitas yang diberikan menurun yang diikuti kekerasannya juga menurun [13]. Pada Gambar 1.c, kondisi sampel dengan durasi tekanan yang lebih lama mengakibatkan serbuk SiC yang dikompaksi mengalami kondisi deformasi plastis sehingga dapat meningkatkan kembali pautan mekanik yang berakibat proses difusi mudah terjadi sehingga densitas dan kekerasannya kembali meningkat [13].

KESIMPULAN

Telah dibuat SiC monolitik dengan teknik metalurgi serbuk dengan dilakukan kompaksi dan proses sinter. Dari hasil eksperimen pembuatan SiC monolitik, diperoleh kesimpulan bahwa proses kompaksi serbuk SiC yang tidak dicampur binder memberikan hasil yang relatif baik pada tekanan 10 kN baik waktu kompaksi selama 5, 10 maupun 15 menit. Densitas yang diperoleh sebesar $(3,4 \pm 0,1) \text{ g/cm}^3$ dengan presisi sekitar 4% dan akurasi sebesar 6,41%, nilai densitas rerata ini lebih tinggi dari nilai densitas monolitik (blocks) $3,21 \text{ g/cm}^3$ namun dari 10 kali pengulangan diperoleh nilai terkecil adalah $3,2777 \text{ g/cm}^3$. Hal ini menunjukkan SiC monolitik yang diperoleh hampir mendekati nilai densitas teoritis. Struktur mikro dari SiC monolitik sudah menunjukkan karakteristik SiC yang sudah berdifusi yang tersebar merata. Meski terlihat sedikit bintik hitam yang dimungkinkan sebagai pori atau karbon bebas. Kekerasan mikro yang diperoleh tertinggi rata-rata sebesar 17,4 VHN pada SiC monolitik yang ditekan dengan waktu penahanan selama 5 menit. Meskipun hasil uji densitas yang diperoleh nilainya lebih rendah mendekati dari nilai teoritikunya namun belum dapat disimpulkan performanya sebagai kelongsong bahan bakar nuklir. Sebab desain kelongsong berbasis SiC adalah kelongsong komposit SiC dari SiC monolitik dengan penguat serat SiC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Dedy Haryadi, Eddy Indarto, M.Ali Akbar, Mahpudin beserta seluruh anggota Tim Penelitian "Pembuatan SiC Monolith dan Karakterisasinya" yang telah bekerja sama dan saling bahu membahu mencapai sasaran akhir penelitian, sehingga dapat diselesaikan dan makalah ini dapat disusun.

DAFTAR PUSTAKA

1. L. HALLSTADIUS, S. JOHNSON, and E. LAHODA, "Cladding for high performance fuel," *Prog. Nucl. Energy*, vol. 57, pp. 71–76(2012).
2. MUSTIKA, DENI, RIWANDI SIHOMBING, SLAMET PRIBADI, RATIH LANGENATI, AND AGUS SUJATNO. "Karakteristik Permukaan Serat Silikon Karbida Hasil Pemintalan Listrik Dari Polycarbosilane Dalam N, N-Dimetilformamida (Dmf)/Toluena." *Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir*, Volume 21, no. 1 (2015).
3. SETIAWAN, J., PRANJONO, SIGIT, FUTICHAH, LANGENATI, R., & RIDWAN. "Karakteristik termofisika komposit nonwoven SiOC dengan penambahan serbuk SiC". *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*, Volume 11(1), 38-47 (2015).
4. PARK, D. J., JUNG, Y. I., KIM, H. G., PARK, J. Y., & KOO, Y. H. "Oxidation behavior of silicon carbide at 1200 C in both air and water–vapor-rich environments". *Corrosion Science*, 88, 416-422(2014).
5. MAGNANI, G., BRENTARI, A., BURRESI, E., & RAITERI, G. "Pressureless sintered silicon carbide with enhanced mechanical properties obtained by the two-step sintering method". *Ceramics International*, 40(1), 1759-1763(2014).
6. ROY, J., CHANDRA, S., DAS, S., and MAITRA, S. "Oxidation Behaviour of Silicon Carbide-A Review". *Rev. Adv. Mater. Sci*, 38, 29-39 (2014).
7. LIU, R., LIU, B., ZHANG, K., LIU, M., SHAO, Y., & TANG, C. "High temperature oxidation behavior of SiC coating in TRISO coated particles". *Journal of Nuclear Materials*, 453(1), 107-114 (2014).
8. YUEH, KEN, AND KURT A. TERRANI. "Silicon carbide composite for light water reactor fuel assembly applications." *Journal of Nuclear Materials* 448, no. 1, Hal 380-388(2014):.
9. SETIAWAN, JAN, AND GANISA K. SURYAMAN. "Phase Changes On 4h And 6h Sic At High Temperature Oxidation." *Urania Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir* Volume 22, no. 2 Hal 87-98(2016).
10. S. G. LEE, J. FOURCADE, R. LATTA, AND A. A. SOLOMON, "Polymer impregnation and pyrolysis process development for improving thermal conductivity of SiCp/SiC-PIP matrix fabrication," *Fusion Eng. Des.*, vol. 83, no. 5–6, pp. 713–719 (2008).
11. L. L. SNEAD, T. NOZAWA, Y. KATOH, T. S. BYUN, S. KONDO, AND D. A. PETTI, "Handbook of SiC properties for fuel performance modeling," *J. Nucl. Mater.*, vol. 371, no. 1–3, pp. 329–377 (2007).
12. RAHMAN, ARIF, ASHISH SINGH, SRIHARSHA KARUMURI, SANDIP P. HARIMKAR, KANAN A. KALKAN, AND RAMAN P. SINGH. "Graphene Reinforced Silicon Carbide Nanocomposites: Processing and Properties." In *Composite, Hybrid, and Multifunctional Materials*, Volume 4, pp. 165-176. Springer International Publishing (2015).
13. CALLISTER, W.D AND RETHWISCH, D.G., "Material Science And Engineering: An Introduction, 9th edition", John Wiley & Son, Inc., (2014).

PROYEKSI NERACA ENERGI INDONESIA HINGGA TAHUN 2060

Edwaren Liun

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, BATAN, Jl Kuningan Barat, Mp. Prapatan, Jakarta 12710

Email: edwaren@batan.go.id

ABSTRAK

PROYEKSI NERACA ENERGI INDONESIA HINGGA TAHUN 2060. Indonesia masih berada dalam pertumbuhan permintaan energi yang tinggi yang dipacu oleh pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi perubahan gaya hidup dan urbanisasi. Hingga tahun 2060 pertumbuhan masih berlanjut dimana penduduk Indonesia telah mencapai 372 juta jiwa. Tulisan ini bertujuan untuk menciptakan wawasan terhadap pilihan teknologi energi untuk mencapai sistem pembangkit listrik yang ekonomis. Metode yang digunakan adalah pengolahan data sekunder berupa statistik makro-ekonomi dan energi, proyeksi permintaan energi, dan analisis kecenderungan kurva data statistik terkait permintaan energi. Data disusun dan diintegrasikan di dalam model sesuai format yang tersedia dan pengolahan dengan program pemodelan energi MESSAGE. Hasil yang diperoleh adalah proyeksi permintaan energi dan strategi penyediaan hingga tahun 2060 terutama energi listrik. Hasil kuantitatif yang disajikan dalam makalah ini terdiri dari peringkat alternatif teknologi listrik dan ranking portofolio listrik. Hasil yang diperoleh adalah proyeksi jangka panjang hingga tahun 2060 dimana pada tahun tersebut kebutuhan total energi Indonesia akan mencapai 7,12 milyar BOE. Sedangkan suplai energi listrik yang dibutuhkan akan mencapai 296 ribu MWy, terdiri dari 235 ribu MWy 61 ribu MWy masing-masing untuk wilayah Jawa-Bali, Madura dan Sumatera, dan wilayah Indonesia lainnya. Secara keseluruhan energi paling dominan yang akan muncul untuk pembangkit listrik adalah dari jenis bahan bakar fosil terutama gas dan batubara.

Kata kunci: Jumlah penduduk, permintaan energi, proyeksi jangka panjang, optimasi, sistem kelistrikan.

ABSTRACT

INDONESIAN ENERGY BALANCE UNTIL 2060. Indonesia is still in the high growing demand for high energy driven by population growth, economic growth in lifestyle changes and urbanization. Until the year 2060 the growth continues where the population of Indonesia has reached 370 million inhabitants. This paper aims to create insight into the choice of energy technologies to achieve an economical power generation system. The method used is secondary data processing in the form of macro-economic and energy statistics, projected energy demand, and analysis of the trend of statistical data curve related to energy demand. Data are organized and integrated into the model according to the available format and processed with the MESSAGE energy modeling program. The results obtained are the projection of energy demand and supply strategy until 2060, especially electrical energy. The quantitative results presented in this paper consist of an alternative rating of electrical technology and an electrical portfolio rating. The result obtained is a long-term projection up to 2060 where in that year the total energy needs of Indonesia will reach 7.12 billion BOE. While the supply of electricity energy required will reach 296 thousand MWy, consisting of 61080 MWy and 23.5 MWy respectively for the Java-Bali, Madura and Sumatera, and other parts of Indonesia. Overall the most appear energy that will emerge is from fossil fuel type mainly gas and coal.

Keywords: Population, energy demand, long-term projection, optimization, electricity system.

PENDAHULUAN

Energi merupakan substansi dasar bagi pembangunan sosial dan memainkan peran penting sebagai faktor lingkungan dalam kelangsungan hidup dan perkembangan manusia[1]. Banyak studi menunjukkan hubungan antara aspek sosial-ekonomi dan konsumsi energi, termasuk kelahiran yang lebih rendah seperti yang telah diamati di Asia Timur dan negara-negara OECD serta pengaruhnya terhadap populasi dan angkatan kerja[2]. Pertumbuhan permintaan energi didorong oleh pertumbuhan penduduk, pertumbuhan PDB, dan perubahan gaya hidup. Berdasarkan analisis data statistik antara tahun 1971 sampai 2010, pada tahun 2060 jumlah penduduk Indonesia diproyeksikan menjadi 372 juta jiwa. Sedangkan menurut studi yang lain akan menjadi 415 juta jiwa pada tahun 2060[3], atau naik sebesar 75% dari tahun 2010. Penduduk Indonesia juga mengalami pertumbuhan GDP-PPP (PDB ekuivalen) dari 10385 USD pada tahun 2015 menjadi 40200 USD per kapita pada tahun 2060 atau menjadi total sekitar 14954 miliar USD pada tahun 2060 pada nilai konstan tahun 2005. Pergerakan parameter ekonomi ini akan membutuhkan sumberdaya pendukung yang akan jauh lebih besar daripada keadaan saat ini.

Penggunaan bahan bakar yang berasal dari minyak bumi hingga kini belum tersubstitusikan dengan bahan atau sumber energi dari jenis lain. Salah satu sektor yang sangat tergantung pada bahanbakar minyak adalah transportasi[4]. Dari tahun ke tahun pertumbuhan jumlah kendaraan cukup tinggi. Antara tahun 2000- 2010 jumlah kendaraan meningkat dari 18,98 juta unit pada tahun 2000 menjadi 77,13 juta unit pada tahun 2010 atau tumbuh rata-rata 15,1% per tahun. Saat ini pangsa terbesar adalah penggunaan sepeda motor yang mencapai 79% dari total jumlah kendaraan bermotor [5].

Di Indonesia sektor transportasi banyak mengalami kendala sebagai penyedia sarana berupa angkutan umum yang bersifat masal, maupun prasarana berupa jalan dan sistem pendukungnya, khususnya pada transportasi darat belum dapat berfungsi secara optimal sehingga memunculkan langkah alternatif antara lain dengan penggunaan kendaraan pribadi, baik mobil atau sepeda motor maupun angkutan umum yang bukan masal (angkot) dalam jumlah yang terlalu banyak dibandingkan angkutan masal[6]. Karenanya ketergantungan terhadap bahanbakar minyak di sektor ini sangat tinggi, dan pemanfaatan gas dan bahan bakar nabati (BBN) diharapkan dapat mengurangi ketergantungan dan subsidi sehingga dapat dimanfaatkan untuk kepentingan lain atau pembangunan infrastruktur[7]. Alternatif penyediaan energi jangka panjang yang kiranya layak untuk transportasi cenderung bertumpu pada tenaga listrik, yang mana penggunaan kendaraan listrik akan meningkat meliputi kendaraan pribadi bertenaga baterai.

Untuk analisi penyediaan energi dengan Model MESSAGE pemodelan dengan *Load Region* dan *Production Scheme*, merupakan metode yang mengidentifikasi kebutuhan dan masalah daya di lingkup konsumen[8]. Pemodelan memiliki paling kurang satu input atau output yang mana variabel aktivitas dan keterbatasan kapasitas akan secara standar dihasilkan secara terpisah untuk masing-masing daerah beban. Ini dapat diubah dengan mendefinisikan pola produksi selama daerah beban[9]. Jika pola produksi tetap bebas, produksi di masing-masing daerah beban terbatas dalam kaitannya dengan kapasitas terpasang secara terpisah untuk masing-masing daerah beban, kapasitas ditentukan oleh aktivitas di wilayah beban dengan persyaratan tertinggi.

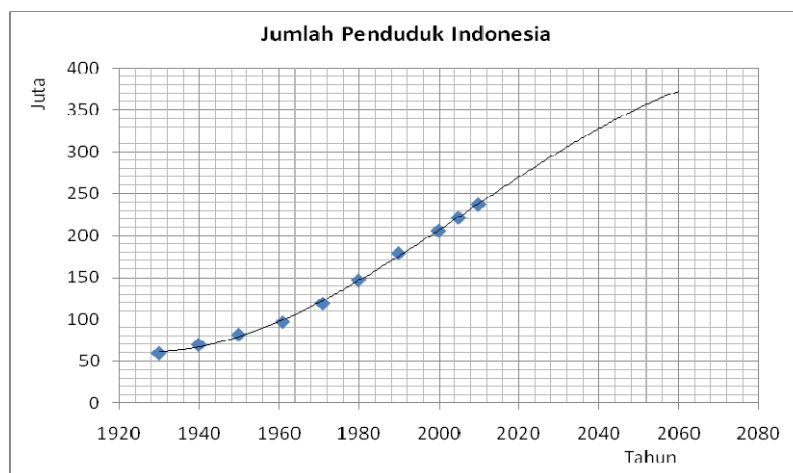
Di samping sektor transportasi, sektor industri juga tumbuh cukup tinggi ditandai dengan pangsa yang bertahan pada kisar antara 41 – 42 persen antara tahun 2010 sampai 2013[10]. Sektor industri dapat didukung oleh berbagai jenis energi[11], sedangkan jenis energi untuk sektor transportasi masih sangat terbatas. Terlepas dari kenyataan bahwa sektor transportasi memegang peranan penting dalam menentukan permintaan energi nasional, penggunaan energi di sektor transportasi memerlukan perhatian yang lebih serius[12]. Hal ini karena kompleksitas dalam urusan transportasi, kurangnya jenis energi yang dapat mendukung, dan keniscayaan bahwa jenis energi yang mendukung sektor transportasi selama ini akan mengalami penyusutan produksi dalam beberapa dasawarsa mendatang. Sebagian besar sektor transportasi di seluruh dunia menggunakan minyak bumi yang mana akan terjadi peningkatan jumlah mobil sebesar 2,2 sampai 2,6 kali antara tahun 2010 sampai 2050[13]. Saat ini energi yang digunakan untuk sektor transportasi menunjukkan kecenderungan yang rawan terhadap kelangkaan.

PEMODELAN

Optimasi permintaan dan pasokan sistem energi ini menggunakan model MESSAGE. Analisis hasil dilakukan perbandingan angka-masukan dan keluaran berdasarkan fungsi objektif dari besaran-besaran terkait. Besaran masukan dan keluaran mungkin akan berbeda pada sector-sector tertentu karena adanya faktor efisiensi, rugi-rugi energi dan daya, dan lintasan atau siklus lainnya dari energi atau bahan tertentu. Tulang punggung MESSAGE adalah lembar kerja yang fleksibel yang memungkinkan penjelasan rinci tentang sistem energi yang dimodelkan. Lembar kerja ini meliputi dan mendefinisikan definisi: i) bentuk energi pada setiap tingkat rantai energi, ii) teknologi yang memproduksi atau menggunakan bentuk energi ini, dan iii) sumber daya energi. Program ini mendefinisikan bentuk energi termasuk mengidentifikasi level dalam rantai energi, mulai dari permintaan terhadap sumber daya (misalnya penggunaan akhir dan primer), bentuk-bentuk energi (komoditas) yang benar-benar digunakan (misalnya batubara dan pemanas kabupaten), serta jasa energi (misalnya ruang panas atau air panas)[14].

Jumlah penduduk

Berdasarkan data historis jangka panjang antara tahun 1960 hingga 2010[15] penduduk Indonesia diproyeksikan bertumbuh dengan kecenderungan bentuk kurva polinomial pangkat tiga. Hasilnya menunjukkan bahwa pada tahun 2060 penduduk Indonesia akan mendekati 372 juta jiwa, seperti ditunjukkan oleh Gambar 1. Analisis ini didasarkan pada pola kecenderungan akibat modernisasi komunitas yang tergambar dalam bentuk kurva S. Hasil proyeksi penduduk Indonesia menurut Yayasan Karyana dengan data dasar hasil SUPAS 2005, dan menggunakan data dasar hasil SP 2010 menggunakan metode matematik serta menggunakan metode komponen dan campuran menghasilkan bahwa pada tahun 2060 akan menjadi 415 juta jiwa[3]. Perbedaan hasil sebesar 43 juta jiwa tampaknya disebabkan oleh pemodelan, parameter dan rentang waktu data historis yang digunakan.



Gambar 1.Proyeksi penduduk Indonesia menurut pertumbuhan polinomial pangkat tiga

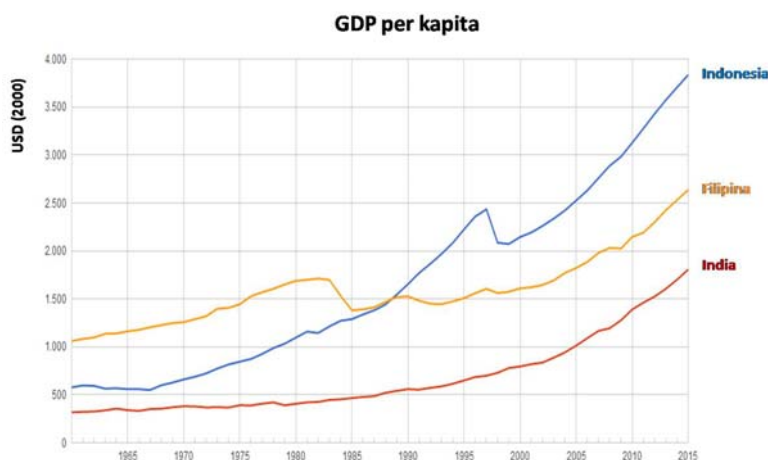
Sumber: Diolah dari Dokumentasi Sensus Penduduk 2010
(<https://sp2010.bps.go.id/index.php/dokumentasi/index>)

Ekonomi

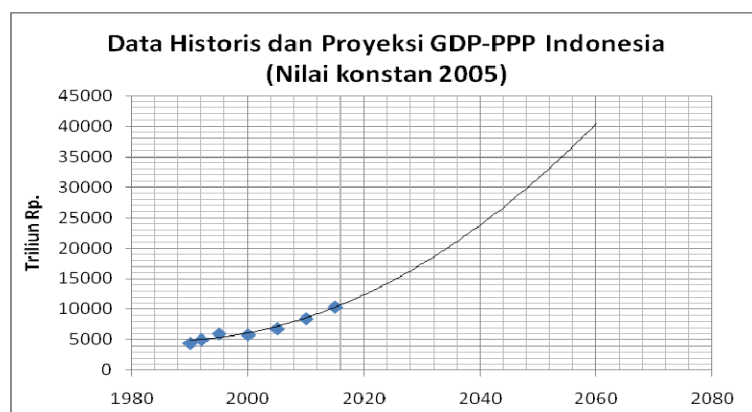
Pendekatan metode regresi terhadap PDB Indonesia tampak seperti Gambar 2. Data historis antara tahun 1990 hingga 2015 digunakan sebagai gambaran umum perubahan antar waktu angka PDB, dan selanjutnya kurva yang diekstrapolasi memberikan gambaran prakiraan untuk tahun 2060 pada Gambar 3 yang menunjukkan angka sekitar 40.500 triliun rupiah. Meskipun metode ini belum tentu persis seperti yang akan terjadi, namun pendekatan matematis ini belum tergantikan secara absolut oleh metode lain manapun, karena banyaknya variabel yang analisis masing-masingnya dapat menambah faktor kesalahan. Analisis regresi dengan input data dengan jangka waktu yang cukup panjang lebih mewakili dalam simulasi nilai statistik, sehingga banyak digunakan untuk memprediksi keadaan masa depan. PDB Indonesia dalam nilai berjalan akan mencapai 81 triliun USD

pada tahun 2060. Predikasi ini didasarkan pada data historis sejak tahun 1967 hingga 2015 yang mengindikasikan kurva kecenderungan berupa eksponensial [16].

Pertumbuhan PDB Indonesia cukup konsisten dilihat dalam skala jangka panjang, meskipun terjadi gangguan yang bersifat temporer pada krisis moneter 1997 yang berpuncak pada 1998. Dilihat dari kurva nilai PDB, gangguan ekonomi 1998 sepertinya normal bila dilihat secara keseluruhan, karena terjadinya pertumbuhan yang begitu tinggi pada beberapa tahun sebelumnya seperti tampak pada Gambar 2. Di sini PDB (= GDP) dalam current US\$. PDB pada harga pembeli adalah jumlah dari nilai tambah bruto oleh semua hasil oleh produsen dalam perekonomian ditambah pajak hasil dan dikurangi subsidi yang tidak termasuk dalam nilai produk. Ini dihitung tanpa membuat potongan untuk penyusutan aktiva buatan atau untuk penipisan dan degradasi sumber daya alam. Data dalam dolar AS saat ini adalah angka dolar untuk PDB dikonversi dari mata uang domestik menggunakan tahun tunggal tukar resmi. Untuk beberapa negara di mana nilai tukar resmi tidak mencerminkan tingkat efektifitas, diterapkan untuk transaksi valuta asing sebenarnya, faktor konversi alternatif digunakan[16].



Gambar 2. Data Historis PDB/kapita[15]



Gambar 3. Data historis dan proyeksi PDB/kapita Indonesia

Proyeksi Permintaan Energi

Proyeksi permintaan energi merupakan dasar untuk merumuskan perencanaan energi yang rasional. Sedangkan permintaan energi merupakan efek langsung dan tidak langsung dari lima faktor, yaitu jumlah penduduk, PDB, pertumbuhan industri, urbanisasi dan perubahan gaya hidup masyarakat. Analisis disini menggunakan perhitungan koefisien pertumbuhan berlipat terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi[17]. Berdasarkan data historis dan koefisien pertumbuhan berlipat tersebut diproyeksikan bahwa pada tahun 2060 total permintaan energi Indonesia adalah 7,12 miliar BOE. Sedangkan total permintaan energi listrik akan mencapai 296 ribu MWy, terdiri dari 235 ribu MWy dan 61 ribu MWy masing-masing untuk wilayah R1 (Jawa-Bali, Madura dan Sumatera) dan R2 (wilayah Indonesia lainnya).

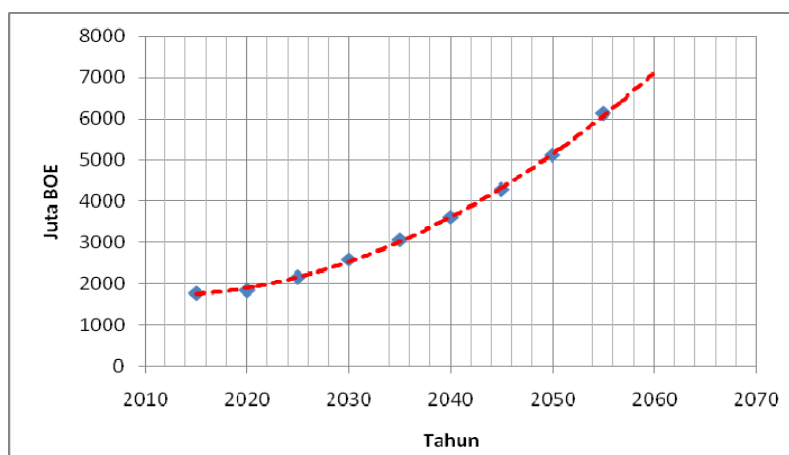
Dengan memperhitungkan biomassa tradisional total konsumsi energi nasional diproyeksikan meningkat menjadi 298 juta TOE pada tahun 2025 dan 893 juta TOE pada tahun 2050 atau mengalami kenaikan rata-rata masing-masing sebesar 4,9% per tahun selama periode 2013-2025 dan 4,5% per tahun periode 2025-2050 untuk skenario BaU (Business as Usual). Sedangkan untuk skenario KEN (Kebijakan Energi Nasional), pada tahun 2025 konsumsi akan meningkat menjadi 253 juta TOE atau tumbuh sebesar 3,4% per tahun dan menjadi 2050 MWh atau mengalami pertumbuhan sebesar 3,5% periode 2025-2050[18]. Tabel 1 menunjukkan data historis konsumsi energi final.

Table 1. Konsumsi energi final per sektor [10]

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Industri	280	301	310	297	355	360	378	400
Rumah tangga	313	319	317	317	311	323	331	339
Komersial	26	28	29	31	33	35	35	37
Transportasi	170	179	197	225	256	277	310	324
Lainnya	26	25	26	27	29	25	26	24
Non Energi	65	65	74	84	84	98	111	88
Total	880	917	953	981	1,068	1,119	1,192	1,211

Transformasi sektor energi saat ini pada berbagai agenda kebijakan di negara berkembang dan negara kurang berkembang. Stimulus utama dalam transformasi energi adalah masalah pemanasan global dan perubahan iklim[19]. Seperti juga di banyak negara lainnya produksi listrik berbasis bahan bakar fosil merupakan tulang punggung energi di Indonesia. Transformasi menuju portofolio energi rendah karbon adalah kunci untuk mencapai tujuan kebijakan dalam perlindungan iklim yang mengurangi emisi CO₂ sebesar 80% sampai 95% pada tahun 2050 dibandingkan dengan tahun 1990. Namun Indonesia hingga saat ini belum secara nyata dapat mengurangi emisi sebagai akibat pertumbuhan permintaan energi yang masih tinggi, sementara penggunaan energi baru dan terbarukan masih sangat terbatas[20]. Dengan demikian, revolusi dalam sistem energi akan dibutuhkan untuk menggantikan teknologi listrik tinggi karbon dengan yang rendah karbon.

Relevansi setiap penggunaan akhir dalam konsumsi energi secara keseluruhan sangat tergantung pada iklim, karakteristik fisik hunian, peralatan dan karakteristik sistem, kepemilikan, dan perilaku hunian[14]. Di sini penggunaan akhir sektor perumahan dan variabel-variabel ini diperhitungkan dalam metodologi sampai batas tertentu. Berdasarkan data historis pendekatan proyeksi energi hingga tahun 2060 adalah seperti ditunjukkan pada Gambar 4.

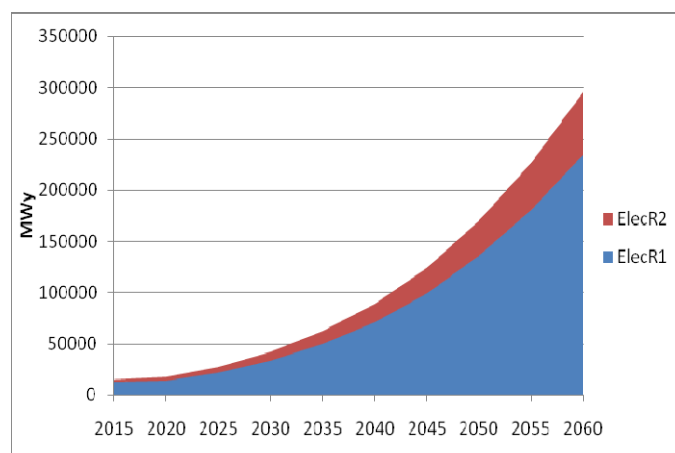


Gambar 4. Proyeksi permintaan energi

Sektor kelistrikan

Sektor kelistrikan adalah yang tertinggi dalam pertumbuhan. Selain konsumsi listrik untuk keperluan yang tercatat dalam data historis, ada kecenderungan bahwa beberapa penggunaan energi selama ini akan bergeser ke listrik, misalnya energi untuk pemanas

pada industri, penggunaan untuk sektor transportasi dan lain sebagainya. Adapun permintaan untuk sektor kelistrikan diproyeksikan seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Proyeksi Permintaan Energi Listrik Indonesia

Asumsi penting dalam penelitian ini adalah jangka waktu data historis dan bahwa analisis kecenderungan tepat merupakan 'parameter energi' peramalan yang baik untuk permintaan energi. Selanjutnya adalah analisis tentang kecenderungan penggunaan energi akhir dalam kegiatan ekonomi, yang mana energi diukur sebelum proses pertukaran jasa energi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam pengelolaan sektor energi untuk jangka panjang perlu dilakukan perencanaan yang terintegrasi pada pengembangan sumber daya energi agar dapat menjamin ketersediaan energi jangka panjang. Berdasarkan perencanaan tersebut perlu dukungan dari sisi kebijakan untuk dapat merealisasikan penerapan teknologi energi untuk memenuhi kebutuhan energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan dengan harga yang terjangkau[20]. Subsidi energi yang tinggi juga membebani ekonomi nasional dan membuat pembangunan fisik dan sosial terganggu. Untuk itu, mulai akhir Desember 2014, subsidi atas bensin (premium) dihapus dan subsidi minyak solar untuk kendaraan bermotor bersifat tetap sebesar Rp.1.000 per liter. Hal ini ditandai dengan ditetapkannya Perpres 191/2014 yang ditindaklanjuti dengan Permen ESDM 04/2015 dan Kepmen ESDM 0135/K/12/MEM/2015[21]. Hal ini berakibat bahwa beberapa jenis pembangkit listrik akan mengalami perubahan biaya produksi secara signifikan, yang akibat selanjutnya terjadi rekonfigurasi sistem pembangkitan dalam upaya optimasi.

Optimasi Sistem Kelistrikan

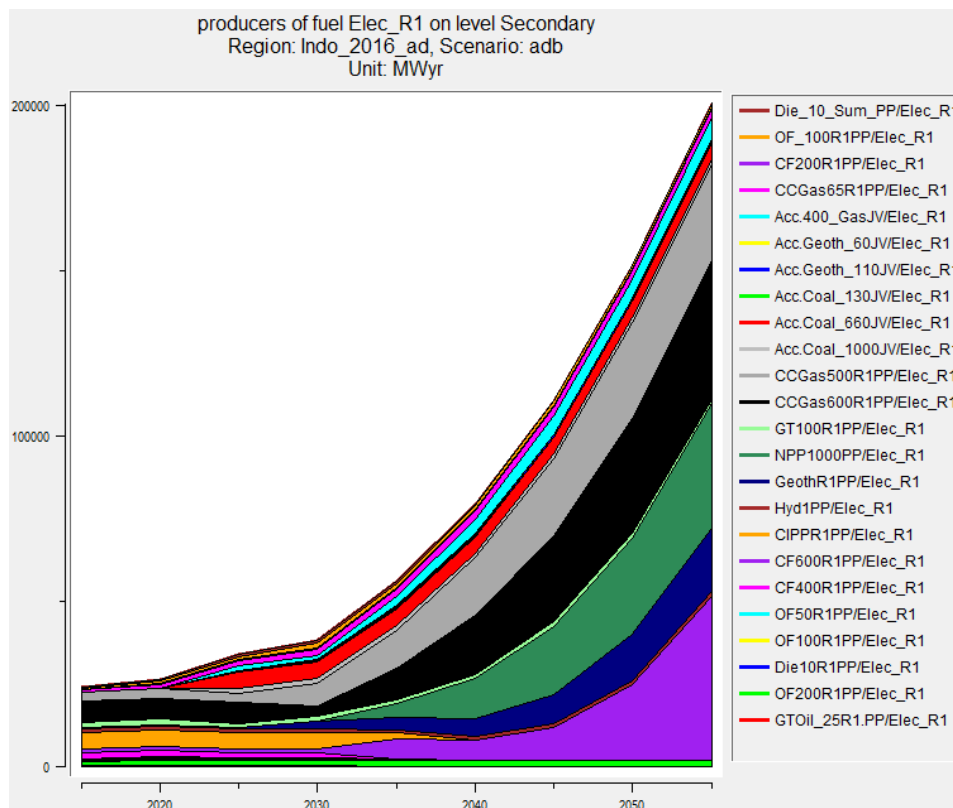
Terdapat berbagai jenis energi yang dapat digunakan untuk pembangkitan listrik. Pada pemodlan dengan MESSAGE ini dikonteskan sesuai dengan potensi dan sumberdaya yang memungkinkan, seperti beberapa jenis bahan bakar minyak, batubara, tenaga air, panas bumi, nuklir dsb. Hasil yang diperoleh adalah bahwa pembangkit batubara akan menjadi paling dominan penggunaannya di sektor listrik. Tabel 2 merangkum hasil optimasi dari program MESSAGE.

Tabel 2. Energi Listrik yang diproduksi sebagai Hasil Optimasi Sistem Pembangkitan Wilayah R1 (MWy)

Jenis Pembangkit	Tahun									
	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	
GTOil_25	300	300	260	200	0	0	0	0	0	
OF200	960	1.360	1.488	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600	
Die10	328	528	400	400	200	0	0	0	0	
OF100	400	440	120	160	160	160	160	160	160	
OF50	300	300	108	0	0	0	0	0	0	
CF400	1.680	1.680	1.680	1.680	0	0	0	0	0	
CF600	1.260	1.260	1.260	1.260	6.186	6.186	9.776	22.958	49.821	

Jenis Pembangkit	Tahun									
	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	
CIPP	4.970	4.970	4.970	4.970	1.894	0	0	0	0	
Hyd1PP	1.024	1.024	1.024	1.000	1.000	1.000	1.200	1.200	1.200	
Geoth	504	504	504	2.254	3.500	5.250	8.750	14.000	19.250	
NPP1000	0	0	0	0	4.250	12.250	20.750	29.250	37.750	
GT100	1.575	1.925	1.050	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	
CCGas600	6.300	6.300	6.300	3.280	9.412	17.812	26.212	34.612	42.000	
CCGas500	2.905	2.905	2.905	6.806	11.620	17.430	23.240	29.050	29.050	
Coal_1000JV	0	0	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	1.500	
Coal_660JV	0	0	4.950	4.950	4.950	4.950	4.950	4.950	4.950	
Coal_130JV	0	0	0	0	195	195	195	195	195	
Geoth_110JV	0	0	330	550	550	550	550	550	550	
Geoth_60JV	30	180	180	180	180	180	180	180	180	
400_GasJV	0	0	1.400	1.400	2.800	4.200	5.600	5.600	7.000	
CCGas65	500	956	1.410	1.866	2.302	2.730	2.730	2.730	2.730	
CF200	150	300	300	300	300	300	300	300	300	
OF_100	385	735	1.071	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	1.400	
Die_10_Sum	331	531	679	800	600	400	200	0	0	
Total	25.917	28.217	35.914	39.986	58.035	81.533	112.738	153.685	203.090	

Pembangkit batubara (di dalam tabel ditandai dengan Coal dan CCF) dan siklus ganda berbahan bakar gas alam (di dalam tabel ditandai dengan CCGas) merupakan jenis pembangkit paling kompetitif karena bahan bakar dan biaya investasi yang lebih rendah. Sedangkan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir baru muncul setelah taun 2030 karena biaya investasi yang tinggi. Selain itu dalam kasus ini tidak ada pembatasan terhadap semua jenis. Gambar 6 menunjukkan kontribusi masing-masing jenis sumber energi hingga tahun 2055 sebagai hasil optimasi pemodelan.



Gambar 6. Produksi Listrik menurut jenis pembangkit untuk wilayah R1

Untuk wilayah Indonesia yang lainnya, sistem pembangkitan juga didominasi oleh pembangkit batubara dan gas. Tabel 3 menunjukkan hasil yang diperoleh dari optimasi sistem kelistrikan wilayah R1.

Tabel 3. Energi Listrik yang diproduksi sebagai Hasil Optimasi Sistem Pembangkitan Wilayah R2 (MWy)

Jenis Pembangkit	Tahun									
	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	
OF250JPP	18	18	11	0	0	0	0	0	0	0
OF50	140	140	140	124	100	0	0	0	0	0
Die10	829	829	497	0	0	0	0	0	0	0
GT20Oil	136	136	82	0	0	0	0	0	0	0
CF65	349	1.438	3.765	7.646	12.671	19.235	27.820	38.657	52.551	
CIPP	92	92	94	88	73	55	0	0	0	0
Hyd2PP	291	291	291	400	400	400	500	500	500	500
Geoth	60	60	60	120	120	120	200	200	200	200
GTGas20	98	98	98	59	0	0	0	0	0	0
CC60	829	829	829	829	677	450	0	0	0	0
CP_Kal	0	165	465	465	465	465	465	465	465	465
CP_SLWS	0	75	90	90	90	90	90	90	90	90
CP_Papua	0	26	26	26	26	26	26	26	26	26
CP_MLK	0	33	33	33	33	33	33	33	33	33
CP_NTT	0	45	95	168	168	168	168	168	168	168
	2.841	4.273	6.574	10.047	14.824	21.042	29.301	40.139	54.033	

KESIMPULAN

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada tahun 2060 penduduk Indonesia akan menjadi 403,22 juta jiwa. PDB Indonesia dalam nilai konstan 2005 akan mencapai 40.500 triliun rupiah pada tahun 2060. Predikasi didasarkan pada data historis jangka panjang yang mengindikasikan kurva kecenderungan berupa eksponensial. Dari koefisien pertumbuhan berlipat dari beberapa parameter diproyeksikan bahwa pada tahun 2060 total permintaan energi Indonesia adalah 7,12 miliar BOE. Sedangkan total permintaan energi listrik akan mencapai 296 ribu MWy, terdiri dari 23,5 MWy dan 61.080 MWy masing-masing untuk wilayah R1 dan R2. Sebagai akibat dari beberapa parameter yang berpengaruh tersebut pemodelan sistem energi yang diterapkan menghasilkan bahwa ketergantungan terhadap bahanbakar fosil masih cukup tinggi, sedangkan peralihan sistem pasokan energi ke sumber-sumber yang dapat bertahan lama seperti energi baru dan terbarukan belum menunjukkan kontribusi yang signifikan, sedangkan peran PLTN baru muncul mulai tahun 2030 yang meningkat secara gradual hingga 40.000 MWy pada tahun 2060.

DAFTAR PUSTAKA

1. S. YU, K. ZHU, AND X. ZHANG, "Energy demand projection of China using a path-coefficient analysis and PSO-GA approach," *Energy Convers. Manag.*, vol. 53, no. 1, pp. 142–153, 2012.
2. T. SAKAMOTO, K. TAKASE, R. MATSUHASHI, and S. MANAGI, "Baseline of the projection under a structural change in energy demand," *Energy Policy*, vol. 98, pp. 274–289, 2016.
3. Y. KARYANA, "Proyeksi penduduk indonesia sampai dengan tahun 2060 dengan data dasar hasil supas 2005," in *Prosiding SNaPP2010*, 2010, pp. 271–284.
4. M. C. COOKE et al., "On the effect of a global adoption of various fractions of biodiesel on key species in the troposphere," *Int. J. Oil, Gas Coal Technol.*, vol. 3, no. 1, p. 88, 2010.
5. A. SUGIYONO, "Data Historis Konsumsi Energi dan Proyeksi Permintaan-Penyediaan Energi di Sektor Transportasi," *Pros. Semin. dan Peluncuran Buku Outlook Energi Indones.* 2012, no. February, pp. 24–29, 2012.
6. *Outlook Energi Indonesia 2016*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, 2016.
7. *Outlook Energi Indonesia 2014*. Jakarta: Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi,

- 2014.
8. I. B. HAUAN, "Life Cycle Assessment of Electricity Transmission and Distribution," Department of Energy and Process Engineering, June, 2014.
 9. P. GLOBAL, "GP Strategies and SafetySkills® Partnership Expands Safety and Human Resources Training Offering," p. 2014, 2014.
 10. Pusdatin ESDM, "Handbook of Energy & Economic Statistic of Indonesia 2014," Pusdatin, Kementeri. Energi dan Sumber Daya Miner. Indones., p. 135, 2014.
 11. S. R. W. ALWI, J. J. KLEMEŠ, and P. S. VARBANOV, "Cleaner Energy Planning, Management and Technologies: Perspectives of supply-demand side and end-of-pipe management," J. Clean. Prod., vol. 136, p. , 2016.
 12. BAMBANG WIDARSONO, "Cadangan dan Produksi Gas Bumi Nasional: Sebuah Analisis atas Potensi dan Tantangannya", Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS", Jakarta 2013.
 13. - "Global Transport Scenarios 2050", Project Partners IBM Corporation Paul Scherrer Institute, World Energy Council, 2011
 14. - "Model for Energy Supply Strategy Alternatives and their General Environmental Impacts (MESSAGE)", User Manual, International Atomic Energy Agency, June 2007
 15. - "Dokumentasi sensus-2010 BPS",
<https://sp2010.bps.go.id/index.php/dokumentasi/index>
 16. - "World Development Indicators" | Data Bank
http://databank.worldbank.org/data/reports.aspx?Id=29c4df41&Report_Name=Population-and-GDP-b.. Organización Mundial Del Comercio (OMC), 2009.
 17. R. B. GROVER and R. R. PURI, "Development of human resources for Indian nuclear power programme," Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci., vol. 38, no. 5, pp. 1051–1064, 2013.
 18. E. Commitment, "O rganizing H uman R esources," pp. 1–16, 2005.
 19. D. SCHEER, W. KONRAD, and O. SCHEEL, "Public evaluation of electricity technologies and future low-carbon portfolios in Germany and the USA," Energy. Sustain. Soc., vol. 3, no. 1, p. 8, 2013.
 20. A. SUGIONO, "Permasalahan dan Kebijakan Energi Saat Ini," in Prosiding Peluncuran Buku Outlook Energi Indonesia 2014 & Seminar Bersama BPPT dan BKK-PII Permasalahan, 2014, pp. 9–16.
 21. D. EPPS, "Coal Outlook 2014," 2014, Darren Epps Reporter, Rail Energy Transportation Advisory Committee Meeting March 6, 2014, SNL Energy.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

MANAJEMEN KONSTRUKSI REAKTOR DAYA EKPERIMENTAL

Mudjiono, Erlan Dewita, Dedy Priambodo

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

ABSTRAK

MANAJEMEN KONSTRUKSI REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL. Proyek konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) akan menghadapi berbagai tantangan baik yang bersifat teknis maupun non teknis, untuk itu dibutuhkan manajemen pengelolaan proyek yang baik dan benar untuk menghadapi berbagai tantangan tersebut. Telah dilakukan kajian tentang manajemen konstruksi Reaktor Daya Eksperimental (RDE). Kajian ini bertujuan untuk memperoleh sistem pengaturan dan pengelolaan dalam manajemen konstruksi RDE sedemikian rupa hingga diperoleh hasil yang optimal sesuai dengan rencana dan spesifikasi yang ditetapkan. Metodologi yang digunakan adalah studi pustaka, pengumpulan data sekunder dan pelaksanaan FGD (*focus group discussion*) dengan menghadirkan pakar dibidangnya. Hasil kajian diperoleh bahwa Keberhasilan pelaksanaan manajemen konstruksi RDE memerlukan kesinambungan kegiatan pada tahap perencanaan, pelaksanaan konstruksi dan pengawasan terhadap pekerjaan. Disisi lain diperlukan dokumen perencanaan yang lengkap, pengawasan yang ketat dan pengendalian proyek secara terstruktur serta didukung dengan sumber daya manusia yang handal sehingga kegiatan proyek dilakukan secara profesional.

Kata kunci: manajemen, konstruksi, RDE

ABSTRACT

THE CONSTRUCTION MANAGEMENT OF EXPERIMENTAL POWER REACTOR. *The construction project of Nuclear Power Plant (NPP) will face many challenges both technical and non-technical, so that institutional arrangement of effective project management is needed to solve those challenges. Study on the construction management of Experimental Power Reactor (EPR) have been conducted. This study aims to obtain the regulatory and management system in the RDE construction management in such a way as to obtain optimal results in accordance with the plans and specifications set. The methodology used was literature, secondary data collection and implementation of FGD (focus group discussion) by presenting experts in their field. The study results showed that the successful implementation of EPR construction management need for continuing activities at the stage of planning, construction and supervision of the work. On the other hand, there is a need for complete planning documents, strict supervision and control of the project in a structured manner and supported by reliable human resources so that project activities are carried out professionally.*

Keywords: management, construction, EPR

PENDAHULUAN

Proyek pembangunan PLTN merupakan proyek konstruksi skala besar dan kompleks yang membutuhkan investasi besar dan waktu yang panjang serta melibatkan berbagai sumber daya dalam jumlah besar. Sumber daya tersebut meliputi material bahan konstruksi dalam jumlah besar, peralatan pendukung yang mumpuni, tenaga kerja yang kompeten, dana yang besar, dan juga metoda kerja yang baik dan teruji. Sebagai gambaran, proyek pembangunan Olkiluoto 3 (Finlandia) melibatkan sekitar 4.400 pekerja di lokasi proyek dan bila konstruksi berjalan akan membuka 150 hingga 200 lapangan kerja baru [1,2,3].

Dalam proses pembangunannya, Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) akan menghadapi berbagai tantangan baik yang bersifat teknis maupun non teknis. Untuk itu dibutuhkan manajemen pengelolaan proyek yang baik dan benar untuk menghadapi berbagai tantangan yang akan dihadapi dalam mewujudkan PLTN ini. Untuk menunjang keberhasilan pembangunan proyek konstruksi PLTN secara efisien dan efektif, maka

diperlukan penerapan manajemen proyek konstruksi yang baik dan benar untuk mengelola dan mengatur pelaksanaan pembangunan sedemikian rupa hingga diperoleh hasil yang optimal sesuai dengan rencana dan spesifikasi yang ditetapkan. Untuk memastikan tujuan proyek tercapai sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan, maka pengelolaan proyek harus dilakukan secara profesional dan matang sepanjang siklus hidup proyek[4].

Reaktor Daya Eksperimental (RDE) direncanakan akan dibangun di Kawasan Puspipstek Serpong sebagaimana *soft launching* oleh Kepala BATAN pada tanggal 12 Maret 2015[5,6,7]. RDE merupakan tipe HTGR (*High Temperature Gas-Cooled Reactor*) dengan suhu pendingin keluar reaktor tinggi sekitar 750°C[8].

Secara umum, siklus hidup proyek menggambarkan adanya kebutuhan, bagaimana sebuah proyek direncanakan, dilaksanakan dan dikendalikan hingga proyek tersebut beroperasi dan dipelihara sehingga berfungsi seperti yang telah direncanakan dan tujuan proyek tercapai. Tahapan siklus hidup proyek, terdiri dari: (1) Ide atau Kebutuhan (*need*), (2) Pra-rencana (*preliminary design*), (3) Studi kelayakan (*feasibility study*), (4) Perencanaan yang lebih rinci (*design development* dan *detail design*), (5) Memilih calon pelaksana (*tender*), (6) Pelaksanaan pembangunan (*construction*), dan (7) Persiapan penggunaan bangunan, operasi, dan pemeliharaan (*start up, operation and maintenance*). Sementara itu, ada tiga faktor utama yang perlu diperhatikan dalam mewujudkan tujuan proyek yang berkaitan dan saling mempengaruhi, yaitu waktu (*schedule*) pelaksanaan proyek, mutu (*quality*) proyek yang dihasilkan, dan biaya (*costs*) yang dianggarkan[9,10,11]

POKOK BAHASAN

Desain Reaktor Daya Eksperimental

Desain reaktor RDE adalah reaktor HTGR dengan bahan bakar tipe bola (*pebble*), daya termal 10 MWth (~3 MWe), bermoderator grafit, menggunakan skema penggantian bahan bakar secara *online* dengan skema *multipass*, yang artinya elemen bahan bakar lewat melalui teras reaktor beberapa kali sebelum mencapai derajat bakar yang diinginkan. Pendingin primer menggunakan gas helium dan pendingin sekunder menggunakan air. Penggunaan gas helium memiliki beberapa keuntungan karena helium merupakan gas *inert* dan mempunyai fase tunggal. Untuk daya 10 MWth diperlukan 10.000 bola bahan bakar setiap tahunnya (pemuatan pertama 27.000 bola yang terdiri dari 13.000 bola bahan bakar dan sisanya merupakan bola grafit). Berat setiap elemen bahan bakar adalah ~200 g dan apabila dalam pemuatan pertama (*first loading*) dibutuhkan 27.000 bola (bola bahan bakar dan grafit), maka berat semua bola dalam pemuatan pertama adalah sekitar 5,4 ton. Komponen utama dari sistem reaktor terdiri dari Bejana tekan reaktor (*Reaktor Pressure Vessel-RPV*), steam generator, sebuah *Power Conversion Unit* (PCU) dan sistem air umpan. Komponen RPV terdiri dari reflektor grafit, *carbon thermal shield*, *metal component*, reactor shutdown system dan lain lain[8].

Manajemen Konstruksi

Manajemen proyek konstruksi adalah proses penerapan fungsi-fungsi manajemen (perencanaan, pelaksanaan dan penerapan) secara sistematis pada suatu proyek dengan menggunakan sumber daya yang ada secara efektif dan efisien agar tercapai tujuan proyek secara optimal. Manajemen Konstruksi meliputi mutu fisik konstruksi, biaya dan waktu. manajemen material dan manajemen tenaga kerja. Hal itu dikarenakan manajemen perencanaan berperan hanya 20% dan sisanya manajemen pelaksanaan termasuk didalamnya pengendalian biaya dan waktu proyek[12]. Sumber daya yang perlu dikelola dengan efektif, meliputi: *man, money, materials, machines*, dan *methods* yang sering disebut juga dengan 5-M.

Dalam rangka mencapai tujuan yang diharapkan, manajemen proyek konstruksi menekankan pelaksanaan perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan proyek, dan pengawasan yang baik dan akurat agar pelaksanaan proyek berjalan dengan baik dan menghasilkan output seperti yang diharapkan[12]. Manajemen proyek konstruksi memiliki beberapa fungsi antara lain :

- Menentukan tujuan proyek dan rencana termasuk ruang lingkup, penganggaran, penjadwalan, pengaturan persyaratan kinerja, dan memilih peserta proyek;
- Memastikan pelaksanaan Quality Control untuk menjaga kesesuaian antara perencanaan dan pelaksanaan;

- Mengantisipasi terjadinya perubahan kondisi lapangan yang tidak pasti dan mengatasi kendala terbatasnya waktu pelaksanaan;
- Memantau prestasi dan kemajuan proyek yang telah dicapai, melalui pengawasan, pengendalian dan opname (laporan) harian, mingguan dan bulanan secara rutin;
- Melakukan evaluasi, pengambilan keputusan, dan tindakan perbaikan bila diperlukan terhadap masalah-masalah yang terjadi di lapangan;
- Mengembangkan komunikasi dan mekanisme yang efektif untuk menyelesaikan konflik.

Dalam implementasinya, pengelolaan proyek konstruksi terbagi menjadi 3 tahap/ fase, yakni: (1) Fase pra-konstruksi, (2) Fase konstruksi, dan (3) Fase operasional dan pemeliharaan.

Pada tahap/fase pra konstruksi (ide/ kebutuhan, studi kelayakan, pra-desain, desain dan procurement), manajemen konstruksi diarahkan untuk memastikan perencanaan yang baik dengan mempertimbangkan segala permasalahan yang bisa timbul pada masa pelaksanaan. Untuk itu, perencanaan yang baik harus mendeteksi segala kemungkinan dan memperhitungkannya sebagai upaya tindakan preventif karena hasil perencanaan yang dibuat akan menjadi pedoman dalam pelaksanaan sebuah proyek konstruksi termasuk bangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN).

Pada tahap konstruksi, manajemen konstruksi diarahkan untuk memastikan pelaksanaan yang baik agar sesuai dengan perencanaan dan spesifikasi yang telah ditetapkan dengan mempertimbangkan segala permasalahan dan tantangan yang timbul selama masa pelaksanaan. Diperlukan evaluasi kemajuan proyek secara berkala dan berkesinambungan agar dapat dengan segera mengetahui apabila terjadi penyimpangan, sehingga dapat diambil langkah penyelesaian dengan cepat untuk meminimalisasi dampak yang dapat terjadi. Dalam hal ini, pengawasan dan pengendalian proyek sangat diperlukan. Pengawasan merupakan segala usaha atau kegiatan untuk mengetahui dan menilai kenyataan yang sebenarnya mengenai pelaksanaan kegiatan, apakah sudah sesuai dengan yang semestinya atau tidak. Sedangkan pengendalian adalah segala usaha atau kegiatan untuk menjamin semua pekerjaan yang sedang dilaksanakan berjalan sesuai dengan rencana yang telah ditentukan. Kualitas pengawasan dan pengendalian proyek yang baik ditunjang oleh standar acuan dan sistem pengawasan dan pengendalian yang baik dan didukung oleh faktor sumber daya manusia yang profesional.

Pada tahap operasional dan pemeliharaan, manajemen konstruksi diarahkan untuk memastikan pemeliharaan dilakukan dengan baik agar konstruksi yang dibuat dapat dioperasionalkan sesuai dengan perencanaan selama umur bangunan tersebut. Untuk memastikan agar konstruksi yang dihasilkan tersebut dapat beroperasi dengan baik selama umur bangunannya, maka pemeliharaan perlu dilakukan secara presisi sesuai dengan *Standard Operation Procedure (SOP)*.

METODOLOGI

Kajian manajemen konstruksi RDE ini dilakukan dengan melakukan *focus group discussion (FGD)* dengan menghadirkan pakar dibidang manajemen konstruksi dan dilanjutkan dengan konsinyering program konstruksi dan sistem manajemen konstruksi RDE dengan pembahasan materi tentang prosedur dan jadwal pelaksanaan konstruksi RDE, pembahasan kriteria penerimaan desain konstruksi, dokumentasi & pelaporan, prosedur uji fungsi. Selain itu juga telah dilakukan studi literatur yang mendalam khususnya peraturan perundangan yang berlaku sebagai payung hukum yang jelas terhadap program RDE.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal dalam manajemen konstruksi RDE adalah melakukan reviu desain dengan meneliti kelengkapan dokumen perencanaan dan pelelangan, menyusun program pelaksanaan pelelangan bersama penyedia jasa perencanaan, dan ikut memberikan penjelasan pekerjaan pada waktu pelelangan, serta membantu kegiatan panitia pelelangan. Selanjutnya menyusun laporan dan berita acara dalam rangka kemajuan pekerjaan yang dilakukan dalam bentuk rapat koordinasi yang terjadwal secara teratur [13,14,15].

Tahap selanjutnya melakukan evaluasi program kegiatan pelaksanaan fisik yang disusun oleh pelaksana konstruksi, yang meliputi program-program pencapaian sasaran fisik, penyediaan dan penggunaan sumber daya baik berupa tenaga kerja, peralatan dan perlengkapan, bahan bangunan, informasi, dana, program *Quality Assurance/Quality Control*, maupun program kesehatan dan keselamatan kerja (K3). Segala tahap kegiatan dikendalikan secara terpadu, baik sumber daya yang diperlukan, biaya, waktu, sasaran fisik, perubahan pekerjaan, maupun pengendalian terhadap administrasi agar tertib sesuai dengan aturan[16,17].

Pekerjaan proyek RDE dibutuhkan evaluasi program terhadap penyimpangan teknis dan manajerial yang timbul, usulan koreksi program, tindakan, dan melakukan koreksi teknis bila terjadi penyimpangan. Pada tahap ini secara manajemen perlu dilakukan pengawasan dengan memeriksa dan mempelajari dokumen untuk pelaksanaan konstruksi yang akan dijadikan dasar dalam pengawasan pekerjaan di lapangan[18,19], termasuk pengawasan terhadap pemakaian bahan, peralatan dan metode pelaksanaan, serta mengawasi ketepatan waktu, dan biaya pekerjaan konstruksi. Selanjutnya perlu dilakukann pengawaan terhadap pelaksanaan pekerjaan konstruksi dari segi kualitas, kuantitas, dan laju pencapaian volume/ realisasi fisik. Data dan informasi dikumpulkan di lapangan untuk memecahkan persoalan yang terjadi selama pekerjaan konstruksi. Menyelenggarakan rapat-rapat lapangan secara berkala, membuat laporan mingguan dan bulanan pekerjaan manajemen konstruksi, dengan masukan hasil rapat-rapat lapangan, laporan harian, mingguan dan bulanan pekerjaan konstruksi fisik yang dibuat oleh pelaksana konstruksi. Penting meneliti gambar-gambar untuk pelaksanaan (*shop drawings*) yang diajukan oleh pelaksana konstruksi, dan juga meneliti gambar-gambar yang sesuai dengan pelaksanaan di lapangan (*As Built Drawings*) sebelum serah terima, serta menyusun daftar cacat/kerusakan sebelum serah terima. Selanjutnya menyusun laporan akhir pekerjaan manajemen konstruksi. Oleh karena itu perlu mengaplikasikan seluruh pengetahuan, memilah dan menerapkan tools dan techniques yang cocok disamping faktor manusia yang terlibat harus memiliki integritas, skill, pengalaman, ketelitian, kepemimpinan dan komunikasi yang baik[20,21].

Tahap Perencanaan Proyek

Setelah infrastruktur awal pelaksanaan proyek RDE telah siap, program RDE selanjutnya memasuki tahap perencanaan proyek. Segala hal terkait pengadaan proyek harus disiapkan dari penyusunan Kerangka Acuan Kerja (KAK) untuk pekerjaan Jasa Konstruksi Terintegrasi (*Engineering Procurement Construction - EPC*) dan KAK Jasa Manajemen Konstruksi (MK), pelaksanaan proses pengadaan hingga terpilihnya pemenang untuk Kontraktor EPC dan Konsultan MK. Selain itu pada tahap ini dilakukan proses perizinan yang seperti proses penyusunan Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) dan proses perizinan lingkungan ke Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Kemen LHK), proses Izin Prinsip dan proses perizinan mendirikan bangunan (IMB) pada Pemerintah Daerah Tangerang Selatan. Selain itu BATAN akan mengajukan izin terkait lainnya yang menyesuaikan kebutuhan pada Kementerian/Lembaga yang terkait seperti izin gangguan, izin penggunaan air tanah, izin penggunaan air permukaan, izin analisis dampak lalu lintas, izin Penggunaan Ruang Publik Jalan, izin melintasi rel kereta api izin galian dan pengurukan, izin alat berat, izin pengangkutan bahan peledak, izin pembersihan bahan peledak untuk proses penyiapan tapak RDE[22,23,24]

Tahap Pelaksanaan Proyek

Tahap Pelaksanaan Proyek merupakan tahap utama proyek RDE yang akan mengikuti proses bisnis proyek EPC pada umumnya yang dipadukan dengan proses perizinan khusus di bidang energi nuklir. Pada tahap ini diawali dengan kegiatan Penyiapan Tapak, *Land Cut and Fill* dan *Site Development* yang mana segala perizinan terkait kegiatan-kegiatan ini dijadwalkan telah diperoleh pada tahap sebelumnya (Tahap Perencanaan Proyek). Sejalan dengan itu Kontraktor EPC dengan didampingi oleh Konsultan MK mulai melakukan kegiatan dengan urutan sebagai berikut:

1. Perekayasaan (*engineering*)

Terdiri dari :

- a. Pembuatan desain rinci (*Detailed Design*) RDE oleh Kontraktor EPC.

- b. Pembuatan desain rinci untuk menyusun semua dokumen detail yang diperlukan untuk mendukung permintaan tawaran/pengadaan komponen, konstruksi, commissioning, dan pemeliharaan RDE.
 - c. Supervisi desain rinci oleh Konsultan MK.
 - d. Supervisi MK untuk menjamin semua tahapan desain memenuhi jaminan mutu desain. Laporan kemajuan desain dilaporkan Konsultan MK kepada BATAN.
 - e. Reviu desain rinci oleh Konsultan MK
 - f. Reviu untuk menjamin kesuaian produk desain rinci dengan persyaratan BATAN/owner/Kontrak, filosofi teknis/desain sehingga spesifikasi produk desain dapat di fabrikasi dan konfigurasi sistem RDE dapat beroperasi dengan selamat. Hasil reviu desain dilaporkan Konsultan MK kepada BATAN untuk mendapatkan pengesahan desain.
 - g. Persetujuan Desain (*design approval*)
 - h. BATAN dengan bantuan Konsultan MK dan Kontraktor EPC mengajukan Permohonan Persetujuan Desain dengan menyertakan dua dokumen sesuai yang dipersyaratkan oleh Peraturan Pemerintah RI No.2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir kepada BAPETEN.
 - i. Selanjutnya BAPETEN akan melakukan evaluasi administratif dan teknis terhadap dokumen permohonan persetujuan desain untuk selanjutnya menyetujui atau memberikan rekomendasi perbaikan terhadap Desain Rinci RDE.
2. Pengadaan (*Procurement*)
- Kegiatan pengadaan komponen RDE dapat dimulai setelah persetujuan desain diperoleh dari BAPETEN.
- a. Aktifitas pengadaan Kontraktor EPC
Mencakup kegiatan pengembangan strategi pengadaan peralatan/komponen *long lead*, pengadaan material dan peralatan/komponen, fabrikasi peralatan/komponen *long lead* dan transportasi ke lokasi proyek RDE. Kegiatan ini akan memperhatikan keterlibatan/penggunaan produk dalam negeri Indonesia sesuai dengan kontrak.
 - b. Aktifitas supervisi pengadaan dan fabrikasi komponen oleh Konsultan MK
Kegiatan ini untuk menjamin proses pengadaan komponen RDE sesuai dengan kontrak, serta menjamin kualitas dari komponen selama fabrikasi hingga sampai di lokasi proyek RDE.
 - c. Penyusunan *Master list* dan Rencana Impor Komponen RDE[25],
Master List adalah dokumen rencana induk kebutuhan barang yang akan diimpor dan akan digunakan yang disusun oleh Kontraktor EPC. Kemudian Kontraktor EPC menggandeng perusahaan Pemegang Angka Pengenal Importir (APIT) untuk pengurusan pembebasan bea masuk. Pemegang Angka Pengenal Importir (APIT) mengajukan permohonan model pengimporan barang, kemudian diteliti secara teknis oleh PT SUCOFINDO untuk proses penerbitan *master list* daftar induk. Verifikasi dilakukan oleh SUCOFINDO terhadap mesin/peralatan yang digunakan dan perhitungan kapasitas mesin. Selanjutnya dilakukan pencetakan *master list*. Setelah itu Badan Koordinator Penanam Modal (BKPM) akan menyiapkan Surat Persetujuan Pabean (persetujuan atas fasilitas). Pihak BKPM akan meneliti ulang *master list*, meneliti *covering letter* dari PT SUCOFINDO dan selanjutnya menyiapkan SP Pabean dan mencetaknya langsung. Setelah SP Pabean untuk barang modal keluar, maka *master list* sudah dapat dipergunakan untuk membuat Rencana Impor Barang (RIB). RIB ini nantinya harus disetujui oleh Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan (DJK) dan Bea Cukai. Setelah Rencana Impor Barang disetujui, berdasarkan RIB, Kontraktor menyampaikan pengajuan permohonan penanggungungan Pajak Pertambahan Nilai (PPN) oleh Pemerintah atas impor Barang Modal dan sekaligus pembebasan Bea Masuk

dan/atau Pajak Dalam Rangka Impor Tidak Dipungut atas Barang Modal. Impor Barang Modal dilaksanakan Kontraktor dengan mengajukan PIB.

3. Konstruksi

Kegiatan persiapan konstruksi yang berupa pengurusan izin konstruksi dapat dimulai bersamaan dengan kegiatan Pengadaan. BATAN dengan bantuan Konsultan MK mengajukan Permohonan Izin Konstruksi dengan menyertakan 12 dokumen sesuai yang dipersyaratkan oleh Peraturan Pemerintah RI No.2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir kepada BAPETEN.

Semua pekerjaan konstruksi dapat dimulai setelah diperolehnya izin konstruksi dari BAPETEN.

Pekerjaan tersebut meliputi:

- a. Penyiapan fasilitas dan mobilisasi Sumber daya oleh Kontraktor EPC, Mencakup instalasi utilitas (air, listrik, gas, udara tekan) dan *temporary facilities*, fasilitas penumpukan, *tower crane*, *construction trailers*, pengiriman besi tulangan dan barang yang tertanam (*embedment*), *Quality Plan*, *Safety Plan*, *Prosedur Heavy-lifting*, Penyiapan kantor konstruksi untuk Kontraktor EPC, Konsultan MK dan Perwakilan lapangan BATAN dan mobilisasi kontraktor pekerjaan sipil

- b. Mobilitas sumber daya oleh Konsultan MK

- c. Pekerjaan konstruksi sipil, instalasi mekanik dan instalasi sistem kendali & kelistrikan.

Pekerjaan konstruksi sipil oleh Kontraktor EPC meliputi pematangan tanah (jika diperlukan), pembuatan pondasi dan bangunan dari *Nuclear Island*, *Turbine Generator*, BOP hingga sarana pendukung seperti Kantor pengelola RDE, Ruang Pameran Publik, Pertamanan dan lain-lain.

Pekerjaan instalasi mekanik oleh Kontraktor EPC meliputi *mechanical erection* pada *Nuclear Island (Reactor-Steam Generator Pressure Vessel)*, instalasi turbin dan generator, menara pendingin, peralatan pemurnian air serta fasilitas *Balance of Plant* lainnya. Selanjutnya pekerjaan instalasi sistem kendali dan kelistrikan pada seluruh sistem RDE.

Seluruh kegiatan sipil, mekanik serta kendali dan kelistrikan ini selalu disupervisi oleh Konsultan MK.

- d. Kegiatan Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Manusia RDE.

Kegiatan ini dilakukan bersama oleh Konsultan MK dan Kontraktor EPC dengan tujuan untuk mempersiapkan tenaga kerja operasional (*process*) dan perawatan (*maintenance*) RDE. Kegiatan diklat ini dijadwalkan selesai berbarengan dengan selesainya tahap konstruksi RDE, sehingga SDM RDE dapat diikutsertakan dalam proses komisioning RDE.

Untuk persyaratan bekerja di instalasi nuklir bagi SDM RDE, BATAN akan memproses Surat Izin Bekerja (SIB) ke BAPETEN sesuai peraturan yang berlaku. Setelah terbitnya SIB, SDM RDE dapat bekerja di instalasi RDE mulai dari fase komisioning.

Untuk pengoperasian sampai dengan tahun ke-dua akan dilakukan oleh operator negara *vendor* sebagai proses transisi sekaligus sebagai transfer teknologi dan pengalaman operasi sebelum semuanya dikendalikan oleh operator BATAN.

- e. Perubahan Desain (jika diperlukan)

Dalam dinamika fase konstruksi, dimungkinkan terjadinya perubahan desain jika diperlukan. Perubahan desain oleh kontraktor EPC harus mendapat reviu dari Konsultan MK dan persetujuan dari BATAN.

Kemudian BATAN dengan bantuan Konsultan MK akan mengajukan permohonan Izin Perubahan Desain dengan menyertakan dokumen sesuai yang dipersyaratkan oleh Peraturan Pemerintah RI No.2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir kepada BAPETEN. Kemudian BAPETEN akan melakukan evaluasi terhadap permohonan izin tersebut. Perubahan desain hanya dapat dilakukan jika Izin Perubahan Desain telah disetujui oleh BAPETEN.

- f. Perizinan Pemanfaatan Bahan Nuklir.

Pada tahap akhir fase konstruksi, BATAN dengan bantuan Konsultan MK akan mengajukan permohonan Izin Pemanfaatan Bahan Nuklir. Izin pemanfaatan bahan nuklir ini diperlukan dalam rangka persiapan penggunaan/pengisian teras RDE dengan bahan bakar nuklir di fase selanjutnya (komisioning).

g. Pengadaan Jasa Inspeksi Teknik.

Pada fase akhir konstruksi juga akan diselenggarakan proses pengadaan jasa inspeksi teknik. Kegiatan ini ditujukan untuk mendapatkan Lembaga Inspeksi Teknik (LIT) terakreditasi yang akan melakukan sertifikasi laik operasi terhadap RDE. Sertifikasi merupakan pemenuhan atas UU no. 30 tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan.

h. Perizinan Komisioning RDE.

Pengurusan izin komisioning RDE dilaksanakan pada proses konstruksi. BATAN dengan bantuan Konsultan MK mengajukan Permohonan Izin Komisioning dengan menyertakan 12 dokumen sesuai yang dipersyaratkan oleh Peraturan Pemerintah RI No.2 Tahun 2014 tentang Perizinan Instalasi Nuklir dan Pemanfaatan Bahan Nuklir kepada BAPETEN. Selanjutnya BAPETEN akan melakukan evaluasi administratif dan teknis terhadap permohonan Izin Komisioning.

4. Komisioning

Tujuan komisioning adalah mengoperasikan komponen, sistem dan RDE secara keseluruhan untuk pertama kalinya dan untuk melakukan tes dan inspeksi. Komisioning hanya bisa dilaksanakan jika Izin Komisioning dari BAPETEN telah diterima. Selama proses komisioning kontraktor akan didampingi oleh Konsultan MK dan LIT. LIT melakukan pemeriksaan dan pengujian sesuai dengan mata uji yang ditetapkan oleh Pemerintah selama fase komisioning ini.

Tahap Penyelesaian Proyek

Tahap ini merupakan tahap akhir proyek pembangunan RDE dimana semua kriteria hasil proyek RDE (kontrak) telah terpenuhi. Pada tahap ini beberapa kegiatan yang akan dilakukan antara lain:

a. Kontraktor EPC

Kontraktor EPC akan menyerahkan Gambar terbangun dari RDE (*as built drawing*), Buku Petunjuk Pengoperasian dan Pemeliharaan/perawatan (*operation and maintenance manual*), Sertifikat Garansi RDE (*Guarantee & warranty Certificate*), Laporan unjuk kerja RDE (*Performancce test record*), dan Serah Terima Proyek (*handing over certificate*).

b. Konsultan MK

Konsultan MK akan menyerahkan laporan akhir MK.

c. BATAN

BATAN dengan bantuan Konsultan MK akan menyusun Laporan Akhir Proyek (*Project Complietion Report*) yang didalamnya juga berisi termasuk *lesson learnt* sebagai *feedback* untuk proses inisiasi/perencanaan/pengadaan proyek RDE

KESIMPULAN

Keberhasilan pelaksanaan manajemen konstruksi RDE memerlukan kesinambungan kegiatan pada tahap perencanaan, pelaksanaan konstruksi dan pengawasan terhadap pekerjaan. Pada tahap perencanaan dilakukan penyusunan Kerangka Acuan Kerja (KAK) EPC, MK hingga pelaksanaan proses pengadaan serta dilakukan proses perizinan yang terkait. Setelah semua dokumen terlengkapi selanjutnya dilaksanakan tahap pelaksanaan yang diawali dengan penyiapan tapak yang dipadukan dengan proses perizinan dan sejalan dengan itu Kontraktor EPC dengan didampingi oleh Konsultan MK mulai melakukan kegiatan perikayasaan, pengadaan, konstruksi hingga komisioning. Tahap akhir dari proyek pembangunan RE ditandai dengan penyerahan dokumen yang terkait semua kriteria hasil proyek RDE terpenuhi, diantaranya Kontraktor EPC menyerahkan gambar terbangun dari RDE, buku petunjuk pengoperasian, sertifikat garansi dan laporan unjuk kerja RDE. Sedangkan BATAN dengan bantuan MK akan menyusun Laporan Akhir. Dokumen perencanaan yang lengkap, pengawasan yang ketat dan pengendalian proyek harus

dilakukan secara terstruktur dan didukung dengan sumber daya manusia yang terlibat sejak tahapan pra konstruksi, tahapan konstruksi, hingga tahapan operasional dan pemeliharaan harus orang-orang yang kompeten di bidangnya, agar semua kegiatan proyek dilakukan secara profesional. Disamping itu Koordinasi dan komunikasi harus dilakukan secara berkala dengan seluruh pemangku kepentingan agar semua kegiatan proyek diketahui, mendapat dukungan, dan dapat memenuhi harapan para pemangku kepentingan. Perlu mengaplikasikan seluruh pengetahuan, memilah dan menerapkan *tools* dan *techniques* yang cocok disamping faktor manusia yang terlibat harus memiliki integritas, skill, pengalaman, ketelitian, kepemimpinan dan komunikasi yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Bapak Ir. Sriyana, MT, Kepala Bidang Kajian Data Tapak Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir BATAN yang mendorong dan mengarahkan dalam penyusunan makalah. Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada Prof. Dr. Ing. Andreas Wibowo, ST., MT (Kepala Bidang Program dan Evaluasi Puslitkim Kementerian PU) dan Dr. Ir. Anton Soekiman, MT., M.Sc. (Kepala Program Magister dan Doktor Teknik Sipil - Universitas Parahyangan) serta Ir. Pito Sumarno, MT., MPU (Direktur Eksekutif IAMPI Jakarta) yang telah memberikan masukan terhadap bahasan topik manajemen konstruksi pada saat FGD.

DAFTAR PUSTAKA

1. "IAEA Mission Says Finlands Olkiluoto Nuclear Power Plant Shows Strong Safety Commitment-Sees-Opportunities-For-Improvements", <https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-mission-says-finlands-olkiluoto-nuclear-power-plant-shows-strong-safety-commitment-sees-opportunities-for-improvements>
2. "Olkiluoto Nuclear Power Plant", https://en.wikipedia.org/wiki/Olkiluoto_Nuclear_Power_Plant
3. "Reactor and Services Busines in Brief", <http://www.aveva.com/EN/operations-5623/leader-in-nuclear-reactor-construction-and-heavy-equipment-replacement.html>
4. Cleland, D.I. and Ireland, L.R. (2006), "Project Management Strategic Design and Implementation", 5th Ed., Mc. Graw Hill Co.
5. "Batan Gelar Soft Launching Pembangunan RDE", 12 Maret 2015 <http://www.batan.go.id/index.php/id/berita-bhbk/655-batan-gelar-soft-launching-pembangunan-rdel>
6. Cikal Bakal PLTN akan dibangun di Serpong, 13 Maret 2015, <http://poskotanews.com/2015/03/13/cikal-bakal-pltn-akan-dibangun-di-serpong/>
7. "Batan Gelar Soft Launching Pembangunan Reaktor Daya Eksperimental", <http://jakartagreater.com/batan-gelar-soft-launching-pembangunan-reaktor-daya-eksperimental/>
8. Tim Penyusun Spesifikasi Teknis RDE, Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Tangerang Selatan 2014, "Spesifikasi Teknis Reaktor Daya Eksperimental", BATAN (2014).
9. Kerzner, H.R. (2013), "Project Management: A System Approach to Planning, Schedulling and Controlling", 11th Ed., John Wiley & Sons Inc.
10. "Siklus Hidup Proyek (Project Life Cycles)", http://www.academia.edu/8214009/SIKLUS_HIDUP_PROYEK_PROJECT_LIFE_CYCLES
11. "Manajemen Proyek di Indonesia", 6 Pebruari 2011, <http://manproindo.blogspot.co.id/2011/02/masalah-utama-proyek-di-indonesia.html>
12. Thorpe, B. and Sumner, P. (2004), "Quality Management in Construction", 3th Ed., Gower Publishing. Co.
13. Manajemen Konstruksi, <http://www.ilmutekniksipil.com/pengelolaan-dan-pengendalian-proyek/manajemen-konstruksi>
14. Muhibaraya, "Tahap-tahap Pelaksanaan dalam Proyek Konstruksi, Oktober 2006, <https://muhibaraya.com/tahap-tahap-proyek-konstruksi/>
15. Rosa Kabelen, "Mekanisme Laporan Pekerjaan Proyek",

- http://www.academia.edu/12158029/MEKANISME_LAPORAN_KEMAJUAN_PEKERJAAN_PROYEK
16. "Evaluasi Efektifitas Penerapan Konsep Manajemen Proyek pada Pelaksanaan Proyek Pembangunan Jalan di Kabupaten Majene",
<http://pasca.unhas.ac.id/jurnal/files/1f8ede36f0c6231150f2881e789ae789.pdf>
 17. SURYANTO, dkk., "Evaluasi Manajemen Proyek", Jurnal CommIT, Vol. 3 No. 2 Oktober 2009, hlm. 82 – 85, www.binus.ac.id/index.php/commit/article/download/.../498
 18. "Pedoman Pengawasan Penyelenggaraan Pekerjaan Konstruksi",
<http://www.pu.go.id/uploads/services/infopublik20120418140945.pdf>
<https://id.scribd.com/doc/183374961/Pedoman-Pengawasan-Penyelenggaraan-Pekerjaan-Konstruksi-DPU-pdf>
 19. Ahadi, "Pengawasan dan Pengendalian Mutu Pekerjaan Proyek", 1 Januari 2011,
<http://www.ilmusipil.com/pengawasan-dan-pengendalian-mutu-pekerjaan-proyek>
 20. Ahuja, H.N.; Dozzi, S.P.; and Abourizk, S.M. (1994), "Project Management: Techniques in Planning & Controlling Construction Projects", 2nd Ed., John Wiley & Sons Ltd.
 21. Burke, R. (2013), "Project Management: Planning & Control Techniques", 5th Ed., John Wiley & Sons Ltd.
 22. Peraturan Menteri Keangan Republik Indonesia, Nomor 84/PMK.05/2015 Tentang Tata Cara Penarikan Pinjaman dan/atau Hibah Luar Negeri.
 23. Pengajuan usulan Kegiatan yang dibiayai dari Pinjaman dan/atau Hibah Luar Negeri, Buku 1, Kantor Menteri Negara PPN/Bappenas, Jakarta, 2006
 24. Petunjuk Teknis Pengajuan Usulan Kegiatan yang Dibiayai dari Pinjaman dan/atau Hibah Luar negeri Peningkatan Kesiapan Rencana Pelaksanaan Kegiatan, Buku 3, Jakarta 2006.
 25. Lidyasavitri, "Master List dan Rencana Import Barang Modal Pembangkit",
http://www.academia.edu/4131697/Master_List_dan_Rencana_Import_Barang_Modal

DISKUSI/TANYA JAWAB:

PERTANYAAN: Djarot S. Wisnubroto (BATAN)

- Apakah secara manajemen konstruksi RDE sudah disiapkan?

JAWABAN: Mudjiono (PKSEN - BATAN)

- *Saat ini BATAN sedang menyiapkan KAK Manajemen Konstruksi RDE. Sedangkan Manajemen Proyek RDE (tata laksana proyek) sedang dipersiapkan oleh organisasi pelaksana proyek (PMO).*

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE STRENGTH OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL SS304

Andryansyah, Mudi H, Arismunandar P S, Darlis, Dwijo M, Deswandri, Geni R. Sunaryo
Center for Nuclear Reactor Technology and Safety - National Nuclear Energy Agency of Indonesia,
Puspiptek Gd.80, Tangerang Selatan
email: andry@batan.go.id

ABSTRACT

EFFECT OF HEAT TREATMENT ON THE STRENGTH OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL SS304. Stainless steel is used in the nuclear industry and nuclear power plants because it has good corrosion resistance. In its usage, occasional heating process results a sensitization. Past research shows that it is possible to restore the microstructure of austenitic stainless steels that have undergone a process of sensitization to the initial conditions. To see the possibility of it then do some heat treatment processes on stainless steel SS304 in the hope it can also improve its mechanical properties. The samples are heated at a temperature varies from 500°C to 1100°C. The heating time varies and so does the cooling process. The repair process is done at a temperature of 1100°C in the furnace with cooling variation. The process of heating also made with LPG flame to the melting point and followed by cooling using ice water. Metal strength represented by the hardness testing that have a direct correlation to the tensile strength of the metals. From the research that has been done, it can be concluded that it is not possible to upgrade the hardness of SS304 with heat treatment process. Each heating process followed by varies cooling of SS304 produce the hardness in the same or decreased. The results can also be used to conclude that the welding process on the SS304 will always result in a decrease in the strength of the metal parts that are affected by the welding heat.

Keywords: heat treatment, improved strength, SS304.

ABSTRAK

PENGARUH PERLAKUAN PANAS TERHADAP KEKUATAN BAJA TAHAN KARAT AUSTENITIK SS304. Baja tahan karat digunakan dalam industri nuklir dan PLTN karena mempunyai ketahanan terhadap korosi yang baik. Dalam penggunaannya, kadangkala terjadi proses pemanasan yang mengakibatkan terjadinya sensitisasi. Riset terdahulu memperlihatkan bahwa dimungkinkan untuk mengembalikan struktur mikro baja tahan karat austenitik yang telah mengalami proses sensitisasi ke kondisi awalnya. Untuk melihat kemungkinan itu maka dilakukan beberapa proses perlakuan panas pada baja tahan karat SS304 dengan harapan juga dapat memperbaiki sifat mekaniknya. Sampel dipanaskan pada temperatur bervariasi dari 500°C hingga 1100°C. Waktu pemanasan juga dibuat bervariasi dan begitu juga dengan proses pendinginan. Proses perbaikan dilakukan pada temperatur 1100°C di dalam tungku dengan pendinginan yang bervariasi. Juga dilakukan proses pemanasan dengan api LPG hingga titik leleh dan dilanjutkan dengan pendinginan menggunakan air es. Kekuatan logam diwakili dengan pengujian kekerasan yang mempunyai korelasi langsung terhadap kekuatan tarik logam. Dari penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa tidaklah mungkin melakukan peningkatan kekerasan SS304 dengan proses perlakuan panas. Setiap proses pemanasan SS304 yang diikuti dengan pendinginan yang bervariasi hanya menghasilkan kekerasan yang sama atau menurun. Hasil yang ada ini juga dapat digunakan untuk menyimpulkan bahwa proses pengelasan pada SS304 akan selalu mengakibatkan penurunan kekuatan pada bagian logam yang terpengaruh oleh panas pengelasan.

Kata kunci : Perlakuan panas, perbaikan kekuatan, SS304.

INTRODUCTION

Austenitic stainless steel is used in an industry including the nuclear industry. It steel has better corrosion resistance than carbon steel. However, the enrichment of Cr₂₃C₆ in SS304 was increased due to the increasing time of sensitization. This enrichment caused the reduction in nobility and nucleation pitting corrosion resistance behavior of SS 304 [1].

Sensitization of austenitic stainless steels will decrease tensile strength. SS304 austenitic stainless steel is used as a coating of the nuclear reactor vessel. This steel occasionally undergoes uncontrolled heating process resulting in chrome assembling as one of the passive layer forming elements in the grain boundary [2]. If that condition occurs, then the tensile strength of the stainless steel will decrease [3]. The purpose of this study is to determine effectively improvement the strength of austenitic stainless steels that have been damaged by heating. One possible way is to reconstitute the elements that have been assembled at the grain boundaries by heating and continuing with rapid cooling. To carry out the research in question, it will be used heating furnaces or LPG flames to heat test and cooling samples at different speeds. The tensile strength of the metal is measured by a hardness test representative having direct correlation to metal tensile strength [4].

One reason of using austenitic stainless steels is to coat the pressure vessel to increase its corrosion resistance. The austenitic stainless steel will experience sensitization when subjected to warming in the range 500°C-850°C [5]. Sensitization will reduce or losing the integrity of an alloy. The cause of sensitization is reduction or depletion of chromium due to the formation of chromatic carbides that are settled at the grain boundaries. The presence of this sensitization is thought to decrease the strength of the alloy. Components that have experienced a decrease in strength will certainly decrease its function. In large enough components, it is very difficult to replace it. There must be a way that can be done to increase the strength of the alloy that has been decreased. The purpose of this study was to find a way to increase the strength of SS304 austenitic stainless steel alloys that have experienced a decrease in strength due to sensitization. How to increase the strength of austenitic stainless steels will be sought by heating and cooling at a certain rate. In the presence of warming it is desirable that chrome carbide can be separated. By doing a rapid cooling it is expected that carbides will not be formed or at least less formed.

METHODOLOGY

The way to be selected for this research is to make a sample made of SS304 austenitic stainless steel of the same shape. In this case is in the form of coins. Later, the sample can also be used in corrosion rate testing. The first step is to test the SS304 austenitic stainless steel alloy in fresh condition. The tests include microstructure test and hardness test. The microstructure test is performed to see the grain shape before experiencing the destruction / alteration. Hardness test is performed instead of tensile test because of the direct correlation between hardness and tensile strength of metal.

Fresh test specimens of SS304 are then damaged / altered by heating the test samples in a furnace at 500°C - 1100°C and followed by different cooling rate, in the furnace and at the air. Then the microstructure and hardness were tested. The test results were used to look for possible improvements to the damaged alloy.

The sample that has been damaged is then given heat treatments by heating in a heating furnace or heated with an arc of acetylene welding. After heating, the test specimens are cooled with different cooling rates. To illustrate different cooling rates, it will be cooled in the open air, in engine oil, in water at room temperature and in ice water. After cooling at different rates, the test sample is reexamined in hardness as well as its microstructure.

RESULTS AND DISCUSSION

The hardness values of the heat treatment process in the sample are shown in Table1.

Table 1. Hardness values of the heat treatment process in the sample

No	Heating Temperature	Holding Time	Treatment	Hardness Value
1	600°C	1 hour	Cooled in furnace	223HV30
2	800°C	2 hours	Cooled in furnace	171HV30
3	800°C	2 hours	Cooled in a	Once process 178HV30 and two

No	Heating Temperature	Holding Time	Treatment	Hardness Value
		45min	furnace	times process 145HV30
4	800°C	2 hours	Cooled in the furnace, followed by heating 850°C 5 hours and cooled in air, water, ice water, and engine oil	No hardness test results indicate rising value
5	800°C	2 hours	Cooled in the furnace, followed by heating 1100°C 1 hour and cooled in water and air	150HV30
6	1100°C	1 hour	Cooled in water	140HV30
7	1100°C	gradually in the furnace and held for 1 hour	Cooled in water	150HV30
8	1100°C	5, 10, 20, and 30 minutes	Cooled in air	140-150HV30
9	1100°C	5, 10, 20, and 30 minutes	Cooled in air, continued with heating of 800°C 36 hours of cooling in the furnace	140-150HV30
10	500°, 600°, 700°, 800° and 900°C	5 hours	Cooled in furnace	Obtained by sequential hardness of 223HV30, 223HV30, 206HV30, 184HV30, 171HV30
11	500°, 600°, 700°, 800° and 900°C	5 hours	Cooled in air	Obtained by sequential hardness of 223HV30, 223HV30, 191HV30, 184HV30, 171HV30
12	500°, 600°, 700°, 800° and 900°C	5 hours	Cooled in furnace and continued by heating with LPG flame until	Obtained by sequential hardness of 171HV30, 165HV30,

No	Heating Temperature	Holding Time	Treatment	Hardness Value
			the surface of the sample melted and cooled with ice water	155HV30, 171HV30, 155HV30
13	1100°C	5, 10, 20, and 30 minutes	Cooled in air, continued by heating 800°C 36 hours of cooling in the furnace and then heated by LPG flame and cooled with ice water	155HV30

After heating the fresh samples at 800°C for 7 hours 45 minutes and continuing with cooling in the furnace, the sample is then be grinding followed by polishing. Etching was performed on a smooth surface using aqueous aqua regia and observed its microstructure using a microscope at 1000X lens enlargement. In the un-etched section, hardness testing is performed. A similar process was performed on samples undergoing heating and annealing twice. The microstructure obtained is compared to the microstructure of fresh samples and is given in figures 1 to 3.

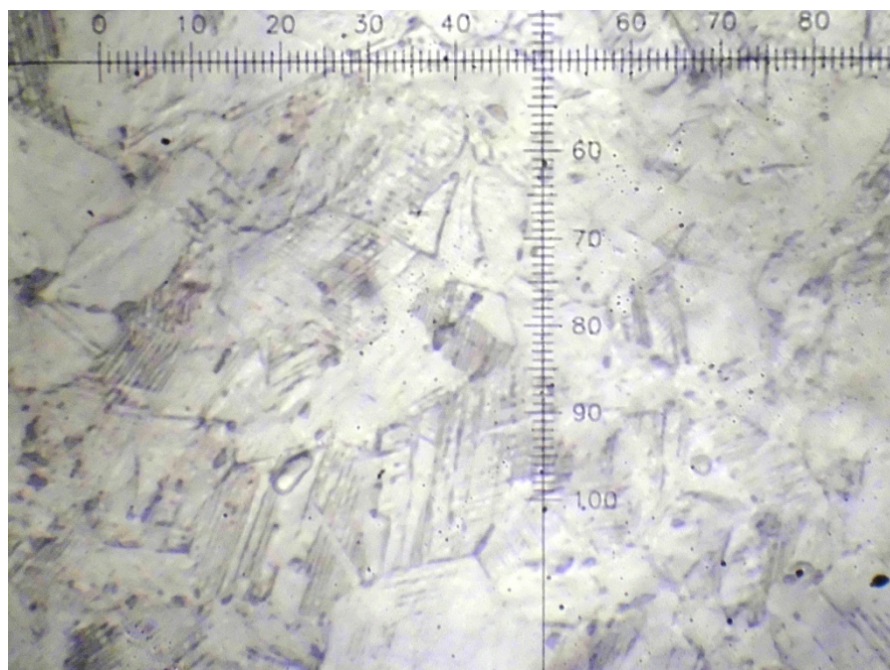


Figure 1. SS304 microstructure in fresh condition, (magnification 1000X), hardness 252HV30.

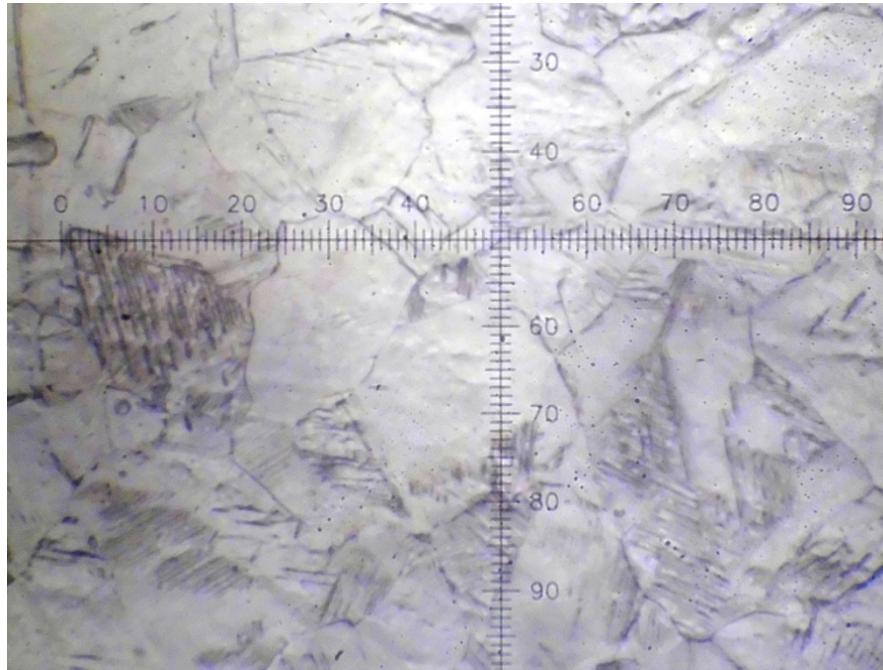


Figure 2. SS304 microstructure after heating and cooling in the furnace (magnification1000X), hardness 178HV30.

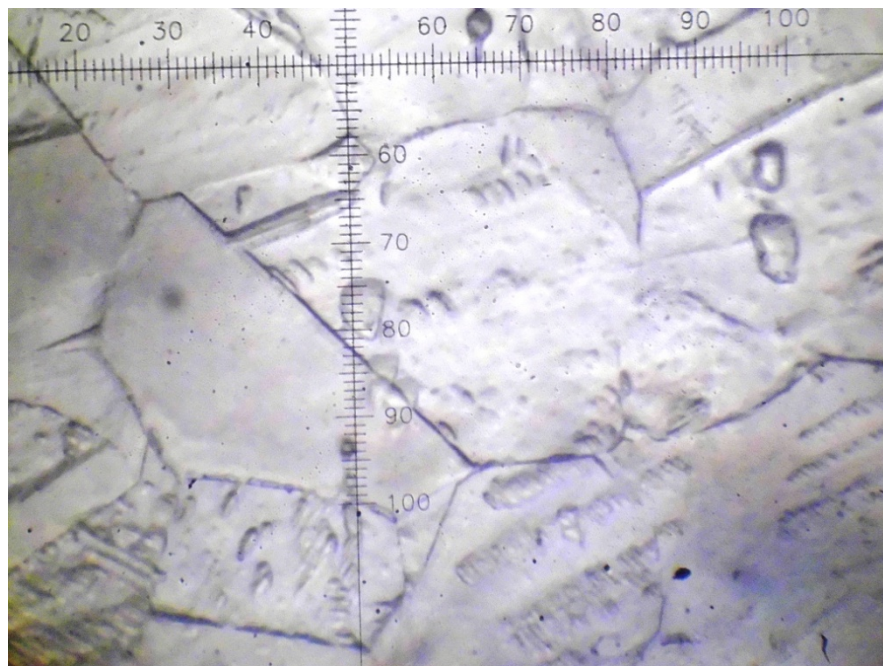


Figure 3. SS304 microstructure after two heating and cooling in the furnace (1000X magnification), hardness 145HV30.

Microstructure showed that the specimens which had once experienced heating and cooling in the furnace experienced grain enlargement and grain boundary thickening / widening. The results of the hardness test showed that the sample had a considerable decrease in hardness. In samples undergoing two similar heat treatment processes exhibit microstructure with increasingly enlarged grains and grain boundaries that are thickened while the hardness decreases but not as much as the first heat treatment process.

The process for reducing the strength of SS304 as a simulation of the sensitization is done by heating the test samples in a furnace at 800°C and followed by cooling in the furnace. After process, there were decreases in hardness from 250HV30 to about 170HV30. The descending sample was heat treated by heating at the furnace up to 850°C for about 5 hours and cooled in four ways: cooled in the open air, cooled in water at room temperature, cooled in ice water, and cooled in oil. Hardness tests of samples that have been experienced with various media to illustrate different cooling rates show that no single specimen has increased hardness. Temporary suspension does not occur solid dissolution at 850°C. For that the process is repeated by heating specimens that have decreased strength at 1100°C. It turns out that the violence actually decreased dramatically at 150HV30.

Because the increase in hardness is not obtained then heated fresh specimens at 1100°C for one hour and continued with cooling in water. Also heated the specimens in the furnace gradually up to 1100°C and held for one hour and continued by cooling in water. From the hardness test to the last two specimens obtained almost the same hardness that is about 140-150HV30. It was then attempted to heat the specimen that had undergone heat treatment and also on fresh specimens at 1100°C for 5, 10, 20, and 30 minutes and cooled in air. It turns out the violence gained around 140-150 HV30 as well. From the results, it is temporarily concluded that the value of 140-150HV30 is SS304 hardness during the manufacturing process prior to cold work.

Specimens that have experienced a decrease in hardness of up to 140-150 HV30 due to heating at 1100°C and cooling in air are heated repeatedly at 800°C for 6 hours and cooled in the furnace 6 times. After a total of 36 hours of warming at 800°C and cooled in the furnace, the research activity continued by heating the sample using LPG heater up to 25 seconds and continued with cooling with ice water drenched. Hardness testing results show a value of 155HV30, this means that the process of increasing the hardness failed to be obtained.

Figure 4 shows that the hardness of austenitic stainless steels prior to cold working has a hardness of about 160 HV. This value is close to the value obtained from hardness testing in the sample used in this study.

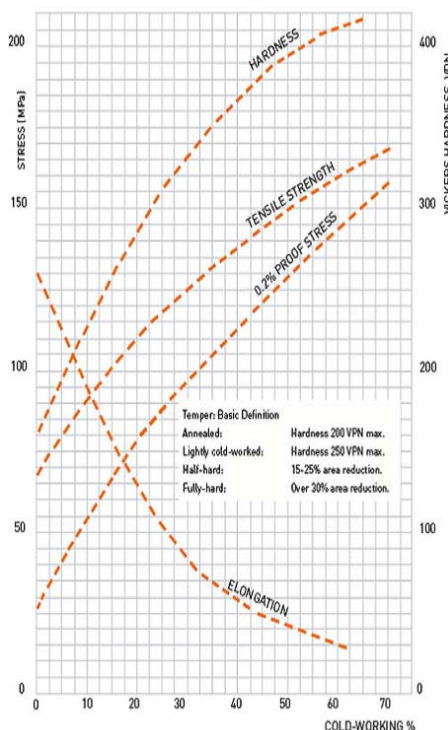
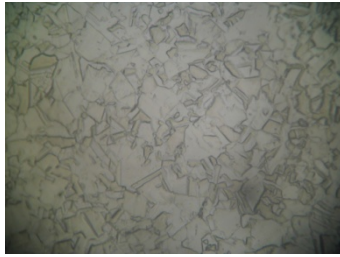
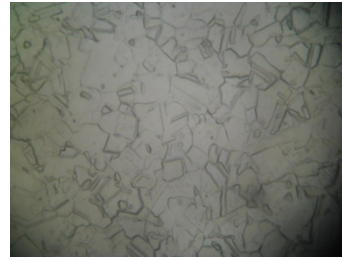


Figure 4. Effect of Cold Working on Mechanical Properties of Austenitic Stainless Steel [6].

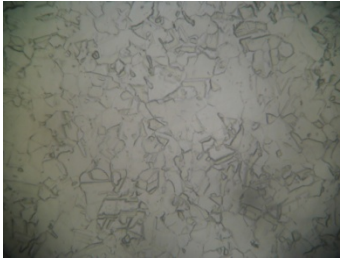
To obtain a more structured result, the study continued by heating each of the two fresh samples at temperatures of 500°C, 600°C, 700°C, 800°C, and 900°C for 5 hours and cooled in the furnace. Also done the same heating each one fresh sample, but cooled in air.



Sample A, 500X magnification.



Sample F, 500X magnification.



Sample B, 500X magnification.



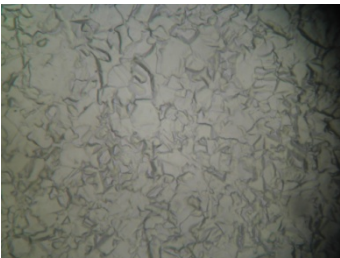
Sample G, 500X magnification.



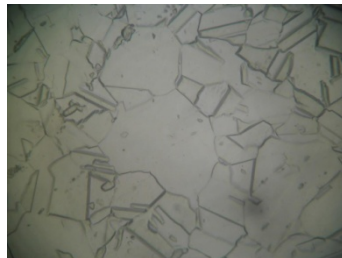
Sample C, 500X magnification.



Sample H, 500X magnification.



Sample D, 500X magnification.



Sample I, 500X magnification.



Sample E, 500X magnification.



Sample J, 100X magnification.

Figure 5. Microstructure of A-J Samples

The next heat treatment is to heat the specimen using a LPG heater up to 25 seconds (noticeable start of sample melting) and continued with cooling with ice water drenched.

The heating results of each of the two fresh samples at a temperature of 500°C, 600°C, 700°C, 800°C, and 900°C for 5 hours and cooled in the furnace were found to be 223HV30, 223HV30, 206HV30, 184HV30, 171HV30, respectively. While from the same heating of each sample, but cooled in the air (named samples A, B, C, D, and E) obtained 223HV30, 223HV30, 191HV30, 184HV30, 171HV30 respectively.

From the results it is seen that the cooling process in the furnace or in the air that has a different cooling rate, was not enough to affect the hardness.

The sequential hardness obtained from heating by LPG flame for 25 seconds and cooled with ice water, in each of the samples subjected to cooling in the furnace (named samples F, G, H, I, and J), is 171HV30, 165HV30, 155HV30, 171HV30, 155HV30. The sample hardness value after heating up to its melting point and cooled with ice water, was only very slightly above the sample which heated to 1100°C and cooled with various cooling rates that were between 140-155HV30. In the scale of the indenter diagonal gauge trace hardness test, the value is only different 1-2 smallest scale.

The microstructure of sample A to sample J is given in Figure 5. By comparing the existing images between samples A and F, B and G, C and H, D and I, E and J, it is clear that there is an enlargement of the grain size caused by the heating samples to their melting point.

CONCLUSION

From the research that has been done, it can be concluded that the increase of SS304 hardness cannot be done with heat treatment process. Any SS304 heating process followed by varying cooling will result in only the same or decreased hardness. These existing results can also be used to infer that the welding process in SS304 will always result in a decrease in strength on the heat affected zone.

ACKNOWLEDGEMENT

This research is funded by DIPA PTKRN (Center for Nuclear Technology and Safety)-BATAN fiscal year 2016.

REFERENCES

1. MOHD WARIKH ABD RASHID et al, "Formation of Cr₂₃C₆ during the Sensitization of AISI 304 Stainless Steel and its Effect to Pitting Corrosion ", Int. J. Electrochem. Sci., Vol. 7, page 9476, 2012.
2. ASTM G108, "Standard Test Method for Electrochemical Reactivation (EPR) for Detecting Sensitization of AISI Type 304 and 304L Stainless Steel".
3. ASM INTERNATIONAL, "ASM Handbook Volume 11, Failure Analysis and Prevention".
4. ASTM E92, "Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials".
5. NORTH AMERICAN STAINLESS, "Flat Products Stainless Steel Grade Sheet, 304".
6. <http://www.finetubes.co.uk/products/technical-reference-library/effect-of-cold-working-on-tubes/>

PENENTUAN PENUMBRA PADA RADIOGRAFI BENDA BERGERAK

Zaenal Abidin, Angga Fernando, Djoko Marjanto

Jurusan Teknofisika Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Babarsari PO BOX 6101 / YKBB Yogyakarta 55281, Telp. (0274)484085; Fax : (0274) 489715
email: zaenal@batan.go.id

ABSTRAK

PENENTUAN PENUMBRA PADA RADIOGRAFI BENDA BERGERAK. Pergeseran benda uji adalah satu dari faktor yang mempengaruhi kualitas film radiografi, standart ASME V *mandatory appendix I* menjelaskan tentang persyaratan yang harus dipenuhi dalam pengendalian pergeseran radiografi. Penelitian mengenai benda bergerak dilakukan untuk mengetahui pengaruh pergerakan terhadap kualitas film radiografi dalam bidang industri. Penelitian ini dilakukan dengan membuat benda uji yang dirancang untuk dapat bergerak secara horizontal. Pergerakan dilakukan dengan pergeseran sebesar 0,5 cm, 1 cm, 2 cm, 3 cm, dan 4 cm dengan variasi tegangan 120 kV, 140 kV, 160 kV dan 180 kV. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan ketidaktajaman geometri terhadap pengaruh pergeseran benda uji sesuai standart ASME V. Hasil penelitian tanpa pergeseran radiografi dengan memvariasi kV dapat mempengaruhi densitas dan kontras subyek pada film radiografi, sedangkan pengujian pergeseran radiografi, dengan memvariasi kV dan jarak pergeseran dapat mempengaruhi kontras subyek dan ketidaktajaman geometri. Pada percobaan pergeseran radiografi masih diterima dengan jarak pergeseran 0,5 cm - 3 cm pada tegangan 140 kV, 160 kV dan 180 kV dengan nilai Ug < 0,51 mm sesuai standart ASME.

Kata Kunci : Pergeseran radiografi, ketidaktajaman pergeseran, cacat, ASME V, Radiografi.

ABSTRACT

DETERMINATION OF PENUMBRA IN RADIOGRAPHY MOVING OBJECT. *The object movement is the one of factor that cause the film radiographic quality, and it's explained by ASME V standard mandatory appendix I for the requirement of movement control in industrial. The research of movement object is conducted to determine effects of movement to radiographic quality film. This research was conducted by moving the tested horizontally. The distance of the movement is 0.5 cm, 1 cm, 2 cm, 3 cm and 4 cm, the voltage used is 120 kV, 140 kV, 160 kV and 180 kV. The purpose of this study was to determine the effect of moving object to unsharpness geometry based on ASME V. The radiographic test without object moving by varying voltage can affect the density and contrast of radiographic film, while movement radiographic testing, by varying the voltage and moving distance can affect the contrast and the unsharpness geometry. This test can still be done with the moving distance of 0.5cm-3cm at a voltages of 140 kV, 160 kV and 180 kV, resulting Ug value <0.51 mm that is meet the ASME requirement.*

Keywords: in-motion radiography, in-motion unsharpness geometry, defect, ASME V, Radiography.

PENDAHULUAN

Radiografi adalah salah satu metode uji tak rusak atau disingkat UTR yang banyak digunakan untuk pengujian kualitas komponen yang banyak digunakan dibidang industri termasuk pengujian komponen, bahan, perpipaan dan sebagainya, sehingga menghasilkan produk yang berkualitas [1,2]. Produk berkualitas merupakan kebutuhan manusia akan jaminan mutu (Quality Assurance) untuk mendapatkan produk-produk yang bebas cacat (menghindari kegagalan teknis) serta memiliki masa pakai yang lama. Berbagai cacat yang muncul dalam produk harus teridentifikasi baik ukuran (dimensi), jenis cacat dan lokasi sedemikian hingga cacat-cacatnya sesuai dengan kriteria yang dipersyaratkan oleh standart yang terkait.

Radiografi dapat dilakukan dengan dua jenis radiasi yaitu dengan sinar-X dan sinar gamma sebagai sumber radiasi. Perbedaan diantara kedua jenis radiasi yang digunakan dalam pengujian adalah pada radiasi sinar gamma berasal dari suatu radionuklida yang tidak stabil yang memancarkan radiasi alfa, beta dan gamma, sedangkan pada radiasi sinar-X, radiasi

yang dihasilkan oleh tumbukan elektron cepat dengan target bernomor atom tinggi. Ketentuan dari pengujian dengan metode radiografi adalah film yang dibuat harus memenuhi standart penerimaan film radiografi. Untuk membaca film radiografi diperlukan seorang ahli yang berlisensi. Informasi yang diperoleh dari hasil radiografi sangat penting untuk perencanaan program perawatan komponen sehingga dapat diperoleh tingkat kualitas dari produk yang optimum, serta dapat mencegah terjadi kegagalan produksi bahkan kemungkinan kecelakaan akibat keberadaan cacat pada komponen.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas film radiografi, salah satunya adalah pergerakan radiografi. Pergerakan radiografi adalah teknik radiografi yang mana obyek yang diradiografi dan/atau sumber radiasi bergerak selama penyinaran. Standart ASME V mandatory appendix I menjelaskan tentang persyaratan yang harus dipenuhi dalam pengendalian pergeseran radiografi.

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan pengaruh pergerakan terhadap kualitas film radiografi berdasarkan ASME V, Artikel 2, mandatory appendix 1 (In-motion Radiography) [2].

TEORI

Gambar pada film radiografi dengan menggunakan pesawat sinar-X akan dipengaruhi oleh beberapa faktor:

Pengaruh Tegangan dan Arus

Kualitas atau energi sinar-X ditentukan oleh energi elektron yang menumbuk target. Energi elektron tersebut dapat dikontrol dengan mengatur besarnya beda tegangan antara anode dan katode yang dinyatakan dalam orde kilovolts (kV). Semakin besar beda tegangan tersebut, semakin besar kecepatan elektron yang menumbuk target, sehingga makin besar energi/daya tembus dari sinar-X yang dihasilkan. Kuantitas atau intensitas sinar-X tergantung pada besarnya jumlah elektron yang menumbuk target, dan ini dapat dikendalikan dengan mengatur besarnya arus filamen yang digunakan (mA). Makin besar arus filamen, makin bertambah jumlah elektron yang menumbuk target sehingga makin bertambah kuantitas atau intensitas [1,3,4].

Pengaruh Waktu Penyinaran

Bila waktu penyinaran yang dipilih ditingkatkan atau dipersingkat akan mengakibatkan gambar yang dihasilkan pada film menjadi kurang tajam (kontras rendah). Apabila waktu penyinaran semakin lama dengan tegangan penyinaran yang sama akan memberikan ketajaman yang tinggi (kontras tinggi) pada hasil film radiografi [1,4].

Pergeseran Radiografi (in-motion radiography)

Pergeseran radiografi adalah salah satu teknik radiografi yang ada di dalam ASME V yang harus dipenuhi apabila terjadinya pergeseran radiografi [2]. Pergeseran radiografi akan mempengaruhi kualitas radiograf, pergeseran akan menyebabkan nilai dari ketidaktajaman geometri menjadi besar, hal ini tidak dikehendaki dalam radiografi, sehingga ASME mengatur lebar berkas penyinaran dengan rumus:

$$w=c(F+a)/b+a \quad (1)$$

dengan, w : lebar berkas penyinaran, c: jarak diafragma ke sumber; F: lebar focal sport; a: lebar diafragma (jarak Antara dua sekat pembatas); b: jarak benda ke diafragma [2]
Ketidaktajaman pergeseran (in-motion unsharpness) ditentukan dengan rumus:

$$UM= w.d/D \quad (2)$$

dengan UM: ketidaktajaman pergeseran; w : lebar berkas penyinaran; d: jarak lasan sisi sumber dengan film radiografi; D: jarak sumber radiasi dengan benda yang akan diradiografi [2].

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan pengujian radiografi pada umumnya namun benda yang diuji dibuat seolah bergerak secara horizontal dan dibandingkan dengan yang tidak bergerak, meliputi:

a. Bahan yang diperlukan :

- Bahan Uji (Plat carbon stell yang dilas dengan teknik SMAW, tebal bahan 8,9 mm, tinggi mahkota lasan 4,18 mm); film radiografi; screen Pb; process film; step wedge; jangka sorong; simbol
- b. Alat yang digunakan :
 - Pesawat sinar-X Lorad LPX 200; motor servo DC dengan kontrol Arduino; kamar gelap dan kelengkapannya; alat proteksi radiasi (dosimeter dan surveymeter); alat baca film radiografi (densitometer dan viewer).
- c. Urutan Pengujian
 - Alat dan bahan dipersiapkan.
 - Preparasi sampel dilakukan pada $w= 167,67$ mm dan $UM= 4,503$ mm dengan perincian $a= 100$ mm, $b= 300$ mm, $c= 200$ mm, $F=1,5$ mm, $D= 486,92$ mm dan $d= 13,08$ mm
 - Tahapan penyinaran disesuaikan dengan standar dalam ASME V yaitu menentukan jarak sumber ke film, tegangan penyinaran, waktu penyinaran, selanjutnya variasi tegangan penyinaran dilakukan pada kV 120, 140, 160 dan 180.
 - Pergeseran radiografi dilakukan dengan jarak pergeseran (mm) 0,5, 1, 2, 3, 4 pada setiap tegangan penyinaran, pergeseran dilakukan dengan menggunakan motor servo kontrol arduino.
 - Film hasil radiografi diproses dan hasilnya disebut radiograf
 - Radiograf dianalisa.[4,5,6,7,8,9,10]

Menentukan Kecepatan Pergeseran

Kecepatan pergeseran radiografi dihitung dari kondisi penyinaran dengan jarak sumber ke film 500 mm, jarak objek ke film 0 mm, arus 5 mA, dengan jarak pergeseran (cm) 0,5, 1, 2, 3 dan 4, yang dilakukan pada tegangan penyinaran 120 kV selama 254 detik, pada kV: 140 selama 123 detik, kV: 160 selama 63 detik, dan 180 kV selama 59 detik. Hasil perhitungan ada pada Tabel 1.

Tabel.1 Kecepatan Pergeseran Radiografi
Waktu

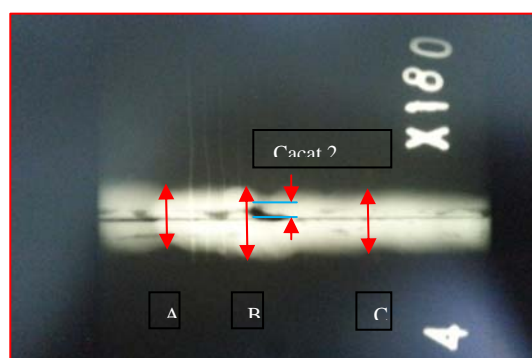
	254 detik	123 detik	63 detik	59 detik
Pergeseran 0,5 cm	$1,96 \times 10^{-3}$ cm/dt	$4,06 \times 10^{-3}$ cm/dt	$7,93 \times 10^{-3}$ cm/dt	$8,47 \times 10^{-3}$ cm/dt
Pergeseran 1 cm	$3,93 \times 10^{-3}$ cm/dt	$8,13 \times 10^{-3}$ cm/dt	$1,58 \times 10^{-2}$ cm/dt	$1,69 \times 10^{-2}$ cm/dt
Pergeseran 2 cm	$7,87 \times 10^{-3}$ cm/dt	$1,62 \times 10^{-2}$ cm/dt	$3,17 \times 10^{-2}$ cm/dt	$3,38 \times 10^{-2}$ cm/dt
Pergeseran 3 cm	$1,18 \times 10^{-2}$ cm/dt	$2,43 \times 10^{-2}$ cm/dt	$4,76 \times 10^{-2}$ cm/dt	$5,08 \times 10^{-2}$ cm/dt
Pergeseran 4 cm	$1,57 \times 10^{-2}$ cm/dt	$3,25 \times 10^{-2}$ cm/dt	$6,35 \times 10^{-2}$ cm/dt	$6,77 \times 10^{-2}$ cm/dt

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pencucian film radiografi memenuhi persyaratan ASME, radiograf ini dianalisis sebagai berikut:

1. Hasil Film Radiografi

Radiograf diukur sesuai dengan posisi pengukuran seperti Gambar 1



Gambar 1. Posisi pengukuran

Hasil pengukuran densitas pada lasan dan penetrameter pada spesiemen dengan pergeseran dan tanpa pergeseran menunjukkan bahwa semakin tinggi kV yang digunakan, densitasnya semakin tinggi pula seperti terlihat pada Tabel 2, hal ini sesuai dengan hukum penyinaran dan hasil penelitian referensi [6,7,8,9,10].

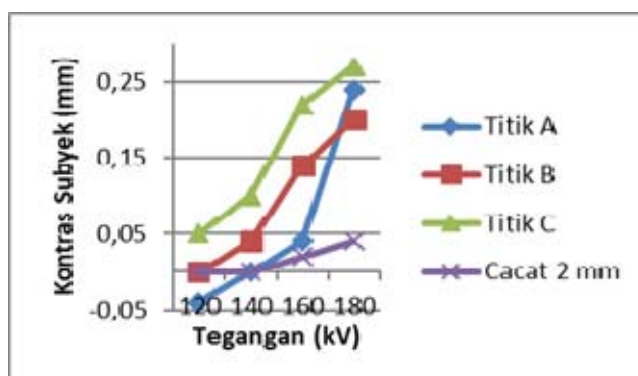
Tabel 2. Densitas radiograf

kV	Tanpa pergeseran			Pergeseran 1 cm		
	Densitas lasa	Densitas peny	Variasi densitas	Densitas lasa	Densitas peny	Variasi densitas
120	2,21; 2,07; 1,93	2,05	-5,80 s/d 7,80	1,92; 1,87; 1,82	1,88	-3,19 s/d 2,12
140	2,24; 2,23; 2,18	2,20	-0,90 s/d 1,81	2,22; 2,12; 2,00	2,03	-1,47 s/d 9,35
160	2,28; 2,23; 2,00	2,23	-10,31 s/d 2,19	2,20; 2,14; 2,12	2,14	-0,93 s/d 2,80
180	2,95; 2,90; 2,85	2,88	-1,04 s/d 2,43	2,71; 2,70; 2,61	2,64	-1,13 s/d 2,65

2. Evaluasi Eksperimen Radiografi

2.1 Tanpa Pergerakan

Hasil pengukuran radiograf untuk specimen yang diberi cacat 2 mm dan pengukuran lebar las pada titik A, B, dan C pada penyinaran kV 120, 140, 160, dan 180 dapat dilihat pada Gambar 2. Pada Gambar 2 terlihat bahwa cacat 2 mm pada kV 120 dan 140 selisih pengukurannya sedikit artinya bayangan kelihatan jelas atau kontrasnya baik, kemudian pada kV 160 dan 180 selisih ukuran cacatnya naik atau kontras berkurang (terlihat kabur), Jadi semakin tinggi kV kontrasnya semakin menurun.



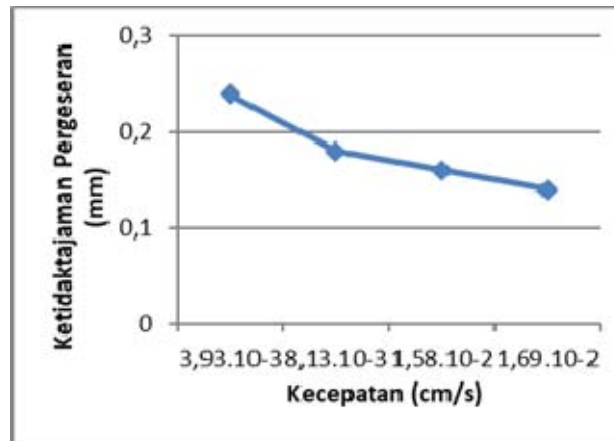
Gambar 2. Dampak variasi tegangan penyinaran

Dari hasil pengujian yang dilakukan densitas film memenuhi dari standart yang diacu yaitu 1,8 sampai dengan 4 yang diukur dengan alat pengukur tingkat kehitaman (densitometer), hasil variasi densitas maksimum kurang dari 30% dan variasi densitas minimum lebih dari -15%, selain itu kawat penetrameter yang harus muncul sesuai standart adalah sebanyak 4 kawat, hasil dari pengujian film ditemukan kawat penetrameter sebanyak 6 kawat pada semua pengujian.

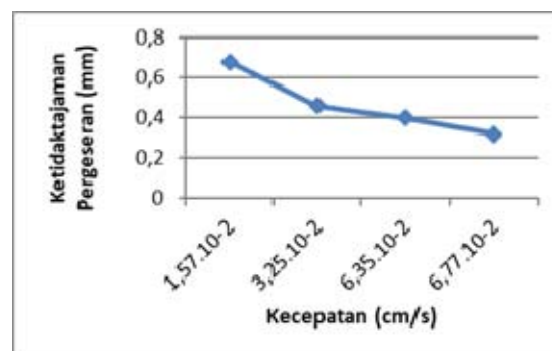
2.2 Dengan Pergerakan

Pengujian ini adalah pengujian yang dilakukan dengan menggerakkan film beserta benda uji dengan bantuan motor servo (DC) dan kontrol arduino untuk mengatur kecepatan pergeseran yang akan dilakukan. Pergeseran dilakukan beberapa kali dengan tujuan mengetahui seberapa besar pengaruh pergeseran yang terjadi pada film radiografi sehingga gambar atau cacat pada film dapat meragukan dalam membaca film radiografi. Sedangkan variasi tegangan (kV) dilakukan untuk mempersingkat waktu penyinaran sehingga mengurangi bayangan yang tergambar pada proses penyinaran, selain itu pada pengujian pergeseran radiografi memiliki persyaratan yang disesuaikan dengan perancangan pergeseran radiografi yang diatur dalam standart ASME V Artikel 2 Mandatori Apendik 1,

dalam pergeseran radiografi digunakan untuk menentukan lebar penyinaran dan ketidaktajaman pergeseran. Dari rancangan dengan standart yang diacu didapatkan nilai dari ketidaktajaman pergeseran disingkat (U_m) sebesar 4,503 mm. Nilai batas dari ketidaktajaman film radiografi dengan ketebalan benda uji kurang dari 50 mm, baik pergerakan radiografi ataupun tanpa pergerakan nilai ketidaktajaman geometri atau disingkat (U_g) yaitu kurang dari 0,51 mm. Hasil pengukuran ketidaktajaman pergeseran pada pergeseran dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Grafik pergeseran 1 cm



Gambar 4. Grafik pergeseran 4 cm

Pada Gambar 3 dan 4 terlihat hasil yang serupa yaitu ketidaktajaman pergeseran berbanding lurus (linear) terhadap jarak pergeseran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan adanya pergeseran akan menambah lebar lasan, besarnya bayangan yang terjadi linier terhadap jarak pergeseran. Variasi tegangan digunakan untuk mendapatkan waktu penyinaran yang singkat, sehingga pergeseran yang terjadi dapat mengurangi ketidaktajaman geometri dari pergeseran, menurut standart ASME, ini terjadi karena tingginya tegangan (kV) yang digunakan akan memberikan energi radiasi yang besar, sehingga daya tembus dari radiasi akan semakin cepat, oleh sebab itu waktu yang dibutuhkan menjadi lebih singkat.

Dari hasil pengukuran densitas pergeseran film radiografi yang diukur dengan densitometer bahwa densitas film masih berada pada batas persyaratan yang ditetapkan dalam standar ASME yaitu antara 1,8 – 4 dengan variasi densitas minimum <-15% dan variasi densitas maksimum >30%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, pengujian tanpa pergeseran radiografi dengan memvariasi kV dapat mempengaruhi densitas dan kontras subyek pada film

radiografi, sedangkan pengujian pergeseran radiografi, dengan memvariasi kV dan jarak pergeseran dapat mempengaruhi kontras subyek dan ketidaktajaman geometri. Pada percobaan pergeseran radiografi masih diterima dengan jarak pergeseran 0,5 cm - 3 cm pada tegangan 140 kV 160 kV dan 180 kV dengan nilai $U_g < 0,51$ mm sesuai standart ASME.

SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya, untuk melakukan pengujian pergeseran radiografi dengan mempertimbangkan pergeseran vertikalnya (getaran).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abidin, Zaenal, Aplikasi Teknik Nuklir, 2010, STTN-BATAN, Yogyakarta
- [2] ASME V, 2013, Section 2 Radiography Examination, New York.
- [3] GE Inspection Technologies, 2007, Industrial Radiography Image Formin Tecniques, General Electric, Houston.
- [4] Suparno, Hanurajie, 2008, TEKNIK RADIOGRAFI, Asosiasi Uji Tak Rusak Indonesia (AUTRI).
- [5] Instruksi Kerja Pesawat Sinar-X Rigaku EGS 250 ES di Laboratorium STTN-BATAN.
- [6] Juwairiah, 2013, Analisis Kualitas Radiografi Pada Objek Bergerak dan Objek Tidak Bergerak dengan Menggunakan Variasi Ekspose, USU, Medan.
- [7] Mutiara, Sagita Adninya, 2011, Hubungan Tegangan dan Energi Pesawat Sinar-X Rigaku Radioflex 250EG-S3 Menggunakan Film AGFA D7, STTN-BATAN, Yogyakarta.
- [8] Septiadi J., Anam C., dan Azam M., Pengaruh Kenaikan Suhu Cairan Developer Terhadap Densitas Radiograf, Berkala Fisika, Vol 11, No. 3, Juli, 2008, Hal 75 – 77.
- [9] Suyatno, Ferry, dkk, 2008, Rekayasa Sistem Pengatur Parameter Pesawat Sinar-X Diagnostik Berbasis Mikrokontroler Keluarga Mcs 51, Yogyakarta, SEMINAR NASIONAL IV SDM TEKNOLOGI NUKLIR.
- [10] Taufiq, Nasyeh, 2014, Analisis Sambungan Las SS 304 pada Tabung Alat Pemadam de Radiografi Sinar-X, STTN-BATAN, Yogyakarta.

ASPEK DEMOGRAFI MENDUKUNG KEGIATAN PRA-SURVEI TAPAK PLTN DI BARELANG (BATAM, REMPANG, GALANG), KEPRI

June Mellawati¹, Siti Alimah²

¹Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN,
Jl. Lebak Bulus Raya 49, Ps. Jumat PO Box 7043, Jaksel 12070

²Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, BATAN,
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jaksel 12710,
E-mail: june_mellawati@batan.go.id

ABSTRAK

ASPEK DEMOGRAFI MENDUKUNG KEGIATAN PRA-SURVEI TAPAK PLTN DI BARELANG (BATAM, REMPANG, GALANG), KEPRI. Aspek demografi (kependudukan) merupakan salah satu aspek yang perlu dipertimbangkan dalam kegiatan pra-survei tapak PLTN, karena dalam azas keselamatan teknologi nuklir harus mencakup keselamatan masyarakat dan lingkungannya. Dalam rangka menindaklanjuti SK kerjasama antara Batan dan BIFZA Nomor B 1741/KA/Batam/KS 0001/02/2015 dan Nomor 79/SPJ/KA/2/2015 telah dilakukan penelitian aspek kependudukan untuk mendukung kegiatan pra-survei tapak PLTN di wilayah Bareleng Kepulauan Riau. Tujuan penelitian adalah memperoleh data base kependudukan di Bareleng sebagai masukan para pemangku kepentingan (BIFZA) di Provinsi Kepulauan Riau terkait dengan rencana alokasi calon tapak PLTN di Batam. Metodologi meliputi pengumpulan data sekunder penduduk dari BPS Pusat dan daerah, konfirmasi lapangan untuk memperoleh data primer, evaluasi dan analisis data. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah penduduk di Pulau Rempang 1992 jiwa, Pulau Galang 1417 jiwa, Galang Baru 884 jiwa dan Pulau Batam 413.428 jiwa. Jumlah penduduk perempuan di Bareleng (Kota Batam) pada 1999-2007 lebih banyak dibandingkan laki-laki dengan rasio 0,85 - 0,96, namun tahun 2008 - 2014 jumlah penduduk laki-laki lebih banyak dibandingkan perempuan dengan rasio 1,02 - 1,09. Kepadatan penduduk di Pulau Batam 996,21 jiwa/Km², Pulau Rempang 12,07 jiwa/Km², Pulau Galang 17,71 jiwa/Km² dan Galang Baru 27,63 jiwa/Km². Berdasarkan Perka BPS No. 37 Tahun 2010, Pulau Rempang, Galang dan Galang Baru mempunyai nilai/skor kepadatan 1 yang berarti kepadatannya sangat rendah. Berdasarkan data ini, Pulau Rempang, Galang dan Galang Baru berpotensi sebagai calon tapak dibandingkan Pulau Batam.

Kata kunci: penduduk, tapak PLTN, Bareleng

ABSTRACT

DEMOGRAPHY ASPECT SUPPORTING PRE-SURVEY ACTIVITIES OF NPP SITE IN BARELANG (BATAM, REMPANG, GALANG), KEPRI. Demographic aspect is one aspect that needs to be considered in the pre-survey activity of NPP, because in principle the safety of nuclear technology should cover the safety of society and its environment. In order to follow up the cooperation decree between Batan and BIFZA No. B 1741/KA/Batam/KS 0001/02/2015 and Number 79/SPJ/KA/2/2015, demography aspect analysis has been conducted to support pre-survey activity of NPP in Bareleng area, Riau Islands. The objective of the study was to obtain a population data base in Bareleng as a stakeholder input (BIFZA) in Riau Islands Province related to the plan for the allocation of NPP site candidate in Batam. The methodology includes the collection of secondary data of population from the Central Bureau of Statistics and the regions, field confirmation to obtain primary data, evaluation and data analysis. The results showed that the population in Pulau Rempang 1992 inhabitants, Galang Island 1417 inhabitants, Galang Baru 884 and Batam Island 413,428 inhabitants. The number of female population in Bareleng (Batam City) in 1999-2007 was higher than that of male with a ratio of 0.85 to 0.96, but in 2008 - 2014 the number of male population was higher than female with a ratio of 1.02 to 1.09. Population density in Batam Island 996.21 inhabitants/Km², Rempang Island 12.07 inhabitant/Km², Galang Island 17.71 inhabitants/Km² and Galang Baru 27.63 inhabitants/Km². Based on BPS Chairman Regulation No. 37 Year 2010, Rempang Island, Galang and Galang Baru have value/score density 1 which means very low density. Based on this data, Rempang Island, Galang and Galang Baru are likely to be prospective sites compared to Batam Island.

Keywords: population data, nuclear power plant site, Bareleng

PENDAHULUAN

Dalam rangka mendukung kegiatan pra survei tapak PLTN di Batam yang didasarkan pada SK kerjasama antara Batan dan BIFZA (BATAM Indonesia Free Zone Authority) No. B 1741/KA/Batan/KS0001/02/2015 dan No.79/SPJ/KA/2/2015 telah dilakukan penelitian tentang aspek kependudukan di wilayah Bareleng, Kota Batam, Kepulauan Riau. Selain itu, Badan Pengusahaan Kawasan Perdagangan Bebas dan Pelabuhan Bebas Batam (BP Batam) dan Badan Tenaga Nuklir Nasional (Batan) telah melakukan kesepakatan kerjasama melalui penandatanganan MOU terkait kegiatan studi awal rencana pembangunan PLTN di Kawasan Pulau Batam, Rempang, dan Galang Tahun 2015 melalui SK Kepala BP BATAM No. 77 Tahun 2015. Sesuai dengan arah kebijakan dan strategi pembangunan nasional yang tertuang dalam RPJMN tahun 2005-2025 tentang strategi "Ketahanan Energi" dan strategi "Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca/GRK (Buku II RPJMN 2015-2019), serta Peraturan Presiden tentang Kebijakan Energi Nasional dinyatakan bahwa energi nuklir merupakan bagian dari sistem energi nasional sehingga perlu dilakukan penyiapan tapak PLTN di beberapa daerah di Indonesia dan salah satunya adalah di Pulau Batam Propinsi Kepulauan Riau.

Seperti diketahui Kependudukan merupakan hal penting yang perlu diperhatikan baik dalam proses pembangunan untuk segi sosial maupun ekonomi[1]. Data penelitian di Kenya menunjukkan bahwa pertumbuhan penduduk memberikan pengaruh negatif terhadap lebih dari 90% pembangunan infrastruktur[2]. Seperti halnya di beberapa negara yang berencana membangun PLTN, seperti Korea, pertimbangan kependudukan untuk mendapatkan lokasi yang sesuai terus dilakukan[3]. Komisi Regulasi Nuklir Amerika Serikat (NRC) telah mengeluarkan peraturan terkait pertumbuhan penduduk dan penggunaan lahan di sekitar instalasi nuklir[4]. Berdasarkan hal tersebut pengumpulan data kependudukan terkait rencana pembangunan PLTN di Indonesia sangatlah penting, karena merupakan data rona awal kondisi kependudukan. Seperti halnya yang pernah dilakukan pada kegiatan survei tapak di Pulau Bangka hingga diperoleh tapak Bangka Barat dan Selatan[5], demikian pula kegiatan prasuvei tapak di Kalimantan barat[6], di Kepulauan Riau[7], dan di Kawasan Puspipetek Serpong[8].

Dalam Perka BAPETEN No. 01-P/Ka-BAPETEN/VI-99 dinyatakan bahwa pada penentuan tapak PLTN perlu diperhatikan alokasi tempat untuk daerah eksklusi, yaitu daerah terlarang bagi penduduk untuk bertempat tinggal, hal ini terkait kemudahan memberikan perlindungan terhadap keselamatan dan kesehatan bagi penduduk di sekitarnya dalam program kedaruratan nuklir[9]. Oleh sebab itu perlu dilakukan pemilihan tapak di daerah yang rendah penduduk atau berdasarkan kriteria umum dinyatakan bahwa jumlah penduduk dari "batas terluar wilayah penduduk padat atau jarak minimum 1 Km adalah > 25.000 jiwa[9].

Berdasarkan Undang Undang No. 30 Tahun 2007 disebutkan bahwa energi nuklir merupakan salah satu sumber energi nasional dalam kelompok energi baru dan terbarukan (EBT), dan dalam Undang Undang No. 17 Tahun 2007 tentang RPJPN 2005-20025, Indonesia harus mulai memanfaatkan tenaga nuklir untuk pembangkit listrik dengan mempertimbangkan faktor keselamatan secara ketat[10,11].

Tujuan penelitian adalah memperoleh data base kependudukan di Bareleng sebagai masukan para pemangku kepentingan (BIFZA) di Provinsi Kepulauan Riau terkait dengan rencana alokasi calon tapak PLTN di Batam. Seperti diketahui, masalah kependudukan menjadi pertimbangan penting terkait dengan penetapan tapak PLTN, hal ini guna memenuhi persyaratan sebagai daerah eksklusi dan untuk penanganan kedaruratan, yaitu jumlah penduduk di lokasi sekitar tapak (radius 0-1 km) tidak lebih dari 25.000 jiwa [9,12].

TEORI

Penduduk merupakan objek dan subjek pembangunan, sebagai objek apabila penduduk merupakan "sasaran pembangunan", sedangkan sebagai subyek apabila penduduk merupakan "pelaku pembangunan". Peran penduduk sebagai subyek menentukan arah dan keberhasilan pembangunan, sehingga potensi dan tantangan pembangunan ditentukan oleh keadaan riil kependudukan dan sumber daya alam yang dimiliki oleh suatu negara. Penduduk merupakan potensi sekaligus beban pembangunan, penduduk yang berkualitas "produktif" merupakan potensi/kekuatan pembangunan sebaliknya penduduk dengan kualitas rendah "non produktif" merupakan beban pembangunan [13].

Penduduk adalah setiap warga negara suatu negara dan orang asing yang bertempat tinggal di negara tersebut, sedangkan kependudukan adalah hal ihwal yang berkaitan dengan jumlah, struktur, umur, jenis kelamin, agama, kelahiran, perkawinan, kehamilan, kematian, persebaran, mobilitas dan kualitas, serta ketahanannya menyangkut politik, ekonomi, sosial, dan budaya. Perkembangan kependudukan adalah kondisi yang berhubungan dengan perubahan keadaan kependudukan yang dapat berpengaruh dan dipengaruhi oleh keberhasilan pembangunan berkelanjutan. Gambaran statistik penduduk dan data kependudukan sangat diperlukan terutama oleh para pembuat kebijakan. Menurut Moh. Yasin (2010), ilmu demografi bermanfaat untuk [14]:

1. Mempelajari kuantitas, komposisi dan distribusi penduduk dalam suatu daerah tertentu serta perubahannya.
2. Menjelaskan pertumbuhan masa lampau dan mengestimasi pertumbuhan penduduk pada masa mendatang.
3. Mengembangkan hubungan sebab akibat antara perkembangan penduduk dan bermacam aspek pembangunan sosial, ekonomi, budaya, politik, lingkungan dan keamanan.
4. Mempelajari dan mengantisipasi kemungkinan konsekuensi pertumbuhan penduduk pada masa mendatang.

Jumlah dan distribusi penduduk merupakan salah satu bagian penting dari perubahan penduduk. Nilai jumlah penduduk secara geometrik (model eksponensial) diperoleh berdasarkan persamaan berikut [8,14]:

$$P_n = P_0 e^{rn} \quad (1)$$

Keterangan :

P_n : Jumlah penduduk saat ini (pada tahun ke-n)

P_0 : Jumlah penduduk awal (pada tahun dasar/ke-0)

r : Laju pertumbuhan

n : jangka waktu tahun (interval)

Data jumlah penduduk di suatu wilayah erat kaitannya dengan rencana tata ruang peruntukan wilayah, sehingga apabila Bareleng direncanakan akan dikembangkan sebagai area perkantoran dan bisnis maka akan terjadi perubahan permukiman penduduk yang diikuti dengan migrasi penduduk ke permukiman tersebut. Kepadatan penduduk merupakan salah satu komponen penting dalam kependudukan. Kepadatan penduduk adalah nilai yang dinyatakan sebagai perbandingan antara banyaknya penduduk terhadap luas wilayah (km^2) atau banyaknya penduduk per kilometer persegi pada tahun tertentu [14]. Kepadatan penduduk diperoleh berdasarkan persamaan berikut [8,14]:

$$\text{Kepadatan Penduduk} = \frac{\sum \text{Penduduk Suatu Wilayah (Jhwa)}}{\sum \text{Luas Wilayah (Km}^2\text{)}} \quad (2)$$

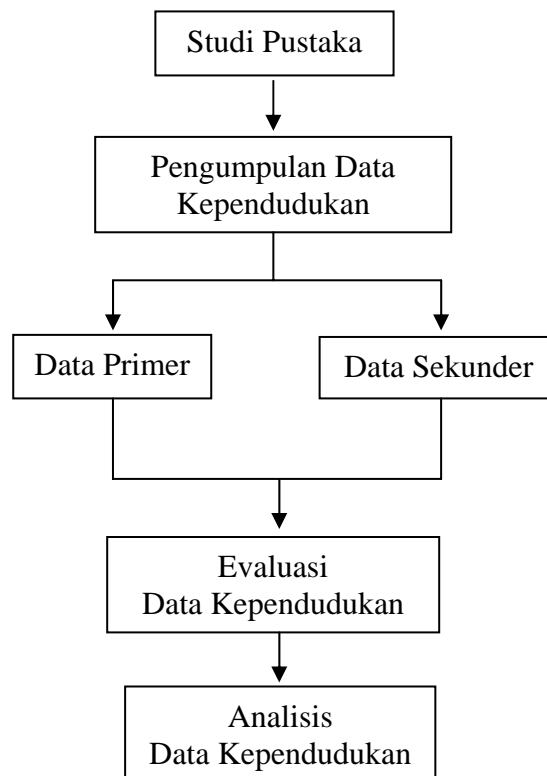
METODOLOGI

Waktu dan Lokasi Penelitian.

Kegiatan penelitian dilakukan pada Bulan Agustus-Desember Tahun 2015. Lokasi penelitian meliputi Pulau Batam, Rempang dan Galang, Provinsi Kepulauan Riau (Gambar 1). Kegiatan penelitian meliputi studi pustaka, pengumpulan data kependudukan baik data sekunder (dari BPS Pusat Jakarta, BPR Kota Batam, dan literatur terkait) maupun primer (dari konfirmasi lapangan). Selanjutnya dilakukan evaluasi dan analisis untuk mengetahui jumlah penduduk, kepadatan dan rasio jenis kelamin. Tahapan kegiatan penelitian seperti ditunjukkan pada diagram alir berikut (Gambar 2):



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Pulau Batam, Rempang, Galang, Galang Baru)[15]



Gambar 2. Tahapan Kegiatan Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

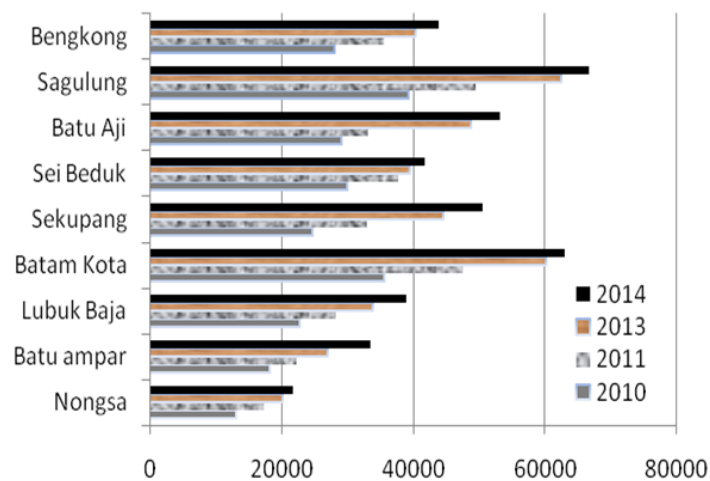
Kondisi Umum Daerah Penelitian

Daerah penelitian adalah kawasan Bareleng atau berasal dari Batam, Rempang, Galang. Sejak dikeluarkannya kebijakan Presiden RI melalui Keppres No. 56 tahun 1984 tentang ketetapan penambahan wilayah lingkungan kerja daerah industri di Pulau Batam, maka Batam, Rempang dan Galang ditetapkan sebagai wilayah usaha kawasan berikat (*bonded area*). Kebijakan pemerintah pusat maupun daerah tersebut tidak hanya berlaku terhadap Pulau Rempang dan Galang saja, namun juga terhadap pulau-pulau kecil di sekitar Pulau Batam lainnya, yang jumlahnya ± 39 pulau, diantaranya adalah Pulau Tonton, Nipah, Setokok, Ngenang, Janda Berhias, Rempang, Galang baru, Kasem, Moi-moi, dan Tanjung Sawu, serta pulau-pulau kecil lainnya. Di sebelah utara, Bareleng berbatasan dengan selat Singapura dan Singapura, sebelah selatan dengan Kabupaten Lingga, sebelah barat dengan Kabupaten Karimun, sebelah timur dengan Pulau Bintan dan Tanjung Pinang.

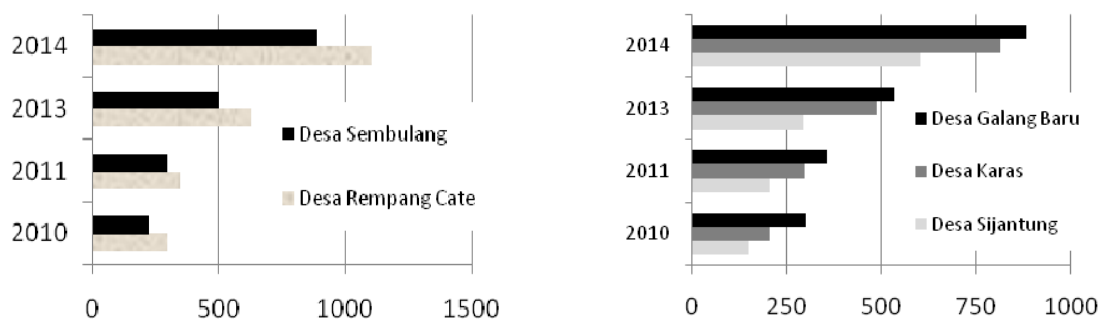
Secara geografis, Bareleng mempunyai luas area 715 km^2 , terdiri dari Pulau Batam terletak pada koordinat $1^{\circ}4'0'' \text{ LU}$ dan $104^{\circ}1'0'' \text{ BT}$ dengan luas area $\pm 415 \text{ km}^2$, Pulau Rempang pada koordinat $0^{\circ}42' \text{ LU}$ dan $104^{\circ}13' \text{ BT}$, berada di wilayah Kecamatan Galang, Kota Batam dengan luas area $\pm 165,83 \text{ km}^2$, dan Pulau Galang pada koordinat $0^{\circ}45' \text{ LU}$ dan $104^{\circ}14' \text{ BT}$ berada di wilayah Kecamatan Galang di depan Tanjung Pengapit dengan luas area 80 km^2 , sedangkan Pulau Galang Baru pada koordinat $0^{\circ}39'59'' \text{ LU}$ dan $104^{\circ}14'57'' \text{ BT}$ dengan luas area 32 km^2 . Di sekitar Pulau Galang terdapat beberapa pulau lainnya, yaitu Pulau Abang, Pulau Sembur, Pulau Cate, Pulau Tokok, Pulau Selat Nenek, Pulau Pecung dan Pulau Panjang[16].

Jumlah dan Kepadatan Penduduk Di Kawasan Bareleng

Wilayah Pulau Batam terdiri dari 9 kecamatan dengan jumlah penduduk total 241.409 – 413.428 jiwa pada tahun 2010 – 2014, hal ini menunjukkan bahwa Pulau Batam memiliki jumlah penduduk yang relatif cukup tinggi (Gambar 2), sedangkan Pulau Rempang memiliki jumlah penduduk total 523 – 1.992 jiwa dan Pulau Galang 653 – 2.301 jiwa (Gambar 3).

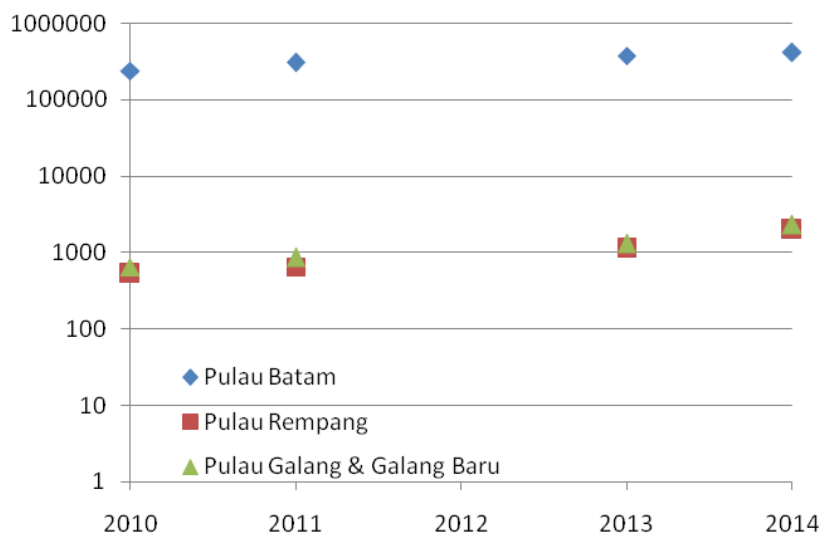


Gambar 2. Jumlah Penduduk di Pulau Batam



Gambar 3. Jumlah Penduduk di Pulau Rempang dan Galang

Pada Gambar 4 terlihat bahwa selama 4 tahun (tahun 2010-2014) telah terjadi peningkatan jumlah penduduk yang cukup nyata di wilayah Pulau Batam, yaitu di Kecamatan Sekupang (103,59 %), Batu Ampar (83,45 %) dan Kecamatan Batu Aji (82,43 %), demikian pula di wilayah Pulau Rempang terlihat sangat nyata, baik di Desa Rempang Cate (268,90%) dan Desa Sembulang (296,88), dan di wilayah Pulau Galang terlihat sangat nyata di Desa Sijantung (306,76%), Karas (295,63%) maupun Galang Baru (195,65%) (Gambar 4).



Gambar 4. Peningkatan Jumlah Penduduk Selama 4 Tahun

Peningkatan jumlah penduduk terlihat cukup nyata di Pulau Rempang maupun Galang, hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh pertumbuhan ekonomi di daerah tersebut yang kian membaik, seperti adanya pengembangan industri pariwisata, pertanian, perkebunan, dan perikanan. Apalagi dalam rapat terbatas di Jakarta, Presiden Indonesia (Bapak Joko Widodo) membahas tentang Percepatan Pembangunan Batam, Evaluasi Pelaksanaan Proyek Strategis Nasional dan Program Prioritas di Provinsi Kepulauan Riau yang salah satunya adalah rencana Pulau Rempang dan Galang sebagai Kawasan Ekonomi Khusus (KEK)(16).

Seperti diketahui, di Pulau Batam terdapat 9 kecamatan, yaitu Kecamatan Nongsa, Batu Ampar, Lubuk Baja, Batam Kota, sekupang, Sei Beduk, Batu Aji, Sagulung, dan Bengkong, dan untuk tiap masing-masing kecamatannya terdiri dari beberapa desa sehingga wajar bila jumlah penduduknya cukup banyak dibandingkan Pulau Rempang maupun Pulau Galang yang tingkatan administrasinya adalah kelurahan. Di wilayah Pulau Rempang terdapat 2 kelurahan (desa), yaitu Desa Rempang Cate dan Sembulang, sedangkan di Pulau Galang & Galang Baru terdapat 3 kelurahan (desa), yaitu Desa Sijantung, Karas dan Desa Galang Baru. Status administrasi kedua desa di Pulau Rempang dan ketiga desa di Pulau Galang-Galang Baru tersebut adalah satu kecamatan, yaitu Kecamatan Galang.

Kepadatan penduduk di Pulau Batam relatif tinggi (sangat padat), yaitu 996,21 jiwa/km², sedangkan di Pulau Rempang hanya 12,07 jiwa/km², demikian pula di Pulau Galang 17,71 jiwa/km², dan Galang Baru 27,63 jiwa/km². Berdasarkan Perka Badan Pusat Statistik No. 37 Tahun 2010, Pulau Batam mempunyai nilai/skor kepadatan penduduk 8, karena kepadatannya > 8500 jiwa/km², sedangkan Pulau Rempang, Galang dan Galang Baru mempunyai nilai/skor 1 karena kepadatannya < 500 jiwa/km². Berdasarkan Undang Undang No. 56 PRP Tahun 1960 tentang penetapan luas lahan pertanian, Pulau Batam termasuk kategori penduduk "sangat padat" karena kepadatannya >400 penduduk/km², sedangkan Pulau Rempang, Galang dan Pulau Galang Baru termasuk kategori penduduk "tidak padat" karena mempunyai nilai ≤ 50 penduduk/km²[25]. Berdasarkan data ini, dari aspek demografi, Pulau Rempang, Galang dan Galang Baru mempunyai peluang sebagai calon tapak PLTN dibandingkan Pulau Batam karena mempunyai jumlah penduduk sangat rendah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian telah diperoleh data base kependudukan penduduk di Bareleng yang mencakup jumlah dan kepadatan masa kini dan data series 4 tahun. Data ini penting untuk masukan para pemangku kepentingan (BIFZA) di Provinsi Kepulauan Riau terkait dengan rencana alokasi calon tapak PLTN di Batam. Di antara ketiga pulau, yaitu Batam, Rempang dan Galang, jumlah dan kepadatan penduduk di Pulau Rempang, Galang, dan Galang Baru masih relatif rendah dibandingkan di Pulau Batam, Hal ini dimungkinkan karena lokasi Pulau Batam dekat dengan Singapura, dan Batam telah menjadi kawasan ekonomi khusus (KEK) lebih dari 10 tahun yang lalu. Berdasarkan data base kependudukan ini, Pulau Rempang, Galang dan Galang Baru lebih berpeluang sebagai calon tapak PLTN dibandingkan Pulau Batam karena mempunyai jumlah penduduk sangat rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih Penulis sampaikan kepada Ir. Yarianto SBS., M.Si selaku Kapus PKSEN, Batan Jakarta, dan Ir. Horman Pudinaung, M.Si selaku Kepala Biro Perencanaan Program & Litbang BP Batam, Batam Kepri yang telah memberi kesempatan, serta sarana dan prasarana kepada kami untuk melakukan kegiatan penelitian di Bareleng.

DAFTAR PUSTAKA

1. MUNAWAR NOOR. Kebijakan Pembangunan Kependudukan Dan Bonus Demografi. Jurnal Ilmiah Untag Semarang. Vol.4. No.1(2015)121-128.
2. GILBERT W. N. ASOKA, AGGREY D.M. THUO, MARTIN M. Bunyasi, Effects of Population Growth on Urban Infrastructure and Services: A Case of Eastleigh Neighborhood Nairobi, Kenya. Journal of Anthropology & Archaeology, Vol.1. No.1(2013)41-56.
3. ZHOU SHUNYUAN, GENG XIUSHENG, GUO FURONG. Evaluation of population distribution around nuclear power plants. Journal of Radiological Medicine and Protection. Vol.5. No.5(1985)334-338.
4. KENNETH PEARLMAN, NANCY WAITE. Controlling Land Use and Population Growth Near Nuclear Power Plants. Journal of Urban and Contemporary Law. Vol. 27. No.9(1984)9-68
5. FEPRIADI, JUNE MELLAWATI, HENI SUSIATI, "Kajian Awal Aspek Demografi dalam Kegiatan Pra-Survei Tapak PLTN di Pulau Bangka", Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir IV, BATAN, Jakarta, Oktober, 2011.
6. JUNE MELLAWATI, HENI SUSIATI, dan FEPRIADI, "Studi Awal Aspek Demografi dalam Kegiatan Pra-Survei Tapak PLTN di Kalimantan Barat", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir, BATAN, Pontianak 19 Juni 2014. Jakarta, Oktober, 2014. ISSN: 2355-7524.
7. SITI ALIMAH, JUNE MELLAWATI, MURDANINGSIH. Distribusi Penduduk Di Provinsi Kepulauan Riau: Kajian Aspek Demografi Pada Pra Survei Tapak PLTN. Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir, BATAN, 4-5 Agustus 2016, Batam, ISSN: 2355-7524.
8. JUNE MELLAWATI, SITI ALIMAH. Proyeksi Jumlah Penduduk Di Sekitar Tapak Reaktor Daya Eksperimental (RDE) Di Puspiptek Serpong. Prosiding Seminar Nasional XXIV "Kimia dalam Industri dan Lingkungan" Hotel Phoenix Yogyakarta, 19 November 2015 ISSN :0854-4778
9. BAPETEN. Perka BAPETEN No 01-P/Ka-BAPETEN/VI-99 tentang Pedoman Penentuan Tapak Reaktor Nuklir. Badan Pengawas Tenaga Nuklir. Jakarta 1999.
10. CHAIRIL ANWAR. Energi Nuklir Indonesia Dalam Konteks Energi Nuklir Dunia: Antara Harapan dan Kenyataan. Prosiding Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta. 18 November 2010. ISSN 1978-0176.
11. KRIS TRI BASUKI, NOOR ANIS KUNDARI. Penyiapan SDM Iptek Nuklir di STTN Untuk Kesejahteraan. Prosiding Seminar Nasional VI. SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, 18 November 2010. ISSN 1978-0176
12. IAEA. Safety Standards Series NS-R-3, 2003. Site Evaluation For Nuclear Installation. IAEA. Vienna 2003.
13. LEMBAGA DEMOGRAFI, UNIVERSITAS INDONESIA. Demografi: Arti dan Tujuan, Dasar-Dasar Demografi Edisi 2, Lembaga Demografi Fakultas Ekonomi UI, Jakarta. 2010.

14. YAYAT KARYANA, LISNUR WACHIDAH. Pengembangan Metode Komponen Dalam Proyeksi Penduduk Indonesia 2015-2050 Menggunakan Metode Campuran Dengan Pendekatan Demografi Multiregional. Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan PKM: Sosial, Ekonomi, dan Humaniora. Bandung. Vol. 2. No. 1(2011)467-476. ISSN 2089-3590.
15. PEMKOT BATAM. Peta Barelang. Pemerintah Kota BATAM. Batam 2014.
16. RETNO ANJAR SARI, IVAN CHOFYAN. Arahana Pengembangan Kawasan Minapolitan Di Kecamatan Galang, Kota Batam. Prosiding Perencanaan Wilayah dan Kota. ISSN 2460-6480. Vol 2. No.1 (2016)95-104.

DISKUSI/TANYA JAWAB:

PERTANYAAN: Farida (PTKMR BATAN)

1. Apakah semua desa di Pulau Rempang dan Galang berpeluang sebagai calon tapak PLTN?
2. Apakah konfirmasi lapangan dilakukan di semua desa?

JAWABAN: June Mellawati (PTKMR – BATAN)

1. *Dari aspek demografi karena kepadatan penduduk di Pulau Rempang (Desa Rempang Cate dan Desa Sembulang), serta di Pulau Galang dan Galang Baru (Desa Sijantung, Desa Karas, Desa Galang Baru) relatif rendah dengan nilai skor 1 (Perka BPS No. 37/2010) yaitu 50 jiwa/km², maka iya, dengan tidak meninggalkan pertimbangan aspek lainnya.*
2. *Iya, di semua Desa karena wilayahnya tidak begitu luas.*

PERKIRAAN BIAYA EKSTERNAL DARI FASILITAS NUKLIR RDE MENGUNAKAN SOFTWARE SIMPACT

Sufiana Solihat¹, Wiku Lulus Widodo¹

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

ABSTRAK

PERKIRAAN BIAYA EKSTERNAL DARI FASILITAS NUKLIR RDE. Telah dilakukan studi perhitungan biaya eksternal dari fasilitas nuklir RDE. Biaya eksternal yang dihitung adalah biaya kompensasi dari dampak kesehatan untuk area atau wilayah di sekitar fasilitas nuklir RDE. Dampak kesehatan difokuskan pada risiko kanker dan penyakit turunan spesifik yang diterima oleh masyarakat di sekitar fasilitas RDE akibat inhalasi radionuklida. Metode yang digunakan adalah membuat model instalasi RDE dengan menggunakan perangkat lunak SIMPACT. Hasil perhitungan SIMPACT berupa tingkat penyebaran radionuklida dan kemudian dikonversi menjadi harga kompensasi risiko kanker akibat penyebaran radionuklida tersebut. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa biaya eksternal untuk risiko kanker fatal sebesar 0,00000185 US\$/tahun, untuk risiko kanker non-fatal sebesar 0,00000482 US\$/tahun, dan untuk risiko penyakit turunan spesifik sebesar 0,00001209 US\$/tahun.

Kata kunci: RDE, Biaya Eksternal, Kanker, Inhalasi, SIMPACT

ABSTRACT

ESTIMATION FOR EXTERNAL COST OF RDE FACILITY. A study for calculate the external cost of the RDE nuclear facility has been performed. The calculated external costs are the costs of compensating health impacts for the area or area surrounding the RDE nuclear facility. The health impact is focused on the risk of cancer and specific hereditary effect received by people around the RDE facility due to radionuclide inhalation. The method used is to create an RDE installation model using SIMPACT software. The result of the calculation of SIMPACT is the degree of spread of radionuclides and then converted to the price of cancer risk compensation due to the spread of the radionuclides. The results show that the external costs for fatal cancer risk is 0,00000185 US \$/year, for non-fatal cancer risk is 0,00000482 US \$/year, and for specific disease-specific risk is 0,00001209 US \$/year.

Keywords: RDE, External Cost, Cancer, Inhalation, SIMPACT

PENDAHULUAN

Belum terwujudnya pembangunan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) di Indonesia diantaranya disebabkan karena masih banyak masyarakat yang mengkhawatirkan tentang keamanannya dan belum yakin bahwa bangsa Indonesia mampu membangun dan mengoperasikan reaktor nuklir dengan aman. Kekhawatiran tersebut mengakibatkan gejala penolakan di berbagai daerah, terutama yang daerahnya akan dibangun PLTN. Oleh karena itu, Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) memprakarsai pembangunan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) dengan tujuan untuk mendemonstrasikan PLTN kecil yang beroperasi secara aman. Dengan ini diharapkan kepercayaan masyarakat terhadap keamanan pengoperasian reaktor daya dan kemampuan bangsa Indonesia dalam mengoperasikan reaktor nuklir akan meningkat.

RDE merupakan reaktor nuklir yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik dan pembangkit panas. Reaktor tipe *High Temperature Gas-cooled Reactor* (HTGR) menjadi salah satu pilihan yang dipertimbangkan karena menguntungkan dari sisi ekonomi, keselamatan, infrastruktur, *proliferation resistance* dan proteksi fisik, lingkungan dan limbah. Namun demikian, tidak ada teknologi yang seutuhnya terlepas dari masalah lingkungan, termasuk RDE. Oleh karena itu, kajian mengenai eksternalitas dari fasilitas nuklir RDE menjadi hal yang penting.

Tujuan dari studi ini adalah untuk memperkirakan berapa biaya eksternal dari pengoperasian fasilitas nuklir RDE, yang rencananya akan dibangun di kawasan Puspitpek Serpong. Biaya eksternalitas yang dibahas dalam studi ini adalah biaya yang dikeluarkan sebagai kompensasi atas resiko kesehatan yang diterima oleh masyarakat di area atau wilayah sekitar lokasi RDE, akibat inhalasi radionuklida yang terlepas dari dari fasilitas RDE ke lingkungan.

Modul yang umum digunakan dalam perhitungan biaya eksternal dari pembangkit listrik adalah EcoSense. EcoSense merupakan suatu perangkat lunak terintegrasi yang dikembangkan oleh *European Commission* untuk mendukung pengkajian dampak penting yang disebabkan oleh paparan pencemar, yang tersebar melalui udara terhadap kesehatan manusia, hasil pertanian, bahan bangunan, hutan, dan ekosistem [1]. Modul ini menyajikan model kualitas udara yang selaras dan kajian dampaknya secara bersamaan dengan *database* yang relevan untuk seluruh wilayah Eropa, bahkan telah diadaptasi oleh seluruh negara di dunia. Data yang digunakan sebagai input untuk model ini diantaranya: data mengenai teknologi yang digunakan, data kondisi lingkungan, *Exposure-Response Functions* (ERF), dan nilai ekonomi. Dalam Modul EcoSense, digunakan dua jenis pemodelan udara untuk skala lokal dan regional. Pemodelan kajian dampak ini dilanjutkan dengan perhitungan dampak fisik dan biaya kerusakan, yang disebabkan dari pengoperasian fasilitas pembangkit listrik, dengan menerapkan ERF yang terpilih untuk setiap sel grid, serta mempertimbangkan informasi pada tingkat distribusi reseptor dan tingkat konsentrasi polutan di udara berdasarkan data kondisi lingkungan. Input data serta hasil sementara dapat disajikan dalam format numerik maupun grafis. Informasi geografis seperti distribusi penduduk maupun konsentrasi polutan dapat disajikan dalam bentuk peta. Selanjutnya, EcoSense menghasilkan format laporan dengan dokumentasi rinci sebagai hasil akhir yang dapat diimpor ke dalam program *spreadsheet* [2-4]. Dalam studi ini digunakan *Simplified Approach for Estimating Impacts of Electricity Generation* (SIMPACTS), perangkat lunak yang dikembangkan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA), yang mengadaptasi metode EcoSense ke dalam bentuk yang lebih sederhana.

TEORI

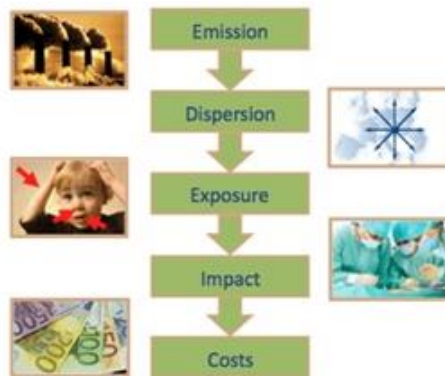
Eksternalitas merupakan suatu efek samping dari aktivitas pihak tertentu terhadap pihak lain yang dapat menguntungkan maupun merugikan. Dalam bidang pembangkit listrik, biaya eksternal menyatakan nilai ekonomi dari kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh pembangkit listrik tersebut. Kerusakan lingkungan yang dimaksud dapat berupa lingkungan alamiah maupun lingkungan buatan, seperti: dampak polusi udara terhadap kesehatan, bangunan, tumbuhan, hutan dan pemanasan global; kecelakaan kerja dan penyakit, serta gangguan kenyamanan karena kebisingan [5].

Aktivitas dari pembangkit listrik, mulai dari pembangunan, pengangkutan bahan bakar, pembangkitan, transmisi dan distribusi, serta pembuangan limbah, merupakan sumber dari munculnya biaya eksternal. Biaya eksternal ini merupakan biaya yang ditanggung masyarakat dan lingkungan yang tidak masuk dalam perhitungan biaya tenaga listrik, baik produsen maupun konsumen. Kontribusi terbesar dari biaya eksternal adalah pada saat pembangkitan yang berupa dampak polusi udara terhadap kesehatan [6].

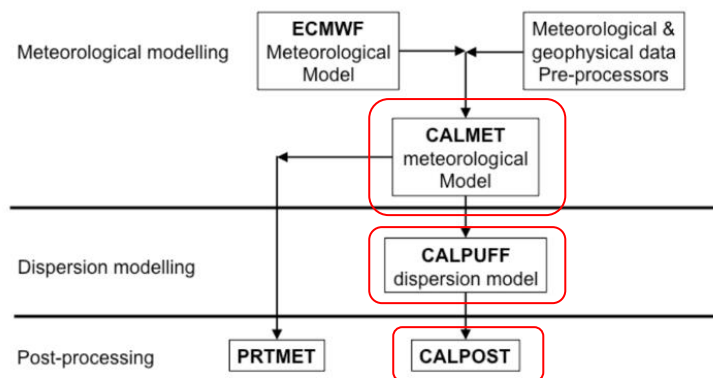
Dalam model SIMPACTS digunakan metode pendekatan *Impact Pathways Analysis* (IPA). Pada metode ini, biaya kerusakan lingkungan akibat pencemaran udara diperkirakan dengan menetapkan nilai ekonomi dari dampak fisik yang disebabkan oleh paparan pencemar dalam konsentrasi tertentu, yang merupakan hasil dari dispersi dan transformasi kontaminan yang diemisikan ke udara oleh sumber pencemar tersebut [7-10]. Secara sederhana, tahapan metode IPA dapat diilustrasikan sebagaimana pada Gambar 1. 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. Selanjutnya dilakukan perhitungan dispersi dan transportasi pencemar untuk menghasilkan nilai konsentrasi pencemar (dosis), mempertimbangkan kondisi cuaca di wilayah yang dianalisis.

Metode yang digunakan oleh SIMPACTS dalam tahap ini yaitu *CALPUFF Modeling System*. Metode ini merupakan suatu model atmosferik yang direkomendasikan oleh *U.S. Environmental Protection Agency* (U.S. EPA) untuk digunakan pada kasus-kasus dengan kondisi permukaan dan angin yang kompleks [1]. Metode ini terdiri dari 3 komponen utama,

diantaranya CALMET, CALPUFF, dan CALPOST. Sistem pemodelan CALPUFF secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1 Tahapan Metode IPA [11]



Gambar 2 Sistem Pemodelan CALPUFF [8]

Kemudian dilakukan analisis jalur paparan pencemar dan proses masuknya pencemar ke dalam tubuh manusia yang terkena dampak paparan tersebut. Jalur paparan pencemar yang paling berdampak terhadap kesehatan masyarakat dari lepasan radionuklida ke atmosfer antara lain melalui pernapasan (inhalasi), paparan eksternal akibat imersi dari radionuklida di udara, paparan eksternal dari deposisi tanah, dan konsumsi makanan (ingesti) yang terkontaminasi akibat deposisi tanah. Setelah itu, dilakukan estimasi dampak fisik dari paparan radionuklida terhadap kesehatan manusia. Dampak fisik diestimasi dengan mengaplikasikan ERF, atau disebut juga dengan *Dose Response Function* (DRF) atau *Concentration Response Function* (CRF). ERF menggambarkan hubungan antara tingkat paparan terhadap dampak, dimana dalam kajian mengenai dampak terhadap kesehatan, diasumsikan bahwa terjadi hubungan yang linier antara tingkat paparan (dosis) dan dampak negatifnya terhadap kesehatan (respon). Bentuk dampak kesehatan akibat paparan radiasi pengion diklasifikasikan ke dalam dua kategori, yaitu efek deterministik dan efek stokastik. Efek deterministik yang dimaksud diantaranya adalah kematian akibat iradiasi sumsum tulang, paru-paru, saluran pencernaan, dan kulit. Sedangkan pada efek stokastik, dosis kolektif penduduk yang terpapar digunakan untuk menghitung dampak kesehatan [9]. Metode ini menggunakan faktor resiko yang direkomendasikan oleh ICRP sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Faktor Resiko [10]

Populasi	Faktor Resiko (per man.Sv)		
	Kanker fatal	Kanker non-fatal	Dampak keturunan yang parah
Masyarakat	0,05	0,12	0,01
Pekerja	0,04	0,12	0,006

Tahap terakhir yaitu menerjemahkan dampak fisik ke dalam istilah ekonomi, yang dikumpulkan dan dinyatakan dalam suatu satuan yang umum digunakan, dengan cara mengalikan dampak fisik yang terjadi dengan satuan biaya dari suatu dampak tersebut. Biaya dampak kesehatan biasanya memperhitungkan biaya pengobatan, upah, dan kerugian yang dihasilkan, serta kemampuan individu untuk membayar pencegahan dampak tersebut.

Angka terjadinya kanker yang diperkirakan untuk masa mendatang dikaitkan langsung dengan dosis yang diterima oleh masyarakat. Jika tidak ada *discount rate* yang diterapkan, jumlah kanker fatal dan non-fatal yang diperkirakan terjadi selama 100.000 tahun digunakan langsung untuk perhitungan dampak ekonomi. Nilai dari penyakit keturunan parah jauh lebih kompleks karena hal tersebut tidak terjadi selama umur hidup orang yang terpapar. Efek akan terjadi selama beberapa generasi setelah paparan terjadi. Sekitar 15% kasus potensial dari penyakit keturunan parah diperkirakan terjadi selama generasi pertama, 12% selama generasi kedua, dan 73% mungkin pada generasi setelahnya [10]. Evaluasi ekonomi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$ECY_k = I_k \times U_k \quad (1)$$

dimana,

ECY_k : Biaya eksternal tahunan dari dampak kesehatan (US\$/tahun)

I_k : Total kejadian dampak kesehatan (kasus/tahun)

U_k : Biaya untuk suatu kejadian dampak kesehatan (US\$/kasus)

METODOLOGI

Perhitungan biaya eksternal dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SIMPACTS yang merupakan perangkat lunak yang dirilis secara resmi oleh IAEA khususnya bidang energi nuklir (*department of nuclear energy*) dan dapat digunakan oleh negara anggota untuk kepentingan penelitian dan pengembangan [11]. Terdapat beberapa tahapan dalam perhitungan dengan SIMPACTS, diantaranya pembuatan kasus, pengisian data input (diantaranya *domain data*, *emission & dispersion*, *pathway analysis*), dan *running program*.

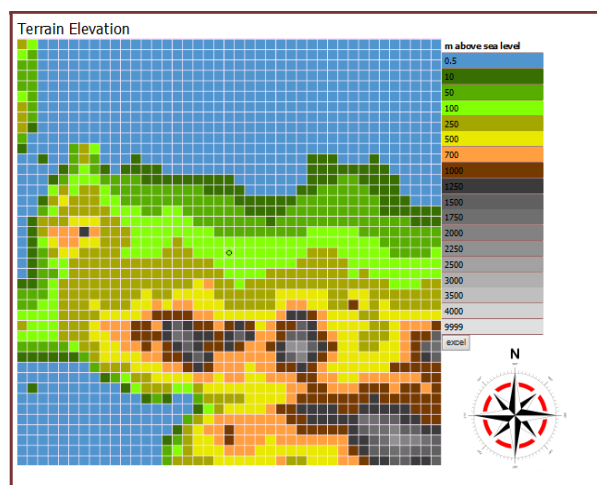
Dilakukan beberapa pembatasan dalam studi ini, diantaranya: jalur paparan radionuklida ke dalam tubuh hanya melalui pernapasan (inhalasi); stabilitas atmosfer (*Pasquill stability class*) D atau pada kondisi normal; data kepadatan penduduk tidak berdasarkan lokasi setiap sel, akan tetapi rata-rata setiap kabupaten/kota yang mungkin diwakili lebih dari satu sel.

1. Pembuatan kasus dan domain

Pada tahap ini ditentukan bahwa sumber pencemar diasumsikan berasal dari fasilitas nuklir RDE yang rencananya akan dibangun di kawasan Puspipetek, Serpong, dengan data input sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.

Edit Domain	
Domain ID	rde
Domain Name	rde serpong
Time Frame	Full year
Cell Size	5x5 km
Latitude	-6.3572
Longitude	106.6603
Save	
Save & run domain preparation	

Gambar 3 Input data domain



Gambar 4 Tampilan area domain

Berdasarkan hasil *running* program dengan data topografi GTOPO 30, diperoleh domain dan seluruh area studi (Gambar 4) mencakup wilayah Banten, DKI Jakarta, sebagian Jawa Barat dan ujung selatan dari Propinsi Lampung. Area laut yang tercakup dalam studi ini adalah Laut Jawa di sebelah utara DKI Jakarta dan Banten, serta Selat Sunda dan sedikit Samudra Hindia. Sementara itu, lokasi fasilitas RDE berada di titik tengah wilayah domain tersebut.

2. Input data sumber emisi dan lepasan radionuklida

Tahap selanjutnya yaitu pengisian data input berupa karakteristik sumber emisi dan radionuklida yang terlepas ke lingkungan. Emisi radionuklida tersebut merupakan produk fisi dari bahan bakar pebble yang telah melalui beberapa mekanisme transportasi selama operasional reaktor. Mekanisme tersebut diantaranya meliputi lepasan produk fisi dari partikel bahan bakar yang disertai produk fisi dari kontaminasi dan logam berat, kemudian terlepas dari matriks bahan bakar/grafit menuju sistem sirkulasi di pendingin primer, selanjutnya terlepas di dalam bangunan reaktor hingga akhirnya terlepas ke atmosfer melalui cerobong [12].

Diasumsikan bahwa fasilitas RDE berada pada elevasi 35 meter, dengan tinggi cerobong 50 meter, diameter 1,5 meter, dan temperatur emisi cerobong 450 K, dengan laju alir 15 m/detik. Diasumsikan pula bahwa fasilitas RDE akan beroperasi sepanjang tahun, maka siklus emisi radionuklida yang keluar dari cerobong diasumsikan konstan. Aktivitas radionuklida yang terlepas ke lingkungan diasumsikan dengan data pada Tabel 2.

Tabel 2 Aktivitas radionuklida yang terlepas ke lingkungan [12]

Jenis Emisi	Aktivitas (Bq/tahun)
H-3	$1,02 \times 10^3$
Kr-85	$1,02 \times 10^{10}$
I-131	$2,62 \times 10^5$
I-133	$5,67 \times 10^5$
Xe-133	$2,39 \times 10^{12}$
Cs-134	$8,35 \times 10^3$
Cs-137	$1,85 \times 10^4$

Penghitungan konsentrasi sebaran radionuklida dilakukan dengan *CALPUFF Modeling System* yang juga terintegrasi dalam SIMPACTS, dengan memperhitungkan kondisi meteorologi berdasarkan ERA-Interim di lokasi domain.

3. Input data *pathway analysis*

Tahap terakhir yaitu pengisian data input untuk *pathway analysis*. Data yang diperlukan dalam tahap ini adalah data kepadatan penduduk pada setiap daerah yang diwakili oleh sel berukuran 5 km x 5 km, dampak kesehatan, dan nilai ekonomi dari dampak tersebut. Perhitungan dosis kolektif diawali dengan menghitung jumlah populasi di suatu daerah yang terpapar radiasi eksternal (P_{xy}), kemudian menghitung radionuklida yang masuk ke dalam tubuh melalui proses inhalasi dengan persamaan sebagai berikut:

$$P_{xy} = G^2 \times \rho_{xy} \quad (2)$$

$$in_{ixy}^{inh} = C_{ixy} \times BR \quad (3)$$

$$E_{ixy}^{inh} = in_{ixy}^{inh} \times EDE_{ixy}^{inh} \quad (4)$$

$$E_{xy}^{inh} = \sum_i E_{ixy}^{inh} \quad (5)$$

$$E^{inh} = \sum_{x=1}^{NX} \sum_{y=1}^{NY} E_{xy}^{inh} \times P_{xy} \quad (6)$$

dimana,

G : ukuran grid untuk masing-masing wilayah dalam domain dampak (km)

ρ_{xy} : kepadatan penduduk di area yang terpapar radiasi eksternal (orang/km²)

in_{ixy}^{inh} : Nilai rata-rata tahunan dari radionuklida i yang terhirup di area yang terpapar radiasi eksternal (Bq/tahun)

C_{ixy} : Konsentrasi radionuklida i di udara dengan ketinggian dekat dengan permukaan tanah di area yang terpapar radiasi eksternal (Bq/m³)

- BR : Laju pernafasan rata-rata tahunan untuk orang dewasa (m^3 /tahun) di asumsikan sebesar $8030 m^3$ /tahun* [13]
 E_{ixy}^{inh} : Dosis individu rata rata tahunan dari inhalasi radionuklida i di area yang terpapar radiasi eksternal (Sv/tahun)
 EDE_{ixy}^{inh} : Dosis ekuivalen efektif selama 50 tahun untuk orang dewasa yang menghirup radionuklida i (Sv/Bq)
 E_{xy}^{inh} : Dosis individu rata rata dari inhalasi semua radionuklida di area yang terpapar radiasi eksternal (Sv/tahun)
 E^{inh} : Dosis kolektif tahunan terhadap domain dampak (man Sv/tahun)

Faktor konversi dosis dari inhalasi untuk beberapa jenis radionuklida dapat dilihat pada Tabel 3. Sedangkan data kepadatan penduduk yang menjadi input meliputi beberapa kabupaten/kota ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 3 Faktor konversi dosis inhalasi (Sv/Bq) [11]

Radionuklida	Umur paruh	Faktor konversi dosis (Sv/Bq)
H-3	12,35 tahun	$4,5 \times 10^{-11}$
Kr-85	10,72 tahun	$2,2 \times 10^{-11}$
I-131	8,04 hari	$2,4 \times 10^{-9}$
I-133	20,8 jam	$5,5 \times 10^{-10}$
Xe-133	5,245 hari	$1,2 \times 10^{-10}$
Cs-134	2,062 tahun	$9,1 \times 10^{-9}$
Cs-137	30,0 tahun	$9,7 \times 10^{-9}$

Tabel 4 Data kepadatan penduduk [14]

Kabupaten/Kota	Dentitas (orang/Km ²)	Kabupaten/Kota	Dentitas (orang/Km ²)
Kabupaten Lampung Selatan	484,59	Kabupaten Bekasi	2556,90
Kabupaten Lampung Timur	189,44	Kabupaten Bogor	1821,63
Kabupaten Lebak	370,58	Kabupaten Cianjur	624,23
Kabupaten Pandeglang	435,01	Kabupaten Karawang	1187,77
Kabupaten Serang	850,09	Kabupaten Purwakarta	931,01
Kabupaten Tangerang	3331,09	Kabupaten Subang	706,58
Kota Cilegon	2348,18	Kabupaten Sukabumi	585,04
Kota Serang	2411,63	Kota Bandung	14750,45
Kota Tangerang	13298,93	Kota Bekasi	12711,05
Kota Tangerang Selatan	10484,47	Kota Bogor	9379,06
DKI Jakarta	15366,85	Kota Cimahi	14237,38
Kabupaten Bandung	2011,85	Kota Depok	10560,08
Kabupaten Bandung Barat	1219,99	Kota Sukabumi	6497,49

Data input dampak diantaranya kanker fatal, kanker non-fatal, dan penyakit turunan yang dimasukkan ke dalam perhitungan, mengikuti *default* yang bersumber dari rekomendasi ICRP [15-17]. Perkiraan kejadian dampak kesehatan manusia dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_k = E^{total} \times RF_k \quad (7)$$

dimana,

- I_k : Total kejadian dampak kesehatan (kasus/tahun)
 E^{total} : Total dosis efektif kolektif pada seluruh penduduk local (man Sv)
 RF_k : Faktor resiko untuk dampak kesehatan (kasus/man Sv)

Secara teoritis, nilai ekonomi spesifik dari masing-masing dampak kesehatan ditampilkan pada Tabel 5.

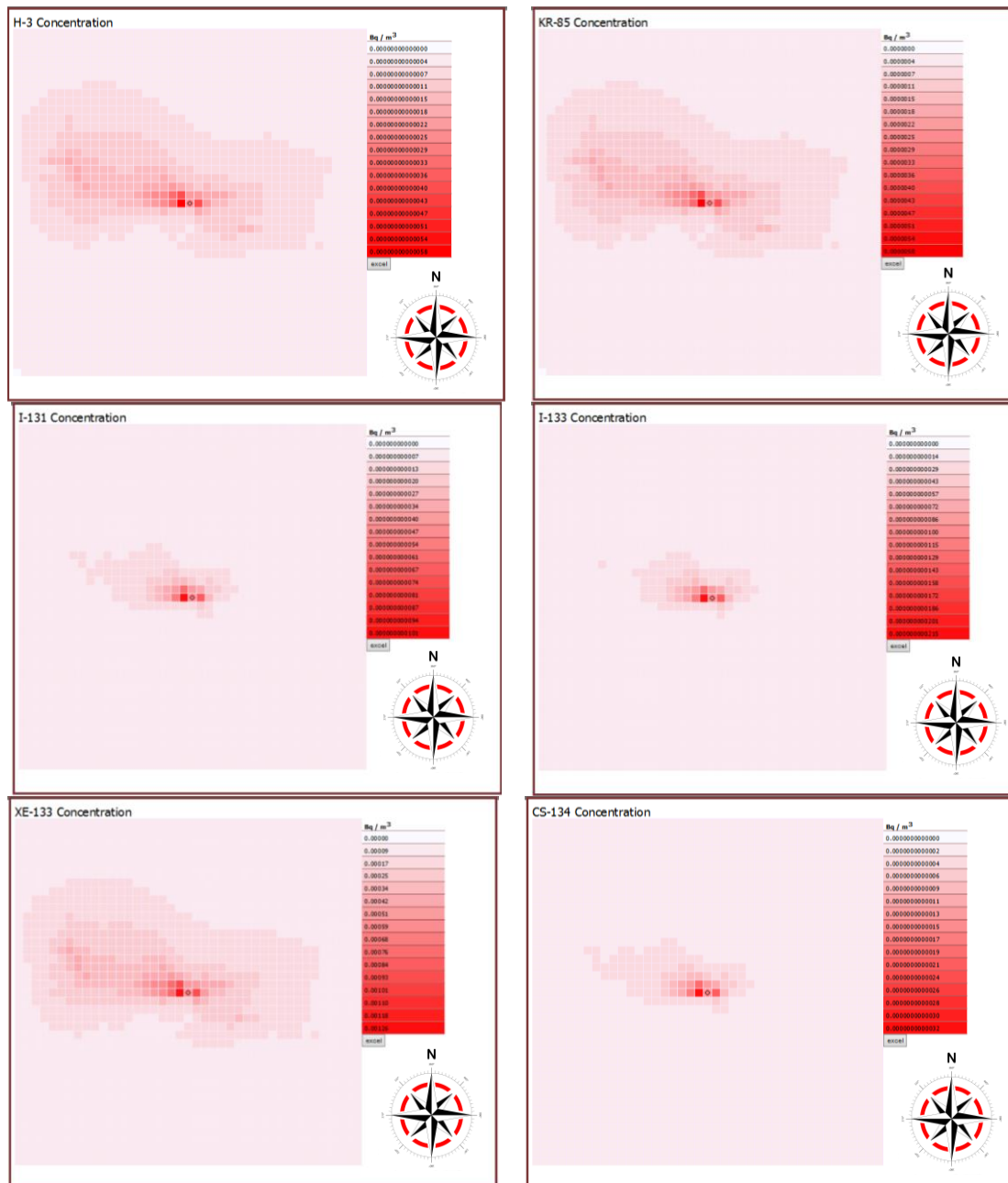
* diasumsikan bahwa total penduduk adalah orang dewasa dengan laju pernafasan standar pria dewasa

Tabel 5 Dampak kesehatan dan nilai ekonominya [18-19]

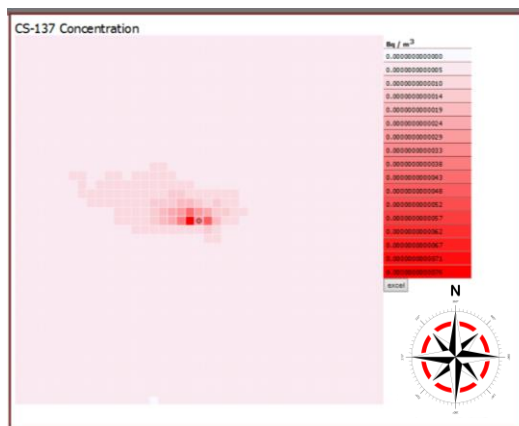
Dampak	Faktor resiko spesifik (cases per man Sv)	Nilai ekonomi spesifik (US\$ constant prices of year 2000)
Kanker fatal	0,05	772,11
Kanker non-fatal	0,12	840,52
Efek turunan spesifik	0,01	25271,60

HASIL DAN PEMBAHASAN

Diperoleh konsentrasi sebaran radionuklida rata-rata selama satu tahun secara berurutan, diantaranya H-3, Kr-85, I-131, I-133, Xe-133, Cs-134, dan Cs-137, pada lokasi domain seperti terlihat pada Gambar 5. Sebaran radionuklida-radionuklida tersebut merata ke semua arah, dan secara tipikal sebaran terpanjang menuju ke arah barat barat laut.

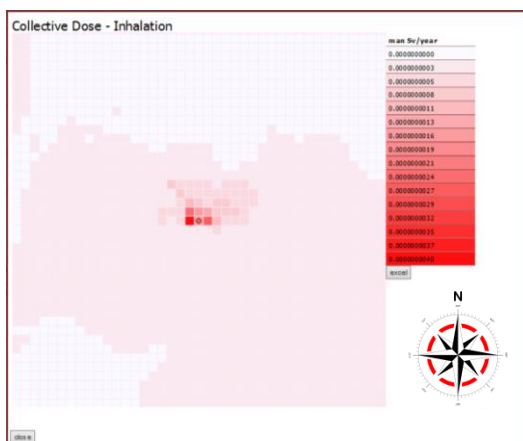


Gambar 5 Sebaran radionuklida



Gambar 6 Sebaran radionuklida (Lanjutan)

Hasil perhitungan dosis kolektif dengan menggunakan SIMPACTS menunjukkan bahwa potensi rerata sebaran penerima dosis kolektif akibat inhalasi radionuklida selama satu tahun cenderung ke arah utara mengikuti arah angin, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6. Nilai dosis kolektif dari inhalasi ketujuh jenis radionuklida dihitung dengan persamaan (2) s.d. (6) pada setiap selnya. Diperoleh nilai dosis kolektif sebesar $4,7845 \times 10^{-8}$ manSv/tahun, dengan dosis tertinggi di area domain sebesar $4,2644 \times 10^{-9}$ manSv/tahun.



Gambar 7 Dosis Kolektif Inhalasi

Dari nilai total dosis kolektif tersebut, selanjutnya dapat diperoleh jumlah dampak kesehatan yang mungkin akan terjadi selama satu tahun, dengan memperhitungkan faktor resiko dari masing-masing dampak, menggunakan persamaan (7), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Dampak kesehatan yang mungkin terjadi

Dampak kesehatan	Kejadian dampak (kasus/tahun)
Kanker fatal	$2,39 \times 10^{-9}$
Kanker non-fatal	$5,74 \times 10^{-9}$
Penyakit turunan spesifik	$4,78 \times 10^{-10}$
Total	$8,61 \times 10^{-9}$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diperoleh bahwa dalam kurun waktu 1 tahun kasus kesehatan yang terjadi sebanyak 0,00000000861 kasus. Angka ini sangat kecil, dan dapat dikatakan kemungkinan terjadi kasus kesehatan akibat fasilitas RDE sangat kecil.

Setelah diketahui jumlah kejadian dampak yang mungkin terjadi, dalam satu tahun maka besarnya biaya kerugian yang harus ditanggung dari dampak tersebut dapat diketahui, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Biaya eksternal

Dampak kesehatan	Biaya kerugian (US\$/tahun)
Kanker fatal	0,00000185
Kanker non-fatal	0,00000482
Penyakit turunan spesifik	0,00001209
Total	0,00001876

Namun demikian, nilai biaya eksternal tersebut merupakan perkiraan biaya kerugian yang harus ditanggung masyarakat dan lingkungan dari operasi normal RDE, yang mana lepasan radionuklidanya khusus yang tersebar di atmosfer dan hanya masuk ke dalam tubuh melalui jalur inhalasi. Sedangkan, jalur paparan pencemar yang berdampak pada kesehatan masyarakat akibat lepasan radionuklida selain melalui inhalasi, juga dapat terjadi melalui imersi dan paparan eksternal radionuklida, serta ingesti bahan makanan yang terkontaminasi baik melalui udara, tanah, maupun perairan. Maka dari itu, perlu dilakukan kajian lebih lanjut mengenai perhitungan biaya eksternal RDE dari jalur paparan lainnya itu.

KESIMPULAN

Biaya eksternal dari operasi normal fasilitas RDE, berdasarkan perhitungan dengan SIMPACTS, diperkirakan tidak lebih dari 0,00001876 US\$/tahun. Nilai tersebut merupakan jumlah total kerugian yang harus ditanggung masyarakat jika terkena dampak kesehatan akibat paparan radionuklida yang masuk ke dalam tubuh hanya melalui jalur inhalasi. Biaya tersebut diantaranya kerugian akibat kanker fatal sebesar 0,00000185 US\$/tahun, kanker non-fatal sebesar 0,00000482 US\$/tahun, dan kerugian akibat penyakit turunan sebesar 0,00001209 US\$/tahun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Suparman yang telah mendukung peningkatan kompetensi SDM melalui pelatihan E-learning SIMPACTS IAEA.

DAFTAR PUSTAKA

1. MACINTOSH D.L., STEWART J.H., MYATT T.A., SABATO J.E., FLOWERS G.C., BROWN K.W., HLINKA D.J., SULLIVAN D.A., "Use CALPUFF for Exposure Assessment in A Near-Field, Complex Terrain Setting", *Atmospheric Environment*, Vol.44, pp.262-270 (2010).
2. EUROPEAN COMMISSION, "ExternE: Externalities of Energy Vol.5:Nuclear", Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (1995).
3. EUROPEAN COMMISSION, "ExternE: Externalities of Energy Vol. XX: National Implementation", Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (2005).
4. EUROPEAN COMMISSION, "ExternE: Externalities of Energy Methodology 2005 Update", Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg (2005).
5. STREIMIKIENE D., ROOS I., REKIS J., "External Cost of Electricity Generation in Baltic States", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.13, pp.863-870 (2009).
6. SUGIYONO A., "Biaya Eksternal dari Pembangkit Listrik Batubara", *Prosiding Seminar Akademik Ilmu Ekonomi 2005*, <https://www.researchgate.net>, 2005. Diakses tanggal 31 Maret 2017.
7. LUDWIG F.L., GASIOREK L.S., RUFF R.E., "Simplification of a Gaussian Puff Model for Real-time Minicomputer Use", *Atmospheric Environ.*, Vol.11, pp.431-436 (1997).
8. SCIRE J.S., STRIMAITIS D.G., YAMARTINO R.J., "A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model (Version 5)", Earth Tech Inc. (2000).
9. NRPB, "Committed Equivalent Organ Doses and Committed Effective Doses from Intakes of Radionuclides", National Radiological Protection Board, M-288 and R-245, Chilton, UK (1991).
10. ICRP, "The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection", Publication 103, *Annals of the ICRP*, Elsevier, Sweden (2007).

11. IAEA, "Training Course on Assessment of Environmental Damage from various Electricity Generation Technology with SIMPACTS", Department of Nuclear Energy-IAEA, Vienna (2016).
12. UDIYANI P.M., KUNTJORO S., "Estimating of Routine Discharge of Radionuclides on Power Reactor Experimental RDE", Urania, Vol.23, pp.45-56 (2017).
13. ICRP, "Report of the Task Group on Reference Man, Report 23", Annals of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, UK (1974).
14. BADAN PUSAT STATISTIK, "Indonesia dalam Angka 2016", BPS, Jakarta, (2016).
15. HAINOUN A., ALMOUSTAFA A., ALDIN M.S., "Estimating the Health Damage Costs of Syrian Electricity Generation System Using Impact Pathway Approach", Energy, Vol.35, pp.628-638 (2010).
16. LEVY J.I., SPENGLER J.D., HLINKA D., SULLIVAN D., MOON D., "Using CALPUFF to Evaluate the Impacts of Power Plant Emissions in Illinois: Model Sensitivity and Implications", Atmospheric Environment, Vol.36, pp.1063-1075 (2002).
17. KATATA G., CHINO M., KOBAYASHI T., TERADA H., OTA M., NAGAI H., KAJINO M., DRAXLER R., HORT M.C., MALO A., TORII T., SANADA Y., "Detailed Source Term Estimation of the Atmospheric Release for the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident by Coupling Simulations of an Atmospheric Dispersion Model with an Improved Deposition Scheme and Oceanic Dispersion Model", Atmospheric Chemistry and Physics, Vol.15, pp.1029-1070 (2015).
18. LEE S.H., KANG H.G., "Integrated Framework for the External Cost Assessment of Nuclear Power Plant Accident Considering Risk Aversion: The Korean Case", Energy Policy, Vol.92, pp.111-123 (2016).
19. ZHOU Y., LEVY J.I., HAMMITT J.K., EVANS J.S., "Estimating Population Exposure to Power Plant Emissions Using CALPUFF: A Case Study in Beijing, China", Atmospheric Environment, Vol.37, pp.815-826 (2003).

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: Denissa Beauty Syahna (PKSEN–BATAN)

- Dari hasil dan pembahasan diperoleh sebaran radionuklida terpanjang menuju ke arah barat laut, ini dari tapak RDE menuju arah barat laut kah?
- Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan angka yang kecil dan kemungkinan terjadi kasus kesehatan akibat fasilitas RDE sangat kecil. Jika ekstrimnya terjadi kecelakaan RDE hingga radionuklidanya lepas dari cerobong, apakah para pekerja di RDE juga mendapatkan dampak kesehatan yang kecil?

JAWABAN: Sufiana Solihat (PKSEN - BATAN)

- Iya, berdasarkan pemodelan dengan SIMPACTS sebaran radionuklida rata-rata setahun menuju arah barat laut dari tapak RDE.
- Dapat dikatakan demikian, akan tetapi kejadian kecelakaan sangat tidak diinginkan. Oleh sebab itu operasional fasilitas nuklir, termasuk RDE, memerlukan pengawasan dan perhatian yang seksama agar dapat beroperasi dengan aman dan selamat.

2. PERTANYAAN: Abimanyu Bondan (PKSEN–BATAN)

- Untuk ke depannya bagaimana cara membedakan dampak paparan radionuklida yang diterima masyarakat dari RDE dan dari RSG GA Siwabessy? Mengingat di lokasi yang berdekatan ada 2 instalasi nuklir.

JAWABAN: Sufiana Solihat (PKSEN - BATAN)

- Cukup sulit untuk membedakan paparan radionuklida apakah berasal dari RDE atau RSG GA Siwabessy, mengingat saat ini RDE masih dalam tahap desain, akan tetapi jika RDE telah beroperasi, lepasannya dapat diidentifikasi dan dampaknya baru dapat diprediksi dan dibandingkan dengan lepasan RSG GA Siwabessy.

ANALISIS DISTRIBUSI TEMPERATUR KANAL TERPANAS TERAS REAKTOR TRIGA BANDUNG BERBAHAN BAKAR PELAT MENGGUNAKAN PROGRAM CFD

V.Indriati Sri Wardhani¹, Henky P. Rahardjo¹ dan Surip Widodo²

¹Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT-BATAN) - Bandung 40132

²Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN-BATAN, Kawasan Puspiptek Gd. 80, Serpong, Tangerang Selatan 15310
email: vero@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS DISTRIBUSI TEMPERATUR KANAL TERPANAS TERAS REAKTOR TRIGA BANDUNG BERBAHAN BAKAR PELAT MENGGUNAKAN PROGRAM CFD. Unjuk kerja sistem pendinginan dalam teras reaktor merupakan salah satu faktor yang harus dipertimbangkan untuk memberikan jaminan operasi reaktor secara aman. Perlu dilakukan analisis pada proses perpindahan panas dan berbagai parameter-parameter aliran yang terjadi di teras reaktor seperti distribusi temperatur, tekanan, kecepatan, laju alir massa dan pola aliran fluida yang terjadi. Dalam rangka mendukung program konversi reaktor TRIGA dari bahan bakar silinder menjadi bahan bakar pelat, maka akan dilakukan analisis dari berbagai parameter di atas untuk mendukung unjuk kerja sistem pendinginannya. Analisis dilakukan menggunakan program Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan membuat suatu pemodelan satu bundel bahan bakar yang terpanas. Program ini membantu untuk memecahkan persamaan matematis yang merumuskan proses dinamika fluida dalam menggambarkan fenomena aliran fluida yang terjadi. Dalam makalah ini dilakukan analisis konservatif pada bundel bahan bakar terpanas dalam teras reaktor meliputi distribusi temperatur, tekanan dan laju alir fluida pendingin yang melewati kanal atau celah di antara pelat dalam satu bundel bahan bakar. Distribusi temperatur dan tekanan yang diperoleh dari analisis tersebut dapat digunakan untuk memprediksi tingkat keadaan termohidrolik pendingin teras reaktor TRIGA pelat pada saat satu fasa atau dua fasa, yang sangat berarti bagi unjuk kerja pendingin. Diharapkan hasilnya dapat mewakili unjuk kerja teras reaktor TRIGA berbahan bakar pelat secara keseluruhan sehingga dapat dinyatakan bahwa operasi reaktor berjalan dengan aman. Dari hasil analisis diperoleh temperatur maksimum pelat 333 K, sementara temperatur maksimum fluida di daerah paling dekat dengan pelat sebagai sumber panas adalah 329K.

Kata kunci : konversi, pelat, bundel, bahan bakar, kanal.

ABSTRACT

TEMPERATURE DISTRIBUTION ANALYSIS OF THE HOTTEST FUEL BUNDLE OF THE REACTOR TRIGA BANDUNG FUELED PLATES BY USING CFD PROGRAM. The cooling system performance in the reactor core is one of the factors that must be considered to provide safe reactor operation assurance. The heat transfer process and various flow parameters that occur in the reactor core such as temperature distribution, pressure, velocity, mass flow rate and fluid flow pattern occur need to be analyzed. In order to support the TRIGA reactor conversion program from cylinder fuel to plate fuel, the various parameters above, on supporting the performance of cooling system, to be analyzed. The analysis was done by using Computational Fluid Dynamics CFD program by creating a model of one of the hottest fuel bundles. This program helps to solve mathematical equations that formulate fluid dynamics processes in describing fluid flow phenomena that occur. In this paper, a conservative analysis of the hottest fuel bundles in the reactor core includes temperature distribution, pressure distribution and flow rate of the cooling fluid passing through the canal or gap between the plates in a bundle of fuel. The temperature distribution and pressure distribution result can be used to predict the level of thermohydraulic condition of the TRIGA reactor core cooling plate at one phase or two phases, which is of great significance to the performance of the cooling system. It is expected that the results can represent the overall performance of the TRIGA reactor core and so that it can be stated that the operating reactor in safely condition. From the analysis results the maximum temperature plate is 333 K, while the maximum temperature fluids nearest to the plate as a source of heat is 329K.

Keywords: conversion, plate, bundle, fuel, canal.

PENDAHULUAN

Reaktor TRIGA Bandung menggunakan bahan bakar berbentuk batangan dengan bentuk teras annular, pada tahun 2000 mengalami peningkatan daya reaktor yang dikenal dengan upgrading reaktor dari daya 1000 kW menjadi 2000 kW dengan melakukan penambahan ukuran dan susunan teras berubah menjadi bentuk hexagonal. Reaktor didinginkan dengan cara konveksi alamiah di mana pipa inlet ditempatkan di bagian bawah teras sedangkan pipa outlet dipasang dekat permukaan tanki. Sistem pendingin terdiri dari dua loop yaitu loop primer dan loop sekunder. Reaktor ini dipergunakan untuk penelitian, teras reaktor dilengkapi dengan fasilitas irradiasi untuk melakukan eksperimen, irradiasi cuplikan dan produksi radioisotop. Bahan bakar yang berbentuk batangan hanya diproduksi oleh General Atomic USA sedangkan di Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir BATAN di Serpong telah dapat membuat sendiri bahan bakar tipe pelat yang telah digunakan untuk reaktor Serpong. Penguasaan teknologi bahan bakar tipe pelat, ditambah dengan kemampuan dalam melakukan analisis neutronik maupun termohidrolik serta pengalaman rancang bangun SIK reaktor berbasis komputer dapat menjadi modal bagi BATAN sebagai pengelola reaktor TRIGA di Indonesia untuk melakukan lompatan teknologi guna mempertahankan agar reaktor TRIGA 2000 Bandung tetap beroperasi di Indonesia untuk waktu yang lama[1]. Berkaitan dengan hal di atas maka peneliti BATAN khususnya PSTNT dan beberapa unit kerja terkait merencanakan suatu bentuk konversi reaktor TRIGA 2000 Bandung dengan mengganti bahan bakar berbentuk batang menjadi bentuk pelat dengan memanfaatkan bahan bakar buatan BATAN sendiri, sehingga tidak tergantung pasokan bahan bakar dari negara lain[2],[3]. Salah satu kegiatan penelitian yang perlu dilakukan untuk mendukung program konversi reaktor TRIGA pelat ini adalah melakukan analisis unjuk kerja sistem pendinginan teras reaktor, unjuk kerja sistem pendinginan dalam teras reaktor merupakan salah satu faktor yang harus dipertimbangkan untuk memberikan jaminan operasi reaktor secara aman.

Kemampuan sistem pendingin dapat diketahui dari beberapa parameter termohidrolik meliputi distribusi temperatur dan tekanan serta laju alir fluida pendingin. Oleh karena itu dalam makalah ini dilakukan analisis konservatif bundel bahan bakar yang terpanas, analisis dilakukan menggunakan program CFD[4]. Program ini mampu memprediksi aliran fluida dan proses perpindahan panas yang terjadi berdasarkan bentuk pemodelan yang dibuat. Persamaan matematis yang merumuskan proses dinamika fluida yang menggambarkan fenomena aliran fluida yang terjadi diselesaikan menggunakan persamaan Navier-Stokes dengan teknik solusi diskritisasi atau metode numerik.

Hasil analisis berupa parameter-parameter termohidrolik meliputi distribusi temperatur, tekanan, kecepatan serta laju alir fluida pendingin. Parameter termohidrolik ini dipergunakan untuk memprediksi tingkat keadaan termohidrolik pendingin teras reaktor TRIGA pelat pada saat satu fasa atau dua fasa. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat mewakili unjuk kerja teras reaktor TRIGA berbahan bakar pelat secara keseluruhan sehingga dapat dinyatakan bahwa operasi reaktor berjalan dengan aman.

TEORI/POKOK BAHASAN/PEMODELAN

Aliran kanal melibatkan aliran-aliran dari cairan di dalam kanal atau saluran yang tidak terisi sepenuhnya. Gaya penggerak utama dari aliran-aliran ini adalah berat fluida antara lain gaya gravitasi fluida untuk mengalir turun. Ada banyak cara untuk mengklasifikasikan sebuah aliran yaitu sedang berkembang, berkembang penuh, laminar, turbulen dan sebagainya. Jenis aliran yang terjadi tergantung pada bilangan Reynolds, $Re = \rho v R_h / \mu$ di mana v adalah kecepatan rata-rata fluida dan R_h adalah jari-jari hidrolis dari kanal. Aturan umumnya adalah bahwa aliran kanal terbuka laminar jika $Re < 500$, turbulen jika $Re > 12500$ dan selain harga itu adalah aliran transisi[5],[6].

Fluida yang mengalir pada suatu permukaan benda, baik aliran tersebut laminar maupun turbulen, maka partikel-partikel di sekitar permukaan bergerak lambat akibat gaya viskos. Partikel-partikel fluida yang dekat ke permukaan menempel pada permukaan tersebut dan kecepatannya relative nol terhadap batas. Sementara fluida yang lain berusaha untuk bergerak lambat di atas partikel yang relative diam sebagai akibat interaksi antara gerakan fluida yang lebih cepat dan fluida yang lebih lambat. Hal ini merupakan fenomena yang dapat meningkatkan gaya atau tegangan geser. Lapisan yang kecepatannya terpengaruh oleh tegangan geser akibat viskositas disebut lapisan batas (*boundary layer*). Tipe aliran yang ada dalam mekanika dan dinamika fluida umumnya dibagi menjadi tiga, yaitu; Aliran laminar adalah aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, atau lamina-

lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar, viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan relative antara lapisan; Aliran turbulen adalah Aliran yang memiliki *streamline* berputar dan tidak beraturan (menimbulkan olakan yang tidak teratur); Aliran transisi adalah aliran yang merupakan aliran peralihan dalam aliran laminar menjadi aliran turbulen[7],[8]. Terjadinya lapisan batas seperti yang dijelaskan di atas tidak memperhatikan adanya perpindahan panas, sedangkan dalam bidang aerodinamika sering ditemukan adanya pelat panas yang dialiri oleh fluida[9],[10].

Computational Fluid Dynamics (CFD) merupakan perangkat lunak yang mampu menyelesaikan berbagai jenis aliran fluida dengan cara mensimulasikan aliran fluida inkompresibel/kompresibel, tunak/taktunak, aliran laminar/turbulen, aliran fluida Newtonian/non Newtonian, perpindahan panas konveksi baik konveksi alamiah maupun konveksi paksa dan gabungan konduksi/konveksi[11]. Persamaan atur dinamika fluida yang mampu menyelesaikan keanekaragaman aliran fluida adalah persamaan *Navier – Stokes*[12].

$$\frac{Dv_i}{Dt} = \frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial \phi_i}{\partial x_i} - \alpha \frac{\partial p}{\partial x_i} + \alpha \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ 2\mu \left[e_{ij} - \frac{1}{3}(\nabla \cdot V) \right] \delta_{ij} \right\} \dots\dots\dots(1)$$

$$= -\frac{\partial \phi}{\partial x_j} - \alpha \frac{\partial p}{\partial x_i} + \alpha \frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ \mu \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \right\}$$

Perangkat lunak *CFD* tersebut mampu menyelesaikan persamaan *Navier – Stokes* dengan dasar persamaan kekekalan massa (kontinuitas), kekekalan momentum serta kekekalan energi untuk aliran fluida yang melibatkan proses perpindahan panas[13].

- Persamaan kekekalan massa (kontinuitas)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial x_i} (\rho \mu_i) = S_m \dots\dots\dots(2)$$

- Persamaan kekekalan momentum

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \mu_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \mu_i \mu_j) = \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} + \rho g_i + F_i \dots\dots\dots(3)$$

- Persamaan kekekalan energi

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \mu_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i} (k + k_i) \frac{\partial T}{\partial x_i} - \frac{\partial}{\partial x_i} \sum_j h_j + \frac{Dp}{Dt} + (r_j)_{\dots} \frac{\partial \mu_i}{\partial x_i} + S_h \dots\dots\dots(4)$$

Dalam melakukan analisis menggunakan program *CFD* ini diperlukan beberapa tahapan antara lain memilih bentuk persamaan matematis dan diskritisasi persamaan untuk mendapatkan analogi numerik, pembentukan grid, penerapan kondisi awal dan kondisi batas, metode penyelesaiannya secara iteratif dengan memilih penerapan parameter kontrol untuk mengatur kriteria konvergensi. Tahapan-tahapan tersebut diselesaikan dalam elemen-elemen yang terkandung dalam perangkat lunak *CFD* yang terdiri dari 3 buah elemen yaitu Pre-processor untuk input geometri, membentuk grid serta mendefinisikan parameter; Solusi matematis menggunakan 3 metode yaitu beda hingga, elemen hingga dan volume hingga; Post-processor untuk mengolah hasil perhitungan matematis dan menampilkannya dalam bentuk grafik dan data[14],[15].

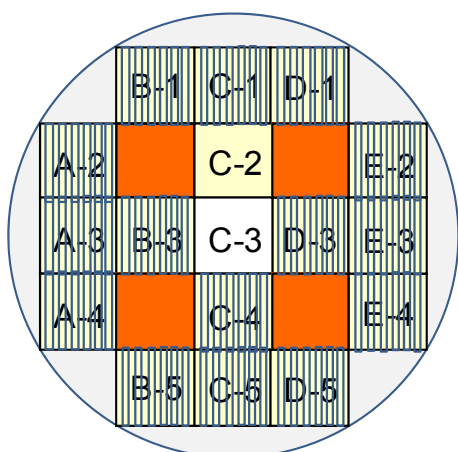
METODOLOGI

Perangkat lunak yang digunakan dalam analisis adalah program *CFD*, yang mana dalam satu paket program *CFD* ini terdapat program *Gambit* dan program *Fluent*. *Gambit* digunakan untuk pembuatan geometri model dan melakukan proses *meshing*, serta pengecekan kualitas mesh sesuai dengan standar yang diinginkan. Jenis mesh bisa terstruktur atau tidak terstruktur, tergantung kompleksitas bentuk geometri yang dianalisis. Jenis kondisi batas dari masing-masing *face* yang terbentuk juga ditentukan dalam *Gambit*. Model geometri yang terbentuk dengan mesh selanjutnya di ekspor dari *Gambit* untuk dieksekusi dengan program *Fluent*. Selanjutnya dalam program *Fluent*, langkah pertama yang dilakukan adalah pemberian skala geometri, disesuaikan dengan kondisi aktualnya. Chek grid, untuk memastikan bahwa tidak terdapat volume negative dari semua cell volume grid. Tentukan material pelat dan fluida kerja dalam kasus ini adalah air (H₂O).

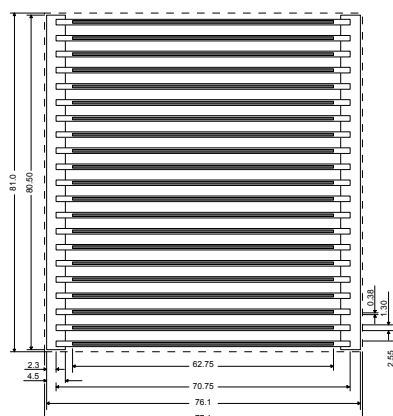
Definisikan model viskos, kondisi operasi, dan nilai kondisi batas, yang mana jenis kondisi batas telah didefinisikan dalam program Gambit. Tentukan parameter kontrol untuk mengatur konvergensi, dan tentukan nilai awal iterasi untuk memulai iterasi perhitungan. Hasil perhitungan akan ditampilkan dalam bentuk grafik dan kontur untuk masing-masing parameter fisis fluida.

3.1 Gambaran Permasalahan

Gambar penampang reaktor TRIGA, yang terdiri atas 21 bundel bahan bakar, dapat dilihat pada Gambar 1a. Untuk simulasi dinamika komputasional dengan model reaktor TRIGA yang lengkap seperti Gambar 1a, akan diperlukan jumlah grid (memori) yang sangat besar dan memerlukan waktu perhitungan yang sangat lama. Oleh karena itu, sebagai langkah awal, dilakukan analisis untuk 1 (satu) bundel bahan bakar terpanas dari reaktor TRIGA tersebut.



Gambar 1a. Penampang reaktor TRIGA

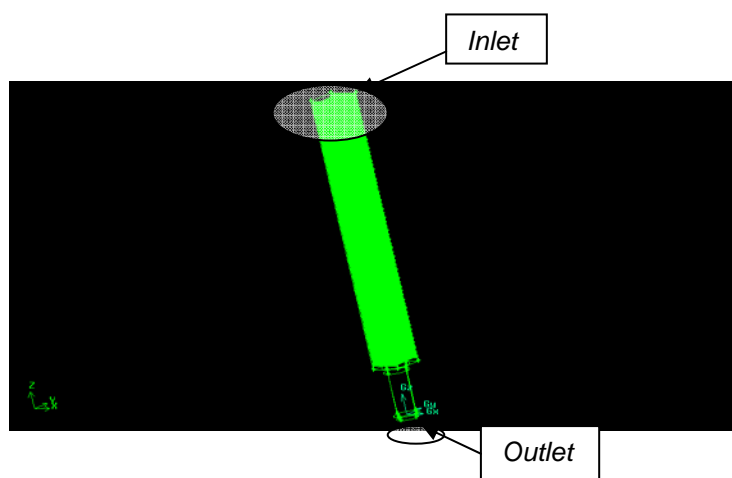


Gambar 1b. Bentuk model yang dianalisis

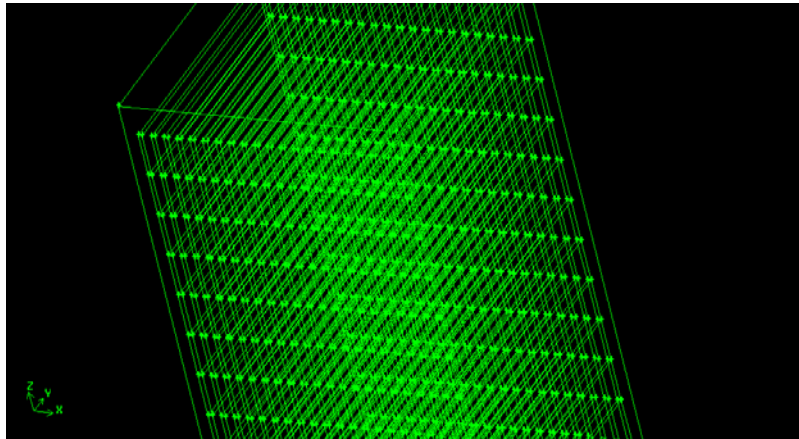
Model fisis yang dianalisis adalah aliran fluida (air) yang mengalir dalam 1 (satu) bundel bahan bakar yang terdiri atas 21 pelat, seperti Gambar 1b.

3.2 Penyiapan Geometri Model Dengan Program CFD.

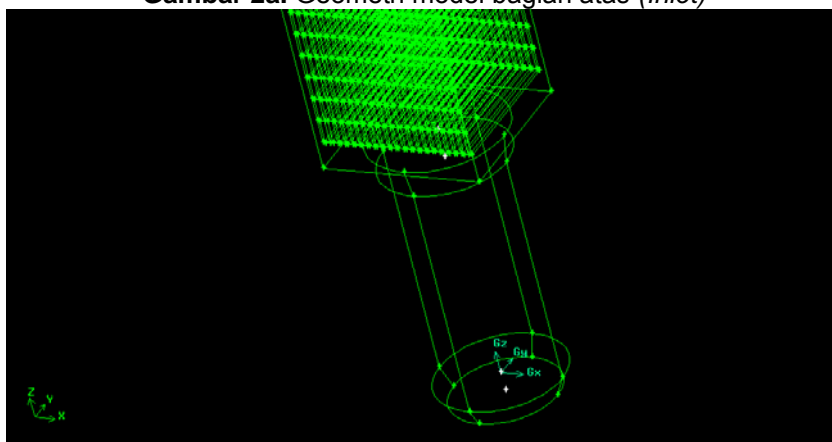
Geometri model, grid, dan jenis kondisi batas (*Inlet*, *Outlet*, dan *Wall*) model di bentuk dalam program *Fluent* dengan menggunakan program *Gambit*. Masing-masing pelat dibagi menjadi 60 buah *face* di mana masing-masing *face* merupakan sumber panas dengan fluks panas bervariasi dalam arah aksial. Gambar model dalam bentuk keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 2, yang lebih didetailkan dengan Gambar 2a untuk gambar model bagian atas (sisi *Inlet*), dan Gambar 2b untuk gambar model bagian bawah (sisi *Outlet*).



Gambar 2. Geometri model penuh



Gambar 2a. Geometri model bagian atas (*Inlet*)



Gambar 2b. Geometri model bagian bawah (*Outlet*)

3.2 Penyiapan Grid dan Kondisi Batas

Dengan bentuk geometri model yang dianalisis cukup kompleks, maka jenis grid yang di pergunakan adalah grid tidak terstruktur. Kondisi batas yang diaplikasikan adalah tipe *Inlet* (masuk), *Outlet* (keluaran), *Wall* (dinding), serta besaran fluks panas pelat yang bervariasi dalam arah aksial untuk 60 *face* yang telah ditentukan.

3.2.1 Kondisi Batas Masukan

Kondisi batas masukan didefinisikan dengan laju alir masuk, dengan data masukan sebagai berikut :

- Material fluida: air (H₂O) viskos
- Laju alir: 3.35 kg/s
- Temperatur: 308 K
- Model Turbulensi: k-epsilon

3.2.2 Kondisi Batas Fluks Panas

Dalam 1 (satu) bundel bahan bakar, terdapat 21 pelat, yang masing-masing pelat dibagi menjadi 60 *face* dalam arah aksial. Nilai variasi fluks panas diaplikasikan pada 60 *face* tersebut pada salah satu sisi pelat. Nilai variasi fluks panas dapat dilihat pada Tabel 1. Temperatur dinding yang lain dari bagian model ditentukan sebagai temperatur kamar. Parameter-parameter yang lain seperti *check dan scale grid*, *solution control*, *residual monitor* dan lain sebagainya ditentukan dengan fasilitas yang terdapat dalam program *Fluent*.

Tabel 1. Nilai variasi fluks panas

zone	FA	Area base	
		62.75 x 600	70.76 x 723
1	0.26	36692.4	27003.2
2	0.24	33773.7	24855.2
3	0.24	33634.7	24752.9
4	0.25	34885.6	25673.5
5	0.27	36831.4	27105.5
6	0.28	39472.1	29048.9
7	0.30	42251.8	31094.6
8	0.33	45170.6	33242.6
9	0.35	48228.3	35492.8
10	0.37	51286.0	37743.1
11	0.39	54482.6	40095.6
12	0.42	57679.3	42448.2
13	0.44	61015.0	44903.0
14	0.46	64211.7	47255.6
15	0.49	67547.4	49710.4
16	0.51	71022.0	52267.5
17	0.54	74357.7	54722.4
18	0.56	77971.3	57381.8
19	0.59	81446.0	59938.9
20	0.61	85198.6	62700.6
21	0.64	88951.3	65462.3
22	0.67	92842.9	68326.2
23	0.70	96873.5	71292.5
24	0.73	101182.1	74463.3
25	0.76	105768.6	77838.7
26	0.80	110911.1	81623.3
27	0.84	116748.5	85919.2
28	0.89	124114.8	91340.3
29	0.96	133843.9	98500.2
30	1.07	148159.4	109035.6
31	1.22	169007.4	124378.3
32	1.35	186936.6	137573.0
33	1.44	200696.3	147699.2
34	1.52	210842.3	155166.0
35	1.57	218625.5	160894.0
36	1.62	224463.0	165189.9
37	1.65	228910.5	168463.0
38	1.67	232107.2	170815.6
39	1.69	234331.0	172452.1
40	1.70	235720.8	173475.0
41	1.70	236137.8	173781.8
42	1.70	235720.8	173475.0
43	1.69	234470.0	172554.4

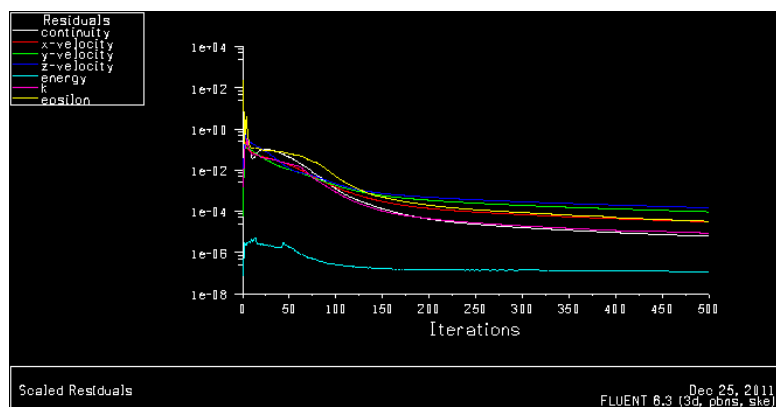
44	1.67	232524.2	171122.4
45	1.65	229744.4	169076.7
46	1.63	226130.8	166417.3
47	1.60	221961.2	163348.8
48	1.56	216957.7	159666.5
49	1.52	211259.2	155472.9
50	1.47	204865.9	150767.8
51	1.43	198055.5	145755.8
52	1.37	190550.3	140232.4
53	1.32	182906.0	134606.8
54	1.26	175122.8	128878.8
55	1.21	167617.5	123355.4
56	1.16	161085.2	118548.1
57	1.13	156637.6	115274.9
58	1.12	156081.7	114865.8
59	1.17	162475.0	119570.9
60	1.30	180960.2	133174.8

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah geometri model, grid, serta kondisi batas secara lengkap sudah dipenuhi, maka mulai dilakukan perhitungan dengan memasukkan harga awal untuk memulai iterasi. Hasil perhitungan berupa distribusi temperatur, kecepatan dan tekanan fluida dapat ditampilkan dalam bentuk grafik 2D, vektor maupun kontur.

4.1 Kurva Konvergensi

Kriteria konvergensi perhitungan dapat ditentukan dari bentuk kurva konvergensi terhadap jumlah iterasi seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Selain dari pada itu, tingkat konvergensi dapat juga dilihat hasil kontur temperatur maupun tekanan yang tergambar pada model dari hasil perhitungan. Iterasi akan dapat dikatakan konvergen bila gambar kontur temperatur maupun tekanan sudah kontinyu atau degradasi warna dalam kontur yang terbentuk sudah “smooth”

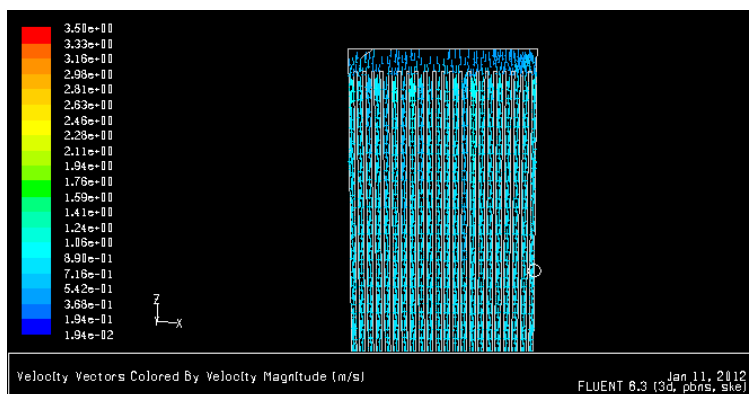


Gambar 3. Kurva Iterasi terhadap Residu

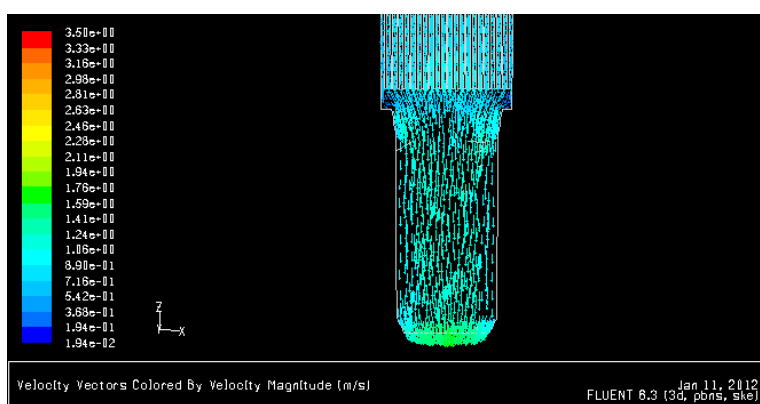
4.2 Vektor Kecepatan Fluida

Fluida (air) akan mengalir dalam celah sempit, ruang di antara pelat. Dengan setting kondisi batas laju alir sebesar 3,35 kg/s, kecepatan pada saat melalui penampang *inlet* adalah sebesar kurang lebih 0,0194 m/s, kemudian akan mengalami percepatan saat melalui celah sempit antara pelat, dan kecepatan akan menjadi sebesar kurang lebih 3,5 m/s, pada saat melalui penampang *outlet*, penampang bagian bawah model. Gambar 4a.

dan Gambar 4b. masing-masing menunjukkan vektor kecepatan model bagian atas (sisi *inlet*) dan model bagian bawah (sisi *outlet*)



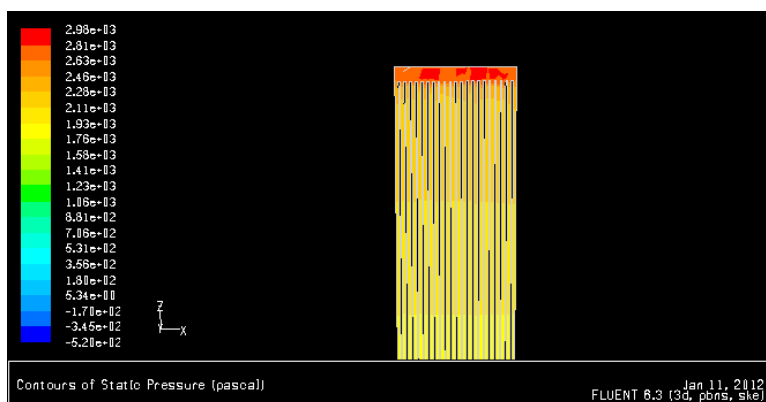
Gambar 4a. Vektor kecepatan model bagian atas



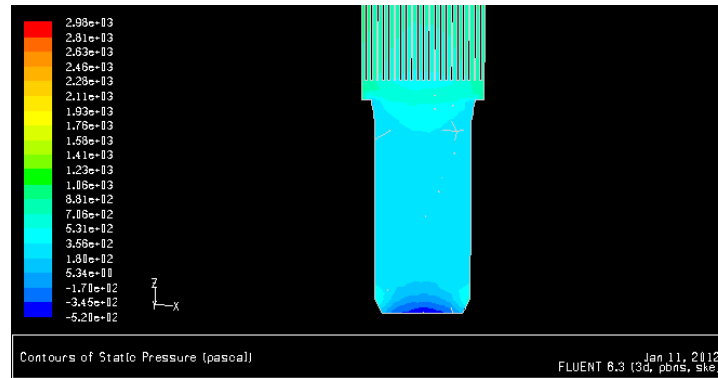
Gambar 4b. Vektor kecepatan model bagian bawah

4.3 Kontur Tekanan Statik

Fluida (air) dengan laju alir sebesar 3,35 kg/s akan mengalir karena terdapat beda tekanan antara sisi penampang *inlet* dan sisi penampang *outlet*. Tekanan statik terukur (*gauge*) pada sisi inlet adalah sebesar kurang lebih $2,98 \times 10^3$ Pascal, sementara tekanan statik terukur pada sisi *outlet* adalah sebesar kurang lebih $-5,20 \times 10^{-2}$ Pascal. Gambar 5a. dan Gambar 5b. masing-masing menunjukkan tekanan statik terukur model bagian atas (sisi *inlet*) dan model bagian bawah (sisi *outlet*).



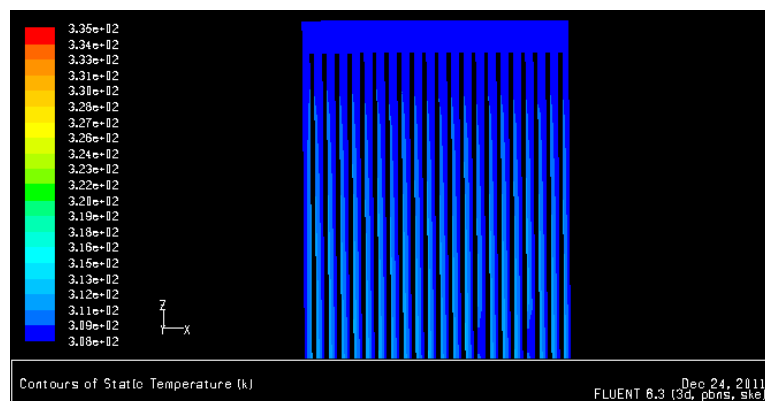
Gambar 5a. Kontur tekanan statik model bagian atas



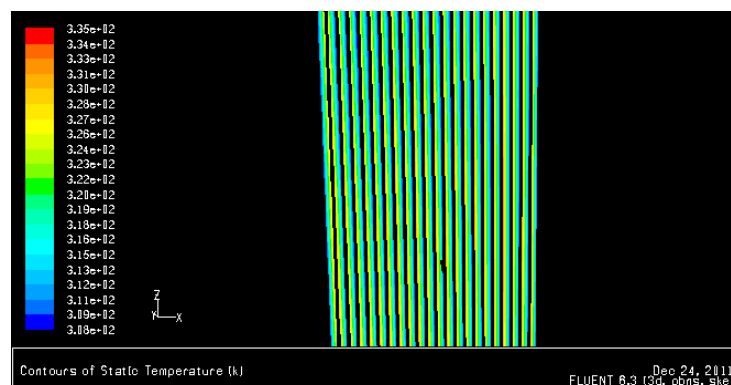
Gambar 5b. Kontur tekanan statik model bagian atas

4.4 Kontur Temperatur Statik

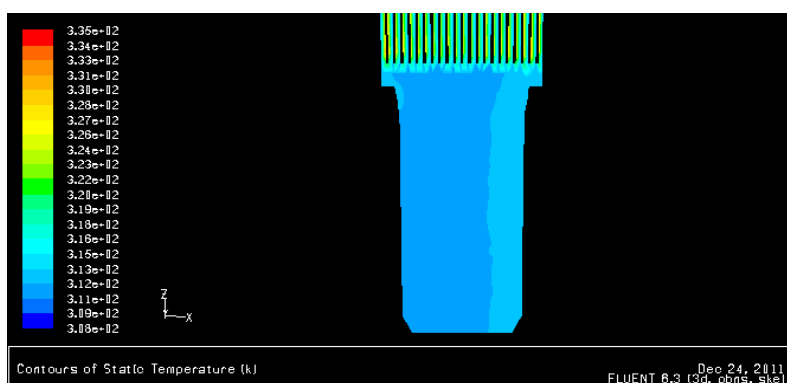
Variasi fluks panas yang diaplikasikan pada masing-masing *face* dari pelat, akan membangkitkan distribusi temperatur pada pelat sebanding dengan nilai fluks panas dari *face* pada pelat tersebut. Panas yang timbul dari temperatur pada pelat akan mempengaruhi atau membangkitkan temperatur fluida (air) yang mengalir di sampingnya. Gambar 6a, Gambar 6b dan Gambar 6c, masing-masing menunjukkan kontur temperatur statik dalam irisan bidang $y = 0$ untuk model bagian atas, bagian tengah dan model bagian bawah pemodelan. Nilai temperatur pelat dan temperatur fluida lebih diperjelas lagi sebagai kurva 2D pada Gambar 6d dan Gambar 6e. Temperatur pelat ditunjukkan dengan suatu garis yang merupakan perpotongan bidang $y = 0$ dan pelat pada sisi yang panas. Temperatur fluida ditunjukkan dengan garis yang merupakan perpotongan bidang $y = 0$ dan bidang dengan konstan x yang berada diantara pelat. Dapat dilihat bahwa kurva temperatur pelat dan kurva temperatur fluida hampir identik. Temperatur fluida akan menjadi lebih rendah dengan posisi yang menjauh (dalam arah x) dari pelat sebagai sumber panas. Temperatur pelat maksimum kurang lebih adalah 333 K, sementara temperatur fluida maksimum kurang lebih adalah 329 K pada posisi sangat berdekatan dengan pelat sebagai sumber panas.



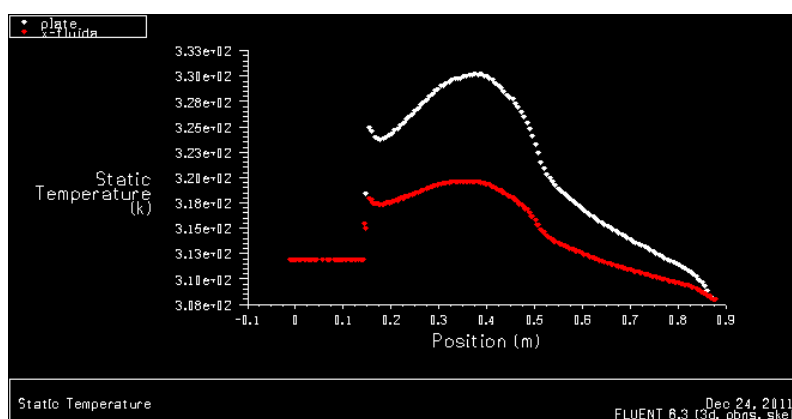
Gambar 6a. Kontur temperatur statik model bagian atas



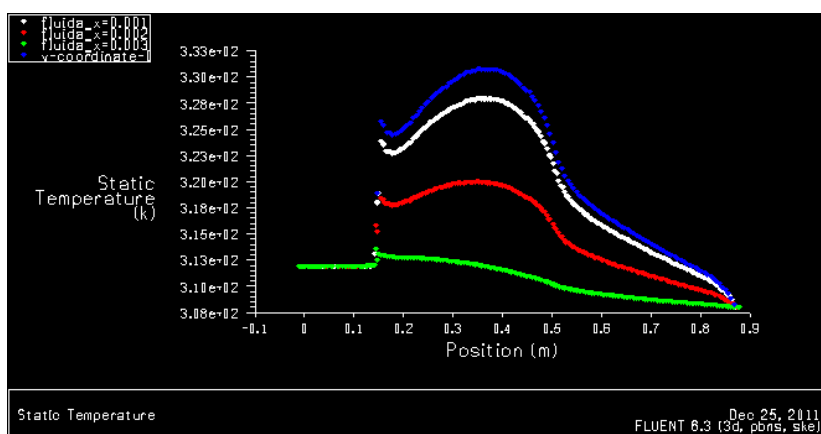
Gambar 6b. Kontur temperatur statik model bagian tengah



Gambar 6c. Kontur temperatur statik model bagian bawah



Gambar 6d. Temperatur pelat dan temperatur fluida pada setengah jarak pelat



Gambar 6e. Temperatur pelat dan beberapa temperatur fluida di antara pelat

KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa untuk menentukan distribusi temperatur, tekanan maupun kecepatan fluida (pada semua titik yang dianalisis) yang mengalir dalam 1 (satu) bundel bahan bakar dapat dilakukan melalui simulasi pemodelan dengan program *CFD* dengan melibatkan energi dan model turbulensi. Dalam kasus ini, dimana mass laju alir fluida yang dalam hal ini adalah air (H_2O), sebagai kondisi batas diambil sebesar 3,35 kg/s, temperatur maksimum pelat 333 K, sementara temperatur maksimum fluida di daerah paling dekat dengan pelat sebagai sumber panas adalah 329 K. Temperatur fluida akan menjadi lebih rendah dengan posisi yang menjauh (dalam arah x) dari pelat sebagai sumber panas. Analisis selanjutnya yang dapat dilakukan adalah simulasi pemodelan dengan *CFD* untuk 1 (satu) teras reaktor, yang terdiri atas 21 bundel bahan bakar di mana masing-masing bundel bahan bakar terdiri atas 21 pelat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Henky P. Rahardjo, V. Indriati Sri Wadhani. Titik kritis konversi reaktor triga 2000 Bandung menjadi reaktor triga berbahan bakar pelat. Prosiding seminar nasional sains dan teknologi nuklir. 2015: 1-3.
2. A. Salama. CFD analysis of fast loss of flow accident in typical MTR reactor undergoing partial and full blockage the average channel scenario. J. Prog. nuclear energy. 2012; 60: 1-13.
3. Lu et al., Q. Lu, S. Qiu, G.H. Su. Development of a thermal-hydraulic analysis code for research reactor with plate fuels. J. Annals nuclear energy. 2010; 36: 433-447.
4. Daxin Gong, Shanfang Huang, Guanbo Wang and Kan Wang. Heat transfer calculation on plate-type fuel assembly of high flux research reactor. Science and Technology of Nuclear Installation. 2015; 15: 1-13.
5. Genick Bar – Meir, Ph.D. Basic of fluid mechanics version 0.3.4.0. 2013: 145-218.
6. Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okiishi, Wade W. Huebsch. Fundamentals of fluid mechanics. Internat. Student version. N. J. John wiley & son Inc. 2010: 211-214.
7. Hyung Min Son, Soo Hyang Yang, Cheol Park, Byung Chul Lee. Transient thermal-hydraulics analysis of complete single channel blockage accident. J. Annals of nuclear energy. 2015; 75: 44-53.
8. Salama and El-Morshedy. CFD analysis of blockage in MTR coolant channel under loss-of-flow transient hot channel scenario. J. Prog. nuclear energy. 2012; 55: 78-92.
9. Theodore L Bergman, Adrenne S. Lavine, Frank P. Incropera, David P. Dewitt. Fundamentals of heat and mass transfer 7th ed. N. J. John wiley & son Inc. 2011: 3-8.
10. Amgad Salama, Salah El-Din El-Morshedy. CFD simulation of flow blockage through a coolant channel of a typical material testing reactor core. Annals of nuclear energy. 2012; 4: 26-39.
11. C.C. Liu, Y.M. Ferng, C.K. Shih. CFD evaluation of turbulence models for flow simulation of the fuel rod bundle with space assembly. J. Thermal engineering. 2012; 40: 389-396.
12. C-H. Cham and T. Yoneda. On possible isolated blow-up phenomena and regularity criterion of the 3D Navier-Stokes equation along the streamlines. Methods Appl. Anal. 2012; 19: 211-242.
13. David A. Randall. Navier stokes equation. Departement of atmospheric science colorado state university. ©copyright 2000: 193-206.
14. Anonymous Fluent/Uns & Rampant 4.2. Fluent incorporated user's guide; 3: 14-12 – 14-7.
15. Anonymous. Ansys fluent user manual release 140. Ansys Inc. 2011.
16. 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).
17. 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 DIKOSONGKAN

GAMBARAN PENERAPAN PENILAIAN DIRI DALAM PENCAPAIAN BUDAYA KESELAMATAN (STUDI KASUS DI BATAN)

Farida Tusafariah¹, Deswandri², Arie Budianti³

¹ Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi-BATAN, Kawasan Nuklir Pasar Jumat
Jl. Lebak Bulus Raya No.49, Jakarta 12440

² Pusat Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir-BATAN, Kawasan Nuklir Serpong, Tangerang Selatan

³ Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN, Kawasan Nuklir Serpong, Tangerang Selatan
email: f4rida_2@batan.go.id

ABSTRAK

GAMBARAN PENERAPAN PENILAIAN DIRI DALAM PENCAPAIAN BUDAYA KESELAMATAN (STUDI KASUS DI BATAN). BATAN sebagai fasilitas yang memanfaatkan tenaga nuklir dalam kegiatannya mempunyai risiko terjadinya kecelakaan yang disebabkan kondisi sikap dan perilaku baik individu maupun organisasi. Oleh sebab itu dalam pengoperasian fasilitas nuklir harus menerapkan budaya keselamatan untuk meningkatkan kesadaran setiap individu akan pentingnya aspek keselamatan. Makalah ini bertujuan untuk menganalisis penerapan budaya keselamatan unit kerja di BATAN, melalui penilaian diri berdasarkan Peraturan Kepala BATAN nomor 200/KA/X/2012 yang telah dilaksanakan dari tahun 2013-2016. Penilaian diri dilakukan menggunakan metode semi kuantitatif, dengan teknik pengumpulan data melalui kuesioner dan observasi. Analisis data dilakukan dengan pengumpulan data, reduksi data, dan penyajian data. Hasil penerapan penilaian diri budaya keselamatan di BATAN diperoleh nilai antara 549-799 selama tahun 2013-2016. Hasil menggambarkan terjadinya peningkatan dari tahun 2013, 2014-2015, namun ada beberapa unit kerja yang mengalami penurunan di tahun 2016. Tetapi kepedulian terhadap keselamatan di unit kerja sudah meningkat, dan penilaian diri sudah dilakukan oleh semua unit kerja di BATAN. Program maupun kegiatan yang dilakukan dapat memperkuat budaya keselamatan, dan harus ditingkatkan lagi secara berkelanjutan. Target penilaian diri peringkat B secara umum sudah tercapai, sesuai yang diharapkan oleh Kepala BATAN dan komitmen bersama.

Kata kunci: Penilaian diri, Metode kuesioner, Nilai peringkat, Potret Batan

ABSTRACT

DESCRIPTION OF SELF ASSESSMENT IN THE ACHIEVEMENT OF SAFETY CULTURE. BATAN as a facility which utilizes nuclear power in its activities has a risk of accidents caused by the attitude and behavior conditions of both individuals and organizations. Therefore, in the operation of nuclear facilities should implement safety culture to increase individual awareness of the importance of safety aspects. This paper aims to analyze the application of safety culture several units in BATAN, through self-assessment based on Regulation of Chairman of BATAN number 200 / KA / X / 2012 which has been implemented from 2013-2016. Self-assessment is done using semi quantitative method, with data collection technique through questionnaire and observation. Analysis of the data was done by collection, data reduction, and data presentation. The results of the application of self-assessment of safety culture in BATAN obtained values between 549-799 during the year of 2013-2016. These results illustrate an increase from 2013, 2014-2015, but there are some unit that have decreased in 2016. But concern for safety in the work unit has increased, self-assessment has been done by all units in BATAN. Programs and activities undertaken can strengthen the safety culture, and should be improved continuously. General B ranking self-assessment targets have been achieved, as expected by the Batan Chairman and joint commitment.

Keywords: self-assessment, questionnaire method, rank value, Batan profile

I. PENDAHULUAN

Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) mempunyai tugas untuk melaksanakan penelitian, pengembangan, dan pendayagunaan ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir sesuai dengan Perka Nomor 21 Tahun 2014. Dalam kegiatan yang memanfaatkan teknologi nuklir tentu mempunyai risiko terjadinya kecelakaan yang disebabkan kondisi sikap dan perilaku baik individu maupun organisasi. Oleh sebab itu dalam pengoperasian fasilitas nuklir harus menerapkan budaya keselamatan untuk meningkatkan kesadaran setiap individu akan pentingnya aspek keselamatan. Aspek keselamatan di bidang nuklir harus lebih tinggi dibandingkan potensi bahaya di industrilainnya [1]

Untuk mewujudkan budaya keselamatan yang kuat, dalam setiap pelaksanaan kegiatan perlu penerapan dengan selalu menumbuhkembangkan budaya keselamatan. Mengembangkan budaya keselamatan secara tepat, maka organisasi perlu melakukan penilaian diri. Penilaian diri dilakukan untuk mengetahui potret awal penerapan budaya keselamatan, mengidentifikasi faktor yang melemahkan dan penguatan serta umpan balik penerapan budaya keselamatan. Hasil evaluasi Badan Pengawas Tenaga Nuklir pada tahun 2014 budaya keselamatan yang ada di BATAN lemah. Sejalan dengan hasil penilaian diri yang dilakukan untuk pertama kali pada tahun 2013 nilai yang diperoleh adalah C [2,3].

Untuk itu dalam rangka meningkatkan budaya keselamatan di BATAN, berbagai upaya dilakukan antara lain dengan menyusun program peningkatan budaya keselamatan, termasuk penerapan penilaian diri secara berkelanjutan. Penilaian diri dapat dilakukan dengan mengacu pada 5 (lima) karakteristik dan 37 atribut budaya keselamatan sesuai dengan Peraturan Kepala BATAN nomor 200/KA/X/2012.[4] Penilaian diri dilakukan menggunakan metode semi kuantitatif dengan teknik pengumpulan data melalui kuesioner dan observasi. Analisis data dengan pengumpulan data, reduksi data, penyajian data, dan kesimpulan.

Makalah ini bertujuan untuk menganalisis penerapan budaya keselamatan unit-unit kerjadi BATAN, melalui penilaian diri berdasarkan Peraturan Kepala BATAN nomor 200/X/2012 yang telah dilaksanakan dari tahun 2013-2016.

II. TEORI/POKOK BAHASAN

II.1. Budaya keselamatan.

Budaya keselamatan pertama kali diperkenalkan oleh *The International Nuclear Safety Advisory Group (INSAG)* pada tahun 1986 dalam laporan yang berjudul "*Summary report on the post accident review meeting on Chernobyl Accident*" dan lebih rinci lagi pada laporan INSAG-4 tahun 1991. Dalam undang-undang nomor 10 Tahun 1997 tentang ketenaganukliran juga mengisyaratkan pentingnya budaya keselamatan nuklir [5]

Budaya keselamatan menurut undang-undang nomor 10 tahun 1997 adalah sifat dan sikap dalam organisasi dan individu yang menekankan pentingnya keselamatan, oleh karena itu budaya keselamatan mempersyaratkan agar semua kewajiban yang berkaitan dengan keselamatan harus dilaksanakan secara benar, seksama dan penuh rasa tanggung jawab.[5]

Budaya keselamatan merupakan sikap, keyakinan dan persepsi bersama oleh sekelompok orang yang dianggap sebagai normadan nilai-nilai yang menentukan mereka bertindak dan bereaksi dalam kaitannya dengan risiko dan sistem pengendalian risiko [6]. Budaya keselamatan di BATAN merupakan cerminan tata nilai yang terdapat dalam semua tingkatan dalam organisasi dan didasarkan pada keyakinan bahwa keselamatan adalah penting dan menjadi tanggung jawab setiap individu. Nilai-nilai tersebut menjadi panduan individu dalam melakukan kegiatan untuk menghadapi permasalahan keselamatan dan merupakan usaha terintegrasi dalam organisasi [3].

Penerapan budaya keselamatan dilakukan secara sistematis dan berkelanjutan agar dapat berjalan efektif dan efisien, maka BATAN telah menetapkan suatu pedoman pelaksanaan penerapan budaya keselamatan dengan Peraturan Kepala Batan nomor 200/KA/X/2012 yang menjadi dasar penerapannya. Penerapan budaya keselamatan terdiri dari 5 (lima) karakteristik dan diuraikan menjadi 37 atribut budaya keselamatan. Karakteristik budaya keselamatan sebagai strategi untuk menumbuhkembangkan budaya keselamatan mencakup sikap dan perilaku yang terstruktur. Karakteristik budaya keselamatan juga dapat difafsirkan sebagai serangkaian proses berinteraksi dari setiap individu yang terlibat

memberikan kontribusi untuk mencapai kinerja keselamatan yang tinggi. Setiap unit kerja wajib melaksanakan penerapan budaya keselamatan dengan melakukan penilaian diri minimal setahun sekali.

Hal ini dilakukan karena "Budaya tidak dapat berubah dengan cepat, tetapi dapat tumbuh dengan pasti, dengan arahan sistem dalam bekerja secara konsisten dan sistematis, fokus pada apa yang dapat dilakukan dengan memfasilitasi kinerja keselamatan positif dalam budaya yang ada daripada mencobamengubah nilai dan kepercayaan yang sudah mengakar. Bekerja dengan budaya yang ada untuk mencapai tujuan yang diinginkan [7].

Penelitian yang dilakukan tentang persepsi responden mengenai faktor pembentuk budaya keselamatan menunjukkan bahwa komunikasi dan lingkungan sosial mempunyai hubungan yang cukup kuat. Komunikasi akan menghasilkan persepsi yang nantinya diinterpretasikan secara berbeda oleh tiap individu. Adanya persepsi berasal dari stimulus yang diberikan oleh organisasi ketika berkomunikasi dengan pekerja. Untuk itu disarankan mengoptimalkan budaya keselamatan melalui komunikasi dan lingkungan sosial pekerja dengan mengadakan *safety talk* dan *safety induction*[8].

II.2. Metode Penilaian Diri

Penilaian diri dilakukan secara berkala dan konsisten untuk melihat status budaya keselamatan yang sedang diselenggarakan. Penilaian diri ditujukan untuk mengidentifikasi faktor yang menimbulkan pelemahan dan penguatan dalam penerapan budaya keselamatan, untuk mendapatkan umpan balik dan menentukan tindakan perbaikan dan pencegahan dalam rangka pengembangan budaya keselamatan secara berkelanjutan.

Penilaian diri dapat dilakukan secara keseluruhan maupun secara parsial baik terhadap bagian organisasi maupun penyelenggaraannya, dengan mengacu pada 5 karakteristik dan 37 atribut budaya keselamatan secara kualitatif dan kuantitatif. Penilaian diri dapat dilakukan dengan salah satu atau gabungan dari metode survei, dengan wawancara, pengamatan, tinjauan dokumentasi dan kuesioner.

Penilaian diri melalui kuesioner dilakukan dengan pendekatan model pembobotan yang disusun berdasarkan faktor organisasional terhadap karakteristik dan atribut budaya keselamatan. Pemberian skor terhadap atribut budaya keselamatan ditentukan skor bobot dengan nilai 9 sampai dengan 65 dimana skor 65 dianggap paling penting. Pendekatan yang dilakukan dalam pemberian skor tertinggi adalah sesuai dengan sikap penyempurnaan yang terus-menerus dan komitmen pimpinan yang dipertimbangkan sebagai faktor kunci sukses yang dapat memicu dan mempermudah terciptanya penguatan budaya keselamatan yang positif. Keadaan paling kurang adalah tentang keberadaan kerumahtanggaan yang tidak diperhatikan sama sekali.

Skor bobot nilai untuk masing-masing karakteristik dan atribut berbeda, sebagai contoh skor dibedakan menjadi "Buruk", "Kurang", "Cukup", "Baik", dan "Baik Sekali". Jika responden memilih untuk karakteristik 1: "Keselamatan sebagai nilai yang diakui dan dipahami", dan pada atribut satu dengan pernyataan "Keselamatan merupakan prioritas tertinggi, yang ditunjukkan dalam dokumentasi, komunikasi dan pengambilan keputusan", maka "Petugas Penilai" akan memberikan nilai berdasarkan pilihan responden sebagai berikut:

Buruk = 4, Kurang = 13, Cukup = 26, Baik = 43, dan Baik Sekali = 65, pengisian kuesioner ini diteruskan untuk pernyataan pada atribut selanjutnya dengan nilai yang berbeda [3]

Studi kasus yang dilakukan oleh Nielsen, Kent J. dengan menggunakan metode multi pendekatan yang terdiri dari analisis dokumen, observasi, rekaman interaksi yang berhubungan dengan keselamatan, wawancara semi terstruktur dan kuesioner, untuk memperbaiki budaya keselamatan dengan membangun interaksi yang lebih baik bagi anggotanya [9,10].

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai dari Budaya Kesehatan dan Keselamatan Kerja dari para pekerja kargo di gudang berada di atas *index average* 5.0. Hal ini berarti bahwa secara umum masing-masing pekerja berada pada level nilai K3 yang moderat, dengan nilai komunikasi keselamatan 5.87, Keterlibatan = 5.69, lebih rendah dibanding faktor lainnya[10].

Budaya keselamatan yang positif memiliki lima komponen yaitu; 1. Komitmen manajemen terhadap keselamatan. 2. Perhatian manajemen terhadap pekerja. 3. Kepercayaan antara manajemen dan pekerja. 4. Pemberdayaan pekerja. 5. Pengawasan, tindakan perbaikan, meninjau ulang sistem perbaikan secara terus menerus [11]

Metodologi penilaian budaya keselamatan sangat berfokus pada persepsi, pandangan dan perilaku orang-orang di semua tingkat dalam organisasi. Hal ini berbeda dengan penilaian tipe audit dimana fokusnya adalah pada 'fakta'/temuan dan evaluasinya. Penilaian ini dapat dilakukan melalui wawancara, observasi, focus group diskusi dan *Operational Safety Review Team (OSART)* [12]

III. METODOLOGI

Penilaian diri dilakukan dengan berbasis Perka 200/KA/X/2012, dengan mengacu pada 5 karakteristik dan 37 atribut budaya keselamatan. Data primer diperoleh dari kuesioner yang dikumpulkan dari responden, hasil observasi dan diskusi kelompok, sedangkan data sekunder diperoleh dari laporan atau dokumentasi dari kegiatan, buku dan referensi.

Data yang dikumpulkan dianalisis berdasarkan nilai bobot yang berbeda untuk setiap atribut, nilai maksimum dari atribut terdiri dari 9 sampai 65. Hasil perhitungan ini akan ditampilkan dalam bentuk grafik. Dari hasil ini juga akan diperoleh total skor dari semua atribut pada setiap karakteristik sebagai skor maksimum, jumlah skor maksimum adalah 1000. Dari skor maksimum yang diperoleh akan dilakukan klasifikasi pemeringkatan, yaitu peringkat A (skor 834 s.d.1000), peringkat B (skor 667 s.d. 833), peringkat C (skor 534 s.d. 666), peringkat D (skor 400 s.d. 533), dan peringkat E (skor 0 s.d.400), peringkat ini dapat menggambarkan profil BATAN maupun unit kerja.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

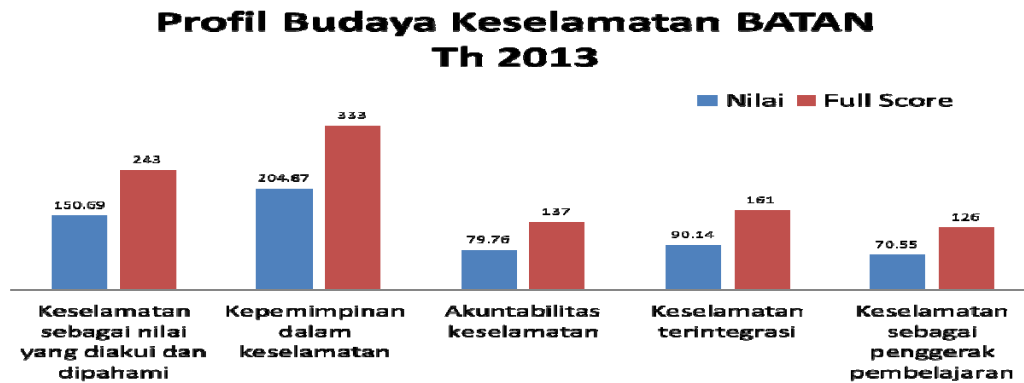
Dalam proses analisis data kuesioner untuk mengukur sikap seseorang tentang suatu objek biasanya digunakan skala Likert. Setiap pertanyaan atau pernyataan sikap dihubungkan dengan jawaban yang berupa dukungan yang diungkapkan dengan sangat setuju (SS), Setuju (S), netral (N), Tidak setuju (TS), Sangat tidak setuju (STS) atau Sangat baik, Baik, Sedang, Buruk, Sangat Buruk. Dalam penilaian diri yang berbasis Perka 200/KA/X/2012 digunakan dengan kata: Buruk, Kurang, Cukup, Baik, Baik sekali, dan masing-masing nilainya sudah ditentukan (sesuai bobotnya). Sebagai contoh untuk karakteristik 1 adalah Keselamatan sebagai nilai yang diakui dan dipahami, pada atribut satu dengan pernyataan Keselamatan merupakan prioritas tertinggi, yang ditunjukkan dalam dokumentasi, komunikasi dan pengambilan keputusan, maka apabila responden memilih "Baik" maka nilainya adalah 43, dan diteruskan untuk pernyataan pada atribut selanjutnya dengan nilai yang berbeda.

4.1. Penerapan Penilaian Diri dari Tahun 2013-2016

Sejak ditetapkannya Perka Batan nomor 200/KA/X/2012 pada 25 Oktober 2012, maka setiap unit kerja di BATAN wajib melaksanakan penerapan budaya keselamatan di unit kerja masing-masing. Penilaian diri dilakukan pertamakali pada saat acara Lokakarya K3-BATAN yang diselenggarakan pada Februari 2013 di Kawasan Nuklir Serpong, dengan respondensebanyak 92 peserta. Hasil pengolahan data ditampilkan pada Gambar 1. sebagai Profil BATAN pada tahun 2013 [2].

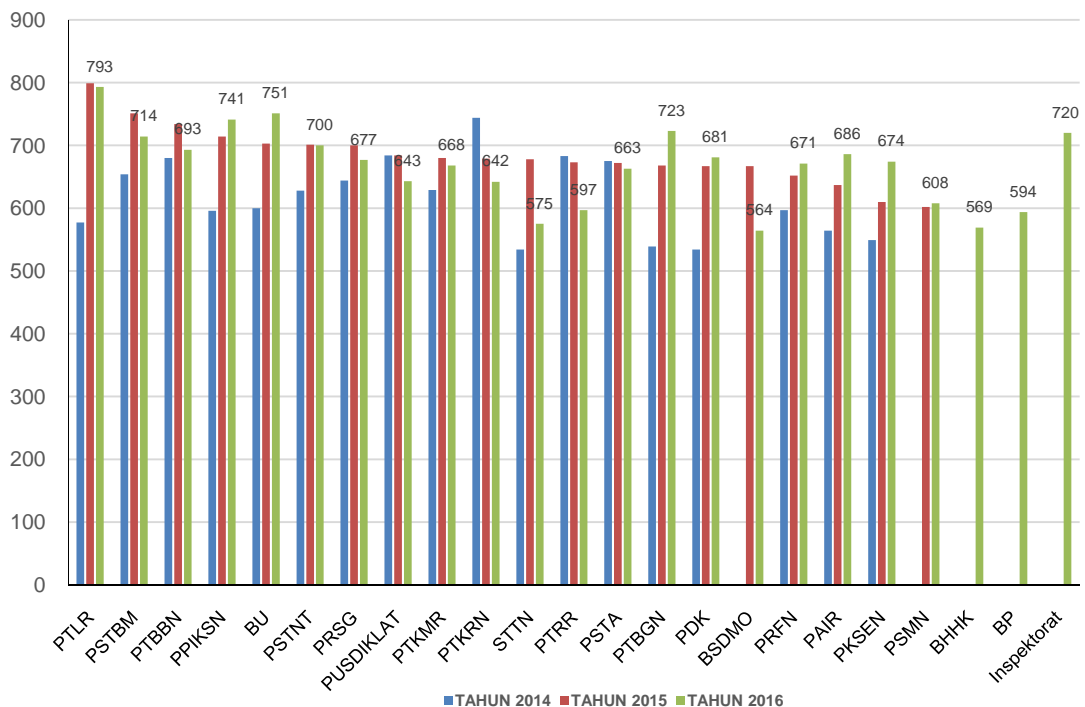
Dari Gambar 1 dapat diketahui bahwa nilai yang diperoleh untuk setiap karakteristik, dengan nilai total maksimum adalah 596, dari nilai total seharusnya adalah 1000, maka tingkat pemenuhan budaya keselamatan baru 59,6%. Hasil penilaian diri ini merupakan gambaran potret awal dari organisasi BATAN, namun belum dapat dikatakan sebagai budaya keselamatan.

Gambaran potret awal budaya keselamatan yang disampaikan masing-masing unit kerja pada lokakarya K3-BATAN tahun 2014, hasilnya masih samayaitu nilai C, hanya satu unit kerja yang mendapat nilai B untuk penilaian di tahun 2013[2].



Gambar 1. Profil Budaya Keselamatan BATAN Tahun2013

Dari hasil pencapaian Peringkat C ini, dapat digunakan juga untuk menetapkan target tingkat budaya keselamatan yang ingin dicapai selanjutnya oleh masing-masing unit kerja, sesuai arahan dari Bapak Kepala BATAN, bahwa pencapaian peringkat Budaya Keselamatan BATAN pada tahun berikutnya diharapkan mencapai Peringkat B. Hasil penilaian diri unit kerja pada tahun berikutnya terlihat adanya peningkatan, hal ini berdasarkan laporan dari masing-masing unit kerja pada acara lokakarya K3-BATAN. Hasil capaian penilaian diri dari tahun 2014-2016 dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hasil Penilaian Diri Budaya Keselamatan di BATAN Tahun 2014-2016

Dari Gambar 2, terlihat peningkatan nilai yang dicapai dari 534-684 pada tahun 2014, dan 602-799 pada tahun 2015. Hasil penilaian diri tahun 2015 bila dibandingkan dengan tahun 2014, pada umumnya unit kerja sudah mencapai nilai B sebesar 80% yang terdiri dari 16 unit kerja, bahkan ada dua unit yang mencapai nilai secara signifikan, walaupun demikian masih ada beberapa unit kerja yang belum melakukan penilaian diri. Hasil penilaian diri tahun 2016 terlihat adanya penurunan nilai yang dicapai

yaitu 564-793, jadi sebanyak 61% mencapai nilai B. Dari pencapaian nilai ini bukan berarti nilai budaya keselamatan menurun, tetapi dengan adanya metode baru antara lain dengan menggunakan metode kuesioner yang telah dimodifikasi, dan menggunakan rumus yang telah disempurnakan. Dengan kuesioner yang telah dimodifikasi ini pemahaman sebahagian karyawan BATAN semakin jelas, namun ada beberapa juga yang merasa belum tepat, sehingga mereka menilai berdasarkan persepsi yang ada pada saat itu.

Pengukuran melalui kuesioner memang mempunyai kelemahan, tergantung situasi dan kondisi responden dan dan situasi yang sedang terjadi. Oleh sebab itu penilaian diri perlu menggunakan metode lainnya yang sudah ada, untuk saling melengkapi.

Hasil penilaian diri pada tahun 2016 nilainya sedikit menurun, tetapi yang perlu dicatat adalah semua unit kerja sudah melakukannya, dengan kata lain bahwa keterlibatan unit kerja sudah 100%. Hal ini menunjukkan bahwa kepedulian dan kesadaran terhadap keselamatan sudah merupakan tanggung jawab bersama semua karyawan BATAN, dan wujud komitmen dari pimpinan unit kerja yang didukung oleh stafnya. Metode penilaian diri yang dilakukan oleh unit kerja pada tahun 2016 sudah dilengkapi dengan metode observasi/pengamatan dan diskusi kelompok. Dari hasil observasi dan diskusi kelompok fasilitas atau unit kerja di Batan secara umum sudah "Baik", berbagai sistem manajemen keselamatan sudah terpenuhi, yang mendukung penguatan penerapan budaya keselamatan. Nilai yang diperoleh beberapa unit kerja melalui kuesioner masih "Cukup" dapat disebabkan informasi yang ada di unit kerja belum diketahui oleh semua staf dan belum disosialisasikan. Dengan kata lain sistem koordinasi, informasi dan komunikasi, serta rasa ingin tahu staf masih lemah.

Hasil ini sesuai dengan penelitianSuyono, Karina Zain dan Nawawinetu Erwin Dyahbahwa komunikasi dan lingkungan sosial mempunyai hubungan yang cukup kuat, serta penelitianKania, Dinar Dewi dkk., bahwa nilai komunikasi lebih rendah dari faktor lainnya. Walaupun penelitian ini bukan di fasilitas nuklir tetapi termasuk fasilitas yang sistim keselamatan menjadi prioritas utama karena mempunyai risiko tinggi, dan dapat menyebabkan terjadinya kecelakaan.Perlu diketahui juga bahwa faktor pembentuk budaya keselamatan kerja, dan faktor budaya keselamatan dan kesehatan kerja pada kedua perusahaan ini, bila dibandingkan dengan lima karakteristik dan 37 atribut budaya keselamatan pada perka 200 tahun 2012, semua faktor sudah mencukupi.

4.2. Upaya Mencapai Budaya Keselamatan Yang Kuat.

Berdasarkan hasil penilaian diri pada tahun 2013 yang merupakan potret awal penerapan budaya keselamatan di BATAN, dapat diidentifikasi faktor yang harus dilakukan untuk penguatan dalam penerapan budaya keselamatan, dengan menentukan tindakan perbaikan yang harus dilakukan sekaligus sebagai pemenuhan hasil evaluasiBAPETEN. Kegiatan maupun program yang dilakukan di BATAN selama periode 2013-2017 adalah sebagai berikut.

Tabel 1. Roadmap Capaian Kinerja Budaya Keselamatan BATAN

No.	Tahun	Capaian
1.	2013	Penetapan Kebijakan Keselamatan. Kebijakan Keselamatan yang direvisi ditetapkan oleh Kepala BATAN didampingi para Deputi dan Kepala Unit Unit Kerja pada 6 Februari 2013.
2.	2013- sekarang	Sarasehan Budaya Keselamatan. Pelaksanaan sarasehan diikuti oleh seluruh manajemen Batan, dan staf Batan yang mewakili unit kerjanya. Dilaksanakan secara rutin, dan bertempat di unit kerja secara bergiliran tahun 2013-sekarang
3.	2014	Pelatihan Budaya Keselamatan. Pelatihan diikuti oleh peserta wakil dari unit kerja di Bidang Keselamatan atau Tim P2K3pada tanggal 5-9 Mei 2014
4.	2016	Workshop Penerapan Budaya Keselamatan. Wokshop diikuti oleh peserta wakil dari unit kerja di Bidang

No.	Tahun	Capaian
5.	2014-2016	Keselamatan atau Tim P2K3 pada tanggal 24-26 September 2014, dan pada tanggal 16-17 Juni 2015. Workshop pada tanggal 1-2 Juni 2016, kesepakatan tentang Modifikasi metoda penilaian diri budaya keselamatan. Asistensi Budaya Keselamatan /sosialisasi/ kunjungan ke Unit kerja/Kawasan Nuklir, oleh Tim Budkes, melalui program PTKRN pada Tahun 2014-2016
6.	2015	Pelaksanaan Program BBS dan 5R Per-Kawasan dan Unit kerja (bekerja sama dengan POKJA manajemen perubahan) pada tahun 2015
7.	2013-2017	Lokakarya K3-BATAN dari tahun 2013-2017 Pada acara ini, semua unit kerja melaporkan kegiatan K3 dan hasil penilaian diri yang telah dilakukan di unit kerjanya. Untuk meningkatkan kepedulian terhadap keselamatan, dilakukan cerdas cermat dengan peserta G-10 pada tahun 2016 dan Pejabat struktural/Fungsional Madya/masa kerja > 20 tahun. Pada tahun 2017, selain kelanjutan kegiatan yang sudah dilakukan untuk pengembangan budaya keselamatan, juga ada program untuk merevisi Perka 200/KA/X/2012 yang akan disesuaikan dengan perkembangan dan kondisi BATAN saat ini.
8.	2017	Metode penilaian diri akan lebih beragam tidak hanya melalui kuesioner, agar dapat saling melengkapi.

V. KESIMPULAN

Hasil penerapan penilaian diri budaya keselamatan di BATAN diperoleh nilai antara 549-799 selama tahun 2013-2016. Hasil ini menggambarkan terjadi peningkatan dari tahun 2013 2014-2015, namun ada beberapa unit kerja yang mengalami penurunan di tahun 2016. Tetapi kepedulian terhadap keselamatan unit kerja sudah meningkat. Hal ini dapat terlihat bahwa pada tahun 2016 penilaian diri sudah dilakukan oleh semua unit kerja di BATAN. Program maupun kegiatan yang dilakukan sudah diupayakan untuk memperkuat budaya keselamatan, dan harus lebih ditingkatkan lagi secara berkelanjutan. Target penilaian diri peringkat B secara umum sudah tercapai, sesuai yang diharapkan oleh Kepala Batan dan komitmen bersama pada acara Lokakarya Batan.

UCAPAN TERIMA KASIH.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Prof. Dr. Djarot S. Wisnubroto sebagai Kepala BATAN yang telah memfasilitasi dengan membentuk Tim Budaya Keselamatan-BATAN, dan Ibu Dr. Geni Rina Sunaryo sebagai Kepala PTKRN dan selaku Pembinaan dan Pengembangan Budaya Keselamatan di BATAN, serta Kepala Unit kerja beserta staf yang telah bersedia meluangkan waktunya pada saat Tim Budkes mengunjungi, dan tak lupa pada teman-teman Tim Budkes yang telah bekerjasama selama ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Perka BATAN Nomor 21 Tahun 2014, "Tentang rincian tugas unit kerja di Badan Tenaga Nuklir Nasional", BATAN (2014)
2. BATAN, "Progress Report Budaya Keselamatan Batan Tahun 2015" Lokakarya K3-BATAN, Bandung (2016)
3. Tusafariah, Farida, "Penilaian Diri Budaya Keselamatan Batan Tahun 2013", Prosiding Seminar Nasional Nuklir dan Sumber Daya Tambang, Jakarta (2014)
4. Perka BATAN Nomor 200/KA/X/2012", Pedoman Pelaksanaan Penerapan Budaya Keselamatan", BATAN (2012)

5. BAPETEN, "Panduan Penerapan dan Pengembangan Budaya Keselamatan Nuklir", Seri Dokumen Teknis No.DT-0601, Jakarta (2006)
6. Hale,AR, "Culture's Confusions Safety Science", (2000)
7. International Atomic Energy Agency,"Safety Report Series No.83,Performing safety Culture Self-Assessments",Vienna (2016)
8. Karina Zain Suyono, Erwin Dyah Nawawinetu,"Hubungan Antara Faktor Pembentuk Budaya Keselamatan Kerja Dengan Safety Behavior Di Pt Dok Dan Perkapalan Surabaya Unit Hull Construction", *The Indonesian Journal of Occupational Safety and Health, Vol. 2, No. 1 Jan-Jun 2013: 67–74.*
9. Nielsen, Kent J.,"Improving safety culture through the health and safety organization: A case study",*Journal of Safety Research*,48 (2014) 7– 17.
10. Kania, Dinar Dewi,"Analisis Faktor Budaya Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Pada Penanganan Kargo di Bandara Soekarno Hatta International Airport", *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTranslog) - Vol. 03 No. 1, Maret 2016*
11. International Atomic Energy Agency,"OSART, Independent Safety Culture Assessment Guidelines, Service Series No.32,Vienna (2016)
12. Institution of Occupational Safety and Health,"Promoting a positive culture a guide to health and safety culture", UK(2012)

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DI TAPAK REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL SERPONG

Eko Rudi Iswanto¹⁾, Heri Syaeful²⁾, Sriyana³⁾

¹⁾³⁾ PKSEN-BATAN, Jl. Kuningan Barat Mampang Prapatan, Jakarta Selatan 12710

²⁾ PTBGN-BATAN, Jl. Lebak Bulus Raya Lebak Bulus, Jakarta Selatan 12440

email: ekorudi@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS POTENSI LIKUIFAKSI DI TAPAK REAKTOR DAYA EKSPERIMENTAL SERPONG. Fenomena berubahnya sifat sedimen dari keadaan padat menjadi keadan cair yang disebabkan oleh tegangan geser pada saat gempa yang terjadi bolak balik disebut dengan likuifaksi. Likuifaksi dapat menyebabkan kerusakan berat hingga kegagalan struktur. Analisis potensi likuifaksi ini bertujuan untuk mengetahui potensi terjadinya likuifaksi pada lokasi RDE bangunan reaktor. Analisis dilakukan dengan metode *simplified* dengan menggunakan data *Standard Penetration Test* (SPT). Dari data tersebut, kemudian dapat dihitung nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR), nilai *Cyclic Resistant Ratio* (CRR) dan *Safety Factor* (SF). Berdasarkan analisis perhitungan yang dilakukan, disimpulkan bahwa area bangunan reaktor memiliki lapisan tanah yang berpotensi terlikuifaksi pada kedalaman 2 hingga 6 meter dan pada kedalaman 24 meter.

Kata kunci: likuifaksi, *Standard Penetration Test*, *Cyclic Stress Ratio*, *Cyclic Resistant Ratio*

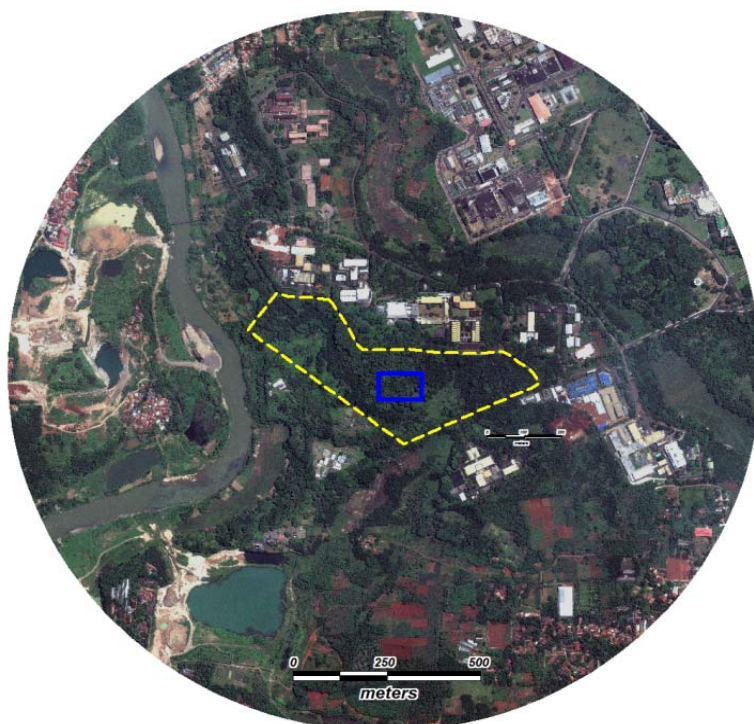
ABSTRACT

POTENTIAL LIQUEFACTION AT EXPERIMENTAL POWER REACTOR SITE, SERPONG. The phenomenon of changing the nature of the sediment from solid state to a liquid state caused by shear stress at the time of an alternating earthquake is called liquefaction. Liquefaction can cause severe damage. Liquefaction analysis aims to determine the potential for liquefaction at the site of RDE especially the reactor building. The analysis was done by simplified method by using *Standard Penetration Test* (SPT) data. From these data, then can be calculated *Cyclic Stress Ratio* (CSR), *Cyclic Resistant Ratio* (CRR) and *Safety Factor* (SF). Based on the calculation analysis, it is concluded that the reactor building area has a potentially liquefaction soil layer at depth of 2 to 6 meters and at depth 24 meters.

Keywords: *liquefaction*, *Standard Penetration Test*, *Cyclic Stress Ratio*, *Cyclic Resistant Ratio*

PENDAHULUAN

Tapak Reaktor Daya Eksperimental (RDE) di Serpong merupakan calon lokasi untuk pembangunan fasilitas nuklir dengan persyaratan keselamatan yang tinggi sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Ancaman keselamatan ini dapat ditimbulkan dari bencana alam seperti gempa bumi. Salah satu permasalahan yang ditimbulkan dari gempa bumi antara lain adalah bahaya likuifaksi. Likuifaksi merupakan suatu proses menurunnya kuat geser pada tanah dengan kepadatan lepas, nilai kohesi dan indeks plastisitas yang rendah [1]. Struktur di dalam tanah akan mengalami perubahan susunan dimana tergantung pada kekuatan tanah. Jika kekuatan tanah menurun hingga ke suatu nilai dimana tidak mampu menahan beban struktur, maka pergeseran tanah akan terjadi. Akan tetapi jika sebaliknya, maka akan terjadi penurunan level tanah [2]. Baik pergeseran tanah maupun penurunan level tanah ini tidak akan terjadi pada kondisi tanpa beban artinya tidak adanya beban diatas tanah yang dimaksud [3]. Apabila tegangan efektif tanah bernilai nol maka tanah mengalami proses likuifaksi. Sebagai contoh pada tanah pasir yang jenuh apabila terjadi gempa dapat berpotensi terjadinya likuifaksi. Hal ini mengakibatkan kemampuan tanah dalam menahan beban akan menurun.



Gambar 1. Peta lokasi tapak RDE Serpong^[4]

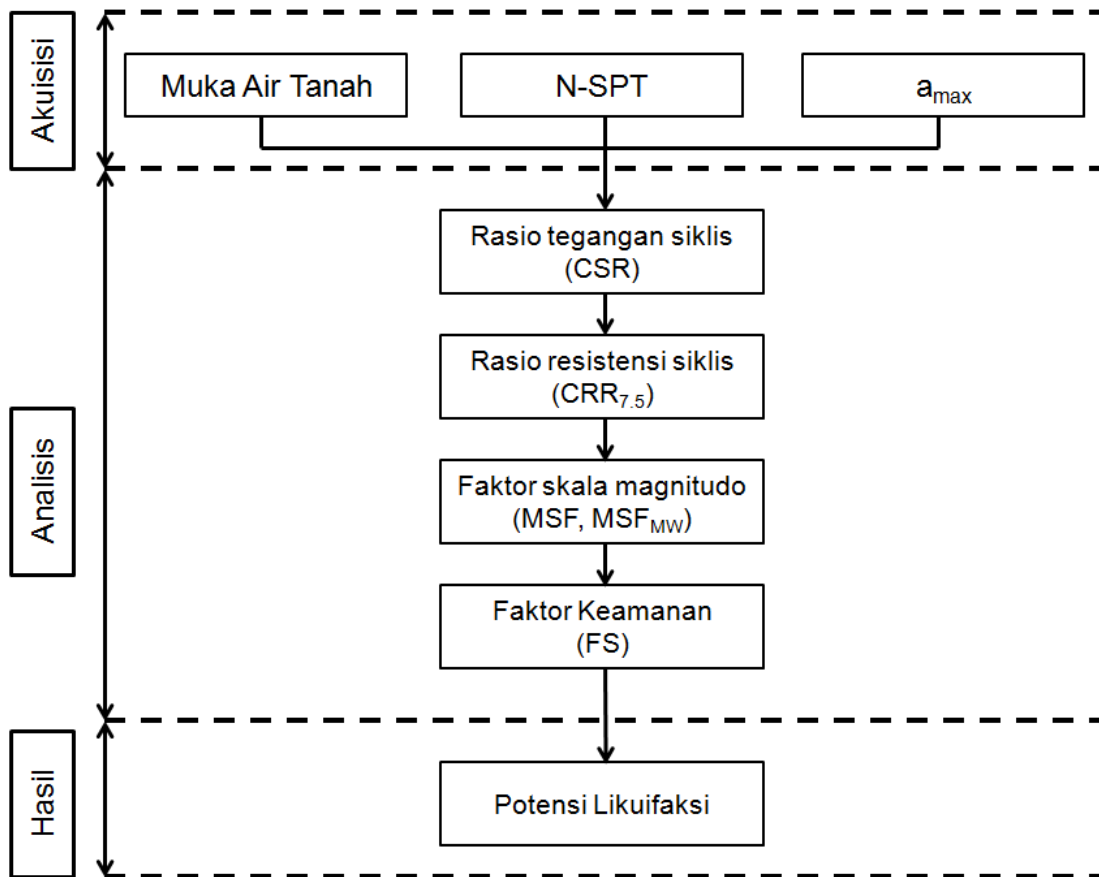
Seed pertama kali mengemukakan ide likuifaksi melalui percobaannya pada pasir dimana terjadinya likuifaksi bergantung pada angka rasio pori atau densitas relatif pasir dan tekanan vertical [5]. Housner dan Jennings [6] membahas secara khusus tentang pembentukan semburan pasir (sand boils) dari segi porositas tanah, permeabilitas, elastisitas, dan tingkat konsolidasi. Semburan pasir (sand boils) disebabkan oleh ketidakseragaman homogenitas dekat permukaan tanah. Scott and Zuckerman [7] menjelaskan bahwa potensi semburan pasir akan muncul bilamana pada lapisan permukaan (diatas lapisan yang cair) dijumpai adanya lanau atau sejenisnya. Lebih lanjut Adailer [8] mengatakan bahwa permeabilitas yang rendah dan adanya kohesi di bagian teratas dari lapisan atas akan menyebabkan semburan pasir yang besar.

Adapun tujuan dari studi ini adalah untuk mengevaluasi potensi likuifaksi yang mungkin terjadi pada tapak reaktor RDE di Serpong khususnya pada bangunan reaktor. Diharapkan hasil studi ini dapat dijadikan sebagai referensi dalam kegiatan perencanaan bangunan sipil pada fasilitas nukir RDE di Serpong.

METODOLOGI

Telah banyak dilakukan beberapa percobaan dan analisis data lapangan terkait potensi likuifaksi [9,10]. Sebagai contoh adalah metode praktis dimana metode analisis ini dilakukan dengan menggunakan data pengujian lapangan seperti *Cone Penetration Test* (CPT), *Standard Penetration Test* (SPT), dan uji boring. Disamping itu, potensi likuifaksi juga dapat dilakukan berdasarkan uji di laboratorium seperti analisa butiran. Dari beberapa metode tersebut, metode analisis dengan menggunakan data SPT merupakan metode yang paling sering digunakan mengingat kemudahan akan pelaksanaannya.

Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah metode simplified yang diusulkan kembangkan oleh Youd [11]. Dimulai dengan pengambilan data tanah dari lapangan seperti nilai N-SPT dan profil tanah, kemudian pengujian laboratorium untuk mendapatkan nilai-nilai seperti adalah kelembaban, berat jenis, berat volume, dan parameter tegangan geser tanah. Setelah diperoleh data lapangan dan data laboratorium, *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dapat dihitung. Langkah selanjutnya adalah perhitungan faktor keamanan atau *Safety Factor* (SF). Jika nilai $SF < 1$ maka tanah akan terlikuifaksi sedangkan apabila nilai $SF > 1$ maka tidak akan terjadi likuifaksi. Langkah-langkah penelitian dapat dilihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir langkah penelitian^[12]

Perhitungan Nilai Cyclic Stress Ratio (CSR)

Nilai CSR pada kedalaman tertentu dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$CSR = 0.65 \times \left(\frac{a_{max}}{g}\right) \times \left(\frac{\sigma'_{vo}}{\sigma_{vo}}\right) \times r_d \tag{1}$$

dimana a_{max} adalah percepatan tanah maksimum akibat gempa (dari hasil studi diperoleh 0.29g), g adalah percepatan gravitasi, σ_{vo} adalah tegangan total vertikal overburden, σ'_{vo} adalah tegangan efektif vertikal overburden, r_d adalah koefisien tegangan reduksi. Untuk rasio tegangan total dan tegangan efektif dihitung dengan persamaan berikut[8]:

$$\sigma_{vo} = h\gamma_w + (h_A - h)\gamma_{sat} \tag{2}$$

$$\sigma'_{vo} = \sigma - u \tag{3}$$

dimana σ_{vo} adalah tegangan total vertikal overburden, γ_w adalah berat volume air, γ_{sat} adalah berat volume tanah jenuh air, h adalah tinggi muka air diukur dari permukaan tanah, h_A adalah jarak antara titik A dengan muka air. Sedangkan u adalah tekanan pori yang dihitung dengan persamaan berikut:

$$u = h_A \times \gamma_w \tag{4}$$

Koefisien tegangan reduksi (r_d) dapat ditentukan berdasarkan persamaan berikut [9]:

$$r_d = 1.30 - 0.00765z \dots z \leq 9.15m \tag{5a}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267z \dots 9.15m \leq z \leq 23m \tag{5b}$$

$$r_d = 0.744 - 0.008z \dots\dots 23 \leq z \leq 30m \dots\dots(5c)$$

$$r_d = 0.5z \dots\dots z \geq 9.15m \dots\dots(5d)$$

Perhitungan Nilai Resistance Ratio (CRR)

Besarnya nilai CRR dapat dihitung dari data N-SPT yang telah dikoreksi. Menurut Youd dan Iddris, perhitungan tersebut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [7]:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S \dots\dots(6)$$

dimana $(N_1)_{60}$ adalah N-SPT terkoreksi, N_{SPT} adalah nilai N-SPT yang diperoleh dari uji lapangan, C_N adalah faktor normalisasi N_{SPT} terhadap tegangan overburden, C_E adalah koreksi rasio energi hammer, C_B adalah koreksi untuk diameter lubang bor, C_R adalah faktor koreksi dari panjang batang dan C_S adalah koreksi untuk sampel [13]. Adapun nilai dari masing-masing faktor koreksi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai faktor koreksi untuk nilai $(N_1)_{60}$ [13]

Faktor	Variabel Peralatan	Parameter	Koreksi
Tegangan vertikal efektif		C_N	$\frac{2.2}{\left(1.2 + \left(\frac{\sigma_{vs}}{P_s}\right)\right)}$
Rasio tenaga	Palu donat (<i>donut hammer</i>)	C_N	$C_N \leq 1.7$
	Palu pengaman (<i>safety hammer</i>)	C_E	0.5 – 1.0
	Palu otomatis (<i>automatic-trip donut-type hammer</i>)	C_E	0.7 – 1.2
Diameter bor	65 – 115 mm	C_B	1.0
	150 mm	C_B	1.05
	200 mm	C_B	1.15
Panjang batang	< 3 m	C_R	0.75
	3 – 4 m	C_R	0.8
	4 – 6 m	C_R	0.85
	6 – 10 m	C_R	1.0
	10 – 30 m	C_R	1.0
Pengambilan contoh	Tabung standar	C_S	1.0
	Tabung dengan pelapis (<i>liner</i>)	C_S	1.1 – 1.3

Lebih lanjut Youd dan Idris menyebutkan nilai fines content (FC) yang dirumuskan sebagai berikut:

$$(N_1)_{60FC} = \alpha + [\beta \times (N_1)_{60}] \dots\dots (7)$$

dimana nilai-nilai α dan β dipengaruhi oleh persentase fines content (FC) sebagai mana dapat dilihat pada Table 2 berikut:

Tabel 2. Nilai α dan β untuk masing-masing prosentase FC^[13]

FC	Nilai	
	α	β
$FC \leq 5\%$	$\alpha = 0$	$\beta = 0$
$5\% < FC < 35\%$	$\alpha = \exp \left[1.76 - \left(\frac{190}{FC^2} \right) \right]$	$\beta = \left[0.99 - \left(\frac{FC^{1.2}}{1000} \right) \right]$
$FC \geq 35\%$	$\alpha = 5$	$\beta = 1.2$

Pada pasir murni dengan besaran skala gempa $M_w = 7.5$ dan $(N_1)_{60cs} > 37.5$ maka nilai $CRR_{7.5} = 2$, dikarenakan tanah kuat menahan beban gempa sehingga tidak perlu dievaluasi. Sedangkan nilai CRR pada besaran skala gempa $M_w = 7.5$ dengan nilai $(N_1)_{60cs} < 37.5$ dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{14 - (N_1)_{60cs}} + \frac{(N_1)_{60cs}}{477} + \frac{70}{[20(N_1)_{60cs} + 477]^2} - \frac{1}{200} \quad \dots\dots\dots(8)$$

Nilai CRR pada besaran skala gempa selain $M_w = 7.5$ diperlukan faktor koreksi yaitu magnitude scale factor (MSF) sebagai berikut:

$$M_w < 7.5, MSF = \frac{10^{0.2 M_w}}{M_w^{0.26}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$M_w > 7.5, MSF = \left(\frac{M_w}{7.5} \right)^{-2.26} \quad \dots\dots\dots(10)$$

Sehingga nilai CRR pada skala gempanya adalah:

$$CRR_{M_w} = CRR_{7.5} \times MSF \times K_\sigma \times K_\alpha \quad \dots\dots\dots(11)$$

Untuk variable K_σ dan K_α pada umumnya bernilai 1.

Potensi Likuifaksi

Langkah selanjutnya adalah perhitungan faktor keamanan atau *safety factor* (SF) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$FS = \frac{CBR_{M_w}}{CBR} \quad \dots\dots\dots(12)$$

Apabila nilai $FS \leq 1$ berarti tanah memiliki potensi terlikuifaksi, akan tetapi jika sebaliknya maka tidak memiliki potensi terlikuifaksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemboran geoteknik

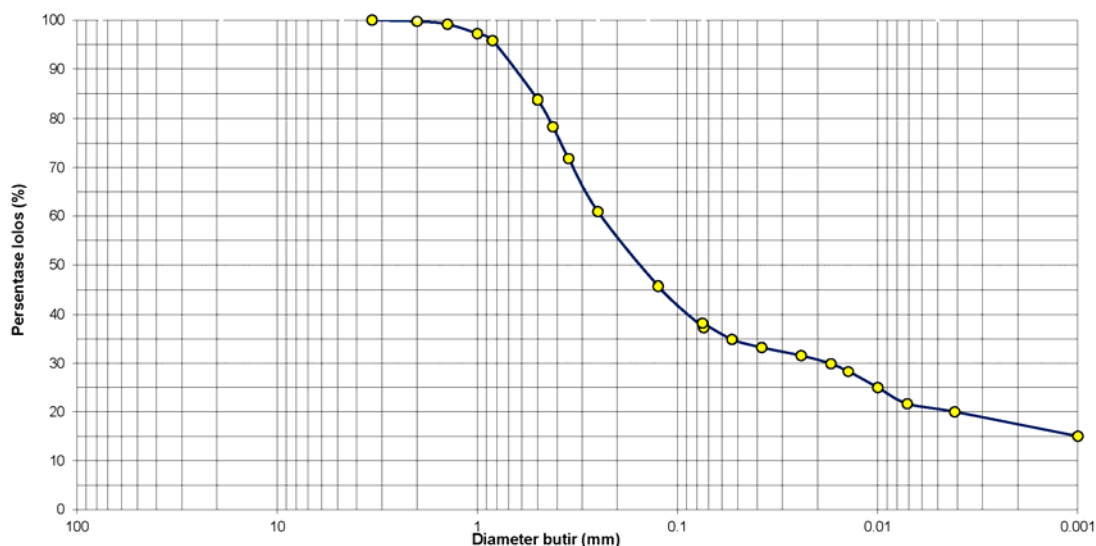
Dalam studi ini hanya menggunakan data bor DH 11 hal ini dikarenakan lokasi lubang bor berada di area bangunan reaktor sehingga sangat mewakili kondisi bawah permukaan dari lokasi studi. Hasil dari pemboran geoteknik yang meliputi antara lain deskripsi material dan nilai N-SPT setiap kedalaman yang ditinjau pada lubang bor DH 11 dapat dilihat pada Table 3. Lapisan pasir lepas dijumpai mulai kedalaman 3 m dengan muka air tanah pada DH 11 ini berada di kedalaman 2 m.

Tabel 3. Hasil eksplorasi tanah DH 11 ^[8]

Kedalaman (m)	Deskripsi material	N-SPT
0.00 – 2.00	clay to silt	12
2.00 – 3.00	clayey to silty sand, yellowbrown	12
3.00 – 6.00	silty to clayey sand, light brown	17
6.00 – 9.00	silty to clayey sand, light brown	39
9.00 – 12.00	silty to clayey sand, light brown	41
12.00 – 15.00	silty to clayey sand, light brown	54
15.00 – 18.00	silty to clayey sand, light brown	37
18.00 – 21.00	sandy claystone 3	53
21.00 – 24.00	sandy claystone 3	30
24.00 – 27.00	sandy claystone 3	37

Hasil uji laboratorium

Pengujian laboratorium dilakukan dalam rangka mengetahui pembagian ukuran butir tanah (gradasi butir). Pengujian ini terdiri dari dua jenis yaitu pengujian analisa saringan dan pengujian hydrometer. Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 3, berdasarkan pengujian diperoleh hasil bahwa sekitar 63 % dari tanah sampel tertahan pada saringan No. 200 (0.075 mm) yang artinya tanah tersebut merupakan tanah berbutir kasar.

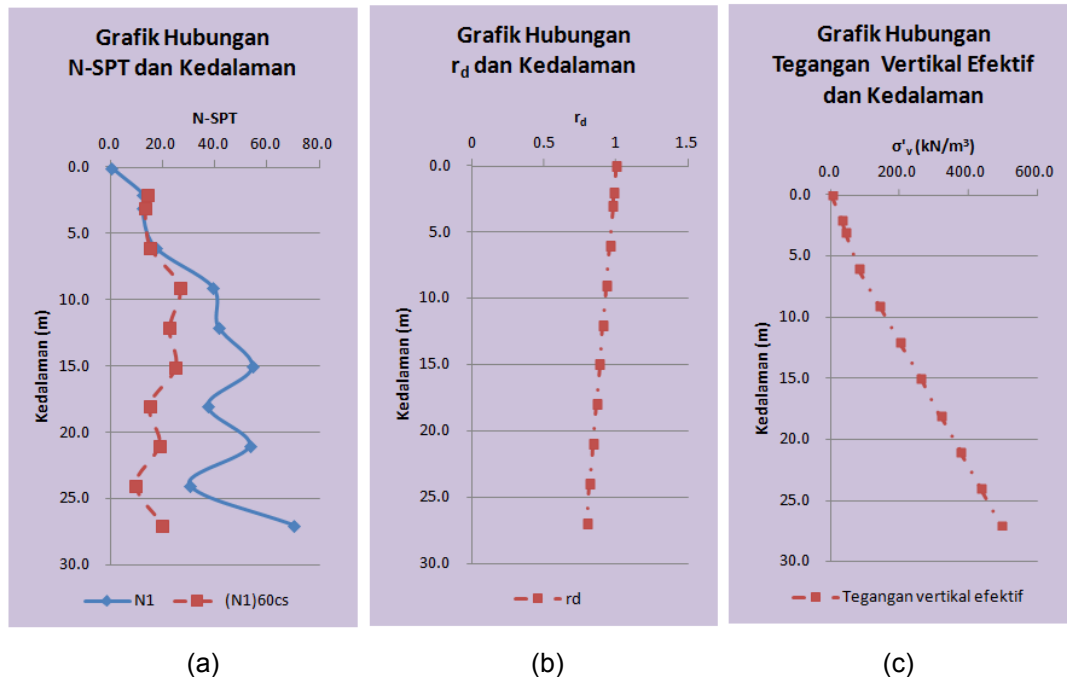


Gambar 3. Distribusi butir hasil analisi ayakan DH-11^[4]

Likuifaksi

Gambar 4(a) menunjukkan nilai N-SPT sebelum dan setelah terkoreksi untuk masing-masing lapisan tanah. Pada pengujian SPT, penggunaan tipe palu dan sistem penjatuhan palu yang berlainan akan menghasilkan nilai N-SPT yang berbeda-beda. Maka dari itu, nilai tersebut harus dikoreksi terhadap standar energi 60%. Nilai N-SPT terkoreksi lebih kecil dari

nilai awal dan secara umum akan semakin besar dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini menunjukkan bahwa pada lapisan bawah, tanah memiliki daya dukung yang lebih besar. Untuk besarnya nilai reduksi tegangan dari tiap lapisan tanah ditunjukkan pada Gambar 4(b). Pada permukaan tanah nilai reduksi tegangan adalah sama dengan 1 (satu) dan akan semakin menurun seiring dengan kedalaman.



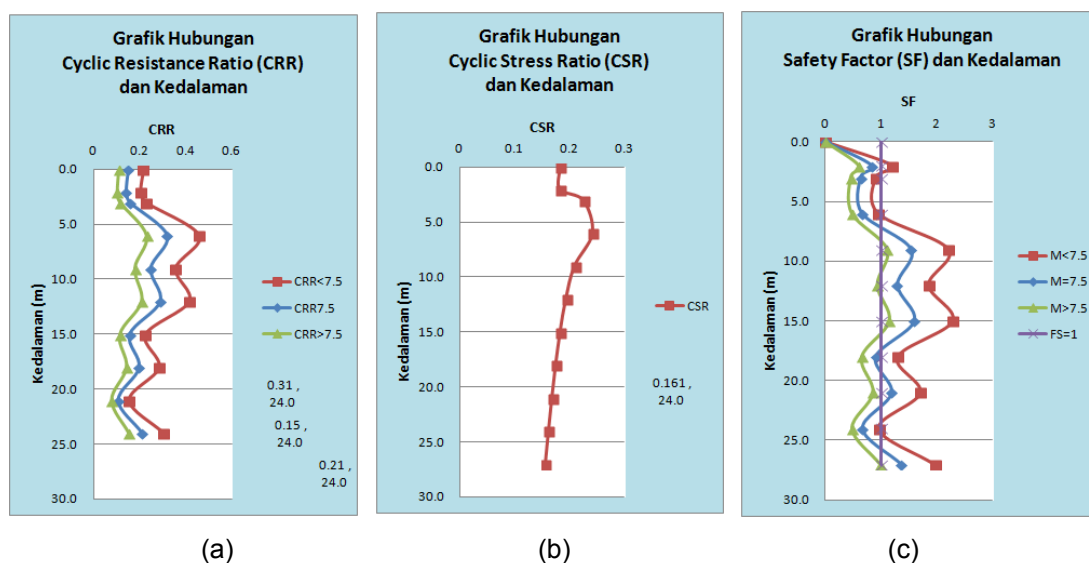
Gambar 4. Variasi dari (a) nilai N-SPT, (b) faktor reduksi r_d , dan (c) tegangan efektif dan overburden dengan kedalaman

Tegangan yang terjadi akibat berat tanah efektif (yang terdendam air) di dalam tanah disebut tegangan vertikal efektif yang mempengaruhi kuat geser dan perubahan volume atau penurunan tanah. Nilai tegangan vertikal efektif 495 kN/m^2 pada kedalaman 27m ditunjukkan pada Gambar 4(c).

Rasio resistansi siklik (CRR), rasio tegangan siklik (CSR), dan faktor keamanan (SF) dari masing-masing lapisan tanah ditunjukkan pada Gambar 5(a) – (c). Nilai ketahanan lapisan tanah terhadap tegangan siklis dapat dilihat pada Gambar 5(a) dimana perhitungan dilakukan pada tiga jenis magnitudo gempa (M_w) yang berlainan yaitu masing-masing $M_w < 7,5$, $M_w = 7,5$ dan $M_w > 7,5$. Sedangkan CSR yang merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata akibat gempa dengan tegangan vertikal efektif di setiap lapisan ditunjukkan pada Gambar 5(b) dimana nilai CSR dari permukaan hingga kedalaman uji sebesar 0.15 – 0.24.

Gambar 5(c) menjelaskan hubungan faktor keamanan (SF) dengan kedalaman. Lapisan yang berpotensi mengalami likuifaksi dengan magnitudo gempa (M_w) masing-masing $M_w < 7,5$, $M_w = 7,5$ dan $M_w > 7,5$ adalah lapisan yang berada di sebelah kiri garis SF, sedangkan lapisan yang aman terhadap likuifaksi adalah lapisan yang berada di sebelah kanan garis SF. Semakin besar M_w maka SF akan semakin kecil. Sebagai contoh pada kedalaman 6 m dengan $M_w < 7,5$ maka nilai SF adalah 0.95 sedangkan pada kedalaman yang sama dengan $M_w > 7,5$ diperoleh nilai SF 0.48. Secara umum lapisan yang berpotensi mengalami likuifaksi terjadi pada lapisan yang memiliki nilai N-SPT yang rendah. N-SPT mencirikan tingkat perlawanan lapisan terhadap tumbukan yang dapat diinterpretasikan menjadi tingkat kepadatan tanah. N-SPT yang rendah mencerminkan bahwa materialnya bersifat lepas (memenuhi kriteria likuifaksi). Hal itu pula yang menyebabkan nilai CRR menjadi lebih rendah dibandingkan nilai nilai CSR sehingga nilai faktor keamanan kurang

dari satu. Selain itu, semakin besar periode ulang guncangan gempa yang digunakan, maka lapisan yang berpotensi mengalami likuifaksi akan semakin meningkat. Jadi lapisan yang mempunyai potensi terlikuifaksi adalah lapisan di kedalaman 2-6m dan 24m.



Gambar 5. Variasi dari (a) nilai CRR, (b) CSR, dan (c) SF dengan kedalaman

KESIMPULAN

Besarnya nilai SF merupakan indikator dimana suatu area studi memiliki potensi likuifaksi atau tidak memiliki potensi likuifaksi. Besarnya SF berbanding linier dengan magnitude gempa. Semakin besar magnitude gempa suatu area studi maka nilai SF juga akan meningkat sehingga potensi likuifaksi akan naik. Likuifaksi akan berdampak pada struktur reaktor yang mana mensyaratkan keselamatan tinggi. Dapat disimpulkan bahwa area bangunan reaktor memiliki lapisan tanah yang berpotensi terlikuifaksi pada kedalaman 2 hingga 6 meter dan pada kedalaman 24 meter.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Badan Tenaga Nuklir yang telah membantu baik dalam bentuk fasilitas, dana maupun peralatan bagi keberhasilan dan kelancaran kegiatan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ibrahim Kamal, 2014. "Liquefaction analysis of alluvial soil deposits in Beda south west of Cairo". *Ain Shams Engineering Journal.*, vol. 5, pp. 647-655
2. Dashti S, Bray JD, Pestana JM, Riemer M, Wilson D. "Mechanisms of seismically induced settlement of buildings with shallow foundations on liquefiable soil." *J Geotech Geoenviron Eng* 2010;136(1):151-64.
3. Ishihara K, Yoshimine M. "Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes." *Soils Found* 1992;32(1):173-88.
4. BATAN, "Laporan Evaluasi Tapak RDE Aspek Geoteknik dan Pondasi". Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Jakarta, Indonesia, 2016.
5. Seed HB. Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes. *J Geotechn Eng Div ASCE* 1979; 105(2):201-55.
6. Housner GW, Jennings PC. Generation of artificial earthquakes. *ASCE J Eng Mech Div* 1964;90:113-50.
7. Scott RF, Zuckerman KA. Sand blows and liquefaction, The Great Alaska Earthquake of 1964-engineering publication 1606. Washington DC: National Academy of Sciences; 1972, p. 179-89.

8. Adalier K. Post-liquefaction behavior of soil systems. I.S. Thesis, Dept of Civil Engineering, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY; 1992
9. Acacio AA, Kobayashi Y, Towhata I, Bautista RT, Ishihara K. Subsidence of building foundation resting upon liquefied subsoil case studies and assessment. *Soils Found* 2001;41(6):111–28.
10. Sancio RB, Bray JD, Stewart JP, Youd TL, Durgunoglu HT, Onalp A, et al. Correlation between ground failure and soil conditions in Adapazari, Turkey. *Soil Dyn Earthq Eng* 2002;22(9–12):1093–102.
11. Youd, T.L. (2004): "Liquefaction Resistance of soils: Summary Report from The 1996 CEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127, No.8, August 2001, pp.817-833.
12. Lonteng, C. V. D., dkk., 2013. Analisis Potensi Likuifaksi di PT. PLN (Persero) UIP KIT SULMAPA PLTU 2 Sulawesi Utara 2x25 MW Power Plan. *Jurnal Sipil Statik* Vol. 1 no. 11, Oktober 2013, pp. 705-717.
13. Youd, T. L., Idriss, I. M., dkk., 2001. Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1. *Geotechnical and Geoenvironmental Eng.*, ASCE 127(10), 817-33.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KAJIAN KESELAMATAN TAPAK RDE BERDASARKAN SURVEI PEDOLOGI DI KAWASAN PUSPIPTEK SERPONG, PROVINSI BANTEN

Hadi Suntoko, Heni Susiati

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

ABSTRAK

KAJIAN KESELAMATAN TAPAK RDE BERDASARKAN SURVEI PEDOLOGI DI KAWASAN PUSPIPTEK SERPONG, PROVINSI BANTEN. Serpong telah memenuhi syarat menjadi tapak RDE sesuai Perka BAPETEN No 8/2013 tentang aspek kegempaan, yang salah satunya dilakukan kajian berdasarkan survei pedologi hingga radius 25 km, meliputi beberapa Kabupaten di Provinsi Banten. Pendataan pedologi memberikan informasi kondisi geologi permukaan melalui deskripsi tanah dan tata guna lahan yang menunjukkan jejak tektonik/ patahan yang dapat dikenali dengan perubahan posisi tanah. Tujuan survei adalah untuk kajian keselamatan tapak RDE dari karakteristik patahan terutama jejak patahan yang dapat dikenali dari kondisi geologi tanah/ pedologi. Hampir semua lokasi di permukaan bumi telah mengalami pelapukan batuan menjadi tanah akibat sifat fisik kimia, namun akan memberikan arti berbeda jika tanah pelapukan mengalami perubahan dan memperlihatkan karakteristik yang berbeda dengan tanah di sekitarnya, jarang penghuninya, dan terjadi perubahan lereng. Metode yang digunakan meliputi pengamatan tanah melalui deskripsi, identifikasi lereng, dan penggunaan tata guna lahan. Alat yang digunakan bor tangan sederhana, klinometer dan *Global Positioning System* (GPS) dan MapInfo. Hasil kajian menunjukkan bahwa geologi permukaan/tanah hasil proses pelapukan batuan dasar tidak menunjukkan perubahan, perbedaan tanah dengan tanah yang ada di sekitarnya.

Kata kunci: Tapak RDE, Pedologi, Patahan.

ABSTRACT

ASSESSMENT OF SAFETY SITE BASED ON THE PEDOLOGY SURVEY IN THE PUSPIPTEK SERPONG, BANTEN PROVINCE. Serpong has qualified to become the RDE site according to Perka BAPETEN No. 8/2013 on aspects of seismicity one study involved a survey pedology to a radius of 25 km covering several districts in Banten Province. Collecting pedology data provided an information on geological condition through the soil and land use descriptions that show traces of tectonic/fault, it could be identified by physical changes in the soil. The purpose is to study the safety survey RDE site of the characteristics of fracture, especially fracture traces that can be identified by the surface geological soil/pedology. Almost all locations on Earth's surface rocks have experienced weathering into soil due to physical and chemical properties, but it will give a different meaning if the soil weathering changes and exhibit different characteristics than the surrounding soil, rare inhabitants, and change the slopes. Methods used include observations of the soil through the descriptions, identification of the slope, and the use of land use. Tools used a hand simple drill, clinometers and *Global Positioning System* (GPS) and MapInfo. The results showed that the surface geological/soil bedrock weathering process results showed no change, differences in land with the land in the surrounding areas.

Keywords: RDE Site, Pedology, Fault

PENDAHULUAN

PKSEN-BATAN melakukan penyiapan tapak Reaktor Daya Eksperimental (RDE) sebagai Reaktor Daya Non Komersial untuk riset dan penelitian. Dalam melakukan penyiapan tapak tersebut, kegiatan meliputi pengumpulan data, analisis dan evaluasi tapak yang didalamnya termasuk melakukan analisis kelayakan dan desain rekayasa[1]. Kelayakan tapak didasarkan pada beberapa aspek penelitian dan pada kegiatan ini terutama didasarkan pada aspek kegempaan yang meliputi ada tidaknya patahan kapabel dalam radius 5 km dan nilai percepatan tanah di suatu tapak yang tidak melebihi 0.6 g. Untuk membuktikan patahan kapabel perlu melakukan survei lapangan/konfirmasi permukaan tanah untuk membuktikan ada tidaknya patahan permukaan yang salah satunya melalui identifikasi geologi tanah/pedologi sesuai Perka Bapeten No. 8 tahun 2013 [1].

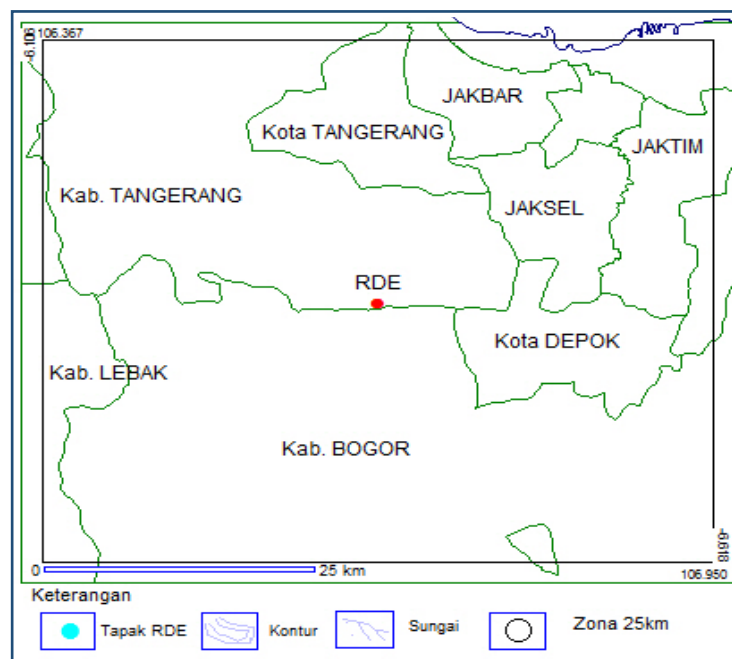
Pendataan geologi tanah atau pedologi merupakan pendataan untuk melakukan identifikasi perubahan tanah terutama ditinjau dari pembentukan tanah (pedogenesis), morfologi tanah (sifat dan ciri fisika dan kimia), dan klasifikasi tanah yang terkait dengan tanah yang terdeformasikan [2]. Klasifikasi tanah memiliki berbagai versi, karena tanah merupakan benda dinamis yang selalu mengalami proses perubahan, terbentuk dari pelapukan batuan akibat oleh proses kimia fisika di lapisan bawah atmosfer, adanya iklim, topografi, dan aktivitas organisme.

Kegiatan evaluasi tapak RDE yang didasarkan dari Perka BAPETEN merupakan referensi penelitian untuk melakukan karakterisasi tapak terkait dengan analisis data geologi tanah dan kegempaan. Perka BAPETEN yang berisi persyaratan tapak tersebut memuat kriteria bahwa pada radius 5 km dari tapak RDE tidak boleh ada patahan kapabel. Berdasarkan IAEA, patahan kapabel merupakan patahan yang berpotensi untuk mengakibatkan terjadinya deformasi di permukaan dan mempunyai potensi signifikan terjadinya pergeseran di dekat permukaan [3].

Tujuan penelitian adalah memperoleh karakteristik tanah melalui identifikasi geologi permukaan (tanah) dan perubahannya oleh akibat adanya patahan yang dapat ditunjukkan pada perubahan fisik tanah. Perubahan fisik tanah dapat dikenali melalui deskripsi, dan uji insitu untuk mendapatkan informasi tanah yang mengalami deformasi. Sedangkan tujuan penelitian adalah keselamatan tapak RDE, dari potensi bahaya patahan kapabel [4].

Lokasi survei berada di radius 25 km dari tapak RDE yang meliputi 12 Kabupaten/Kota terdiri dari Kabupaten Tangerang, Tangerang Selatan, Lebak, Depok, Bogor, Jakarta Selatan, Jakarta Barat, Jakarta Timur, Jakarta pusat, dan Jakarta Utara (Gambar 1).

Hasil evaluasi diharapkan memperoleh karakteristik tapak dalam rangka untuk keselamatan tapak dan mengenali potensi bahaya alam terhadap tapak. Keselamatan tapak menganut prinsip bahwa tanpa-bencana (*no-catastrophy*) dan tanpa-evakuasi (*no-evacuation*) pada kondisi kecelakaan terparah (terpostulasi). Tapak RDE di Kawasan Puspiptek Serpong, telah memenuhi persyaratan izin tapak oleh BAPETEN [4].



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian [4]

METODOLOGI

Metode survei meliputi pendataan lapangan, tes uji laboratorium dan pelaporan. Pendataan lapangan meliputi diskripsi tanah, analisis lereng dan peruntukan tata guna lahan menggunakan peta dasar topografi, peta geologi dan peta tata guna lahan yang telah terpublikasi. Analisis lereng dilakukan berdasarkan kondisi tanah yang mengalami perubahan sifat fisik akibat deformasi/patahan, tanah berlereng karena kestabilan tanah dan

adanya pemukiman penduduk. Sedangkan tata guna lahan merupakan lahan/lokasi yang digunakan untuk kegiatan manusia sesuai peruntukan.

Dalam kegiatan pendataan lapangan untuk mendiskripsi data yang diperoleh menggunakan data singkapan batuan/tanah terutama batuan/tanah yang dilalui jalur kelurusan atau yang diduga adanya patahan [5]. Singkapan tanah pada jalur patahan selanjutnya dideskripsi, dan ditandai pada peta lokasi pengamatan, berupa peta lintasan. Peta yang terkait meliputi: 1) Peta lokasi menggunakan peta dasar roman bumi yang dipublikasikan oleh BIG, 2) Peta topografi merupakan peta kontur yang menggambarkan tingkat kelerengan dan 3) Peta geologi, terutama peta tanah yang memberikan informasi susunan tanah/batuan yang berada di sekitar lokasi patahan yang dicurigai sebagai patahan berdasarkan data citra (peta-peta tematik).

Peta Geologi Regional Daerah Jakarta dan sekitarnya, Skala 1:100.000, yang digunakan untuk identifikasi *landform* terutama pada penilaian jenis tanah. Peta struktur geologi yang menginformasikan penyebaran struktur geologi terutama pada radius 25 km [6, 7].

Pendataan lereng menggunakan peta topografi yang menunjukkan nilai ketinggian/kontur. Kerapatan kontur dapat dianalisis dari nilai garis kontur yang memberikan informasi kerapatan lereng. Jika kontur rapat menunjukkan lereng terjal, kontur kurang rapat berarti lereng sedang dan lereng landai ditunjukkan kontur tersebut jarang. Tingkat kelerengan mengindikasikan kestabilan tanah, yaitu lereng terjal, lurus, menerus dan panjang yang diakibatkan adanya gerakan tanah atau patahan. Gerakan tanah akibat alam memberikan kesan original yang tidak ada kaitannya dengan kegiatan manusia dan lereng tersebut umumnya terjal.

Peta Kelas Lereng pada skala peta 1 : 25.000. Peta kelas lereng yang merupakan turunan dari peta topografi (peta kontur), sumber data: Peta Rupa Bumi Indonesia, BIG (2004), dan hasil interpretasi citra Landsat TM 7 (2010).

Peta tata guna lahan memberikan informasi kondisi lahan saat sekarang, jika lahan tersebut dihuni oleh penduduk berarti aman, hal ini dapat menunjukkan bahwa daerah tersebut tidak terganggu oleh adanya kegiatan tektonik di sekitar penelitian [8]. Peta penggunaan lahan 5 tahun terakhir yang diperoleh dari peta Rupa Bumi Indonesia (2004), dan hasil interpretasi citra Landsat TM (2010), sumber data: LAPAN dapat memberikan informasi untuk analisis keberadaan pemukiman penduduk yang ada.

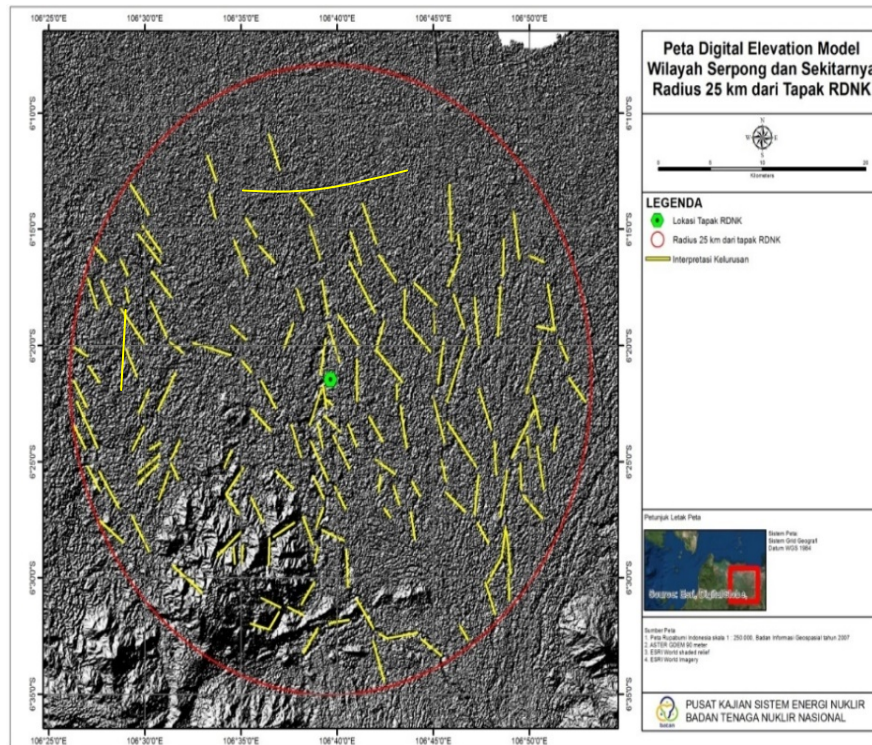
Peralatan survey lapangan meliputi: bor tanah, jenis *auger handbor*. Jenis bor lipat, sampai kedalaman 1,2 m. alam, klinometer untuk mengukur kemiringan, ketinggian, dan kompas mata angin, *Global Positioning System* (GPS) tipe Garmin 76CSx untuk menentukan posisi geografis (koordinat) lintang dan bujur (sistem geografis), kompas serta elevasi (ketinggian tempat). *Munsell soil colour chart* untuk penentuan warna matriks tanah. Buku *Munsell* memiliki tiga notasi warna: kilap (*hue*), nilai (*value*), dan kroma (*chroma*). *Ring sampler* untuk pengambilan contoh tanah utuh dan dikemas dalam satu paket yang ditempatkan dalam sebuah kotak. Ukuran ring sampler adalah tinggi 4 cm, diameter luar 7,93 cm dan diameter dalam 7,63 cm, dengan nisbah tebal tabung kurang dari 0,1. Pisau lapang, meteran dan sekop tangan untuk membantu pengambilan contoh tanah dan pada saat deskripsi sifat tanah, menyegarkan tanah (mengupas permukaan tanah), menguji kekerasan tanah, membuat tanda atau batas lapisan atau horizon tanah. Meteran untuk mengetahui ketebalan horizon dan kedalaman tanah. Sekop tangan digunakan untuk pengambilan contoh tanah dalam agregat yang lebih besar. Selanjutnya tanah ini akan digunakan untuk mendeskripsi sifat tanah di lapangan, sebagai contoh tekstur, struktur, dan konsistensi [10].

Peralatan studio terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) untuk input, menganalisis, dan menyimpan data-data. Data spasial diolah melalui *software Arc.GIS (all version)*. Data numerik dan data-data lain disimpan dan diolah melalui perangkat *software Microsoft Office*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Survei geologi permukaan dilakukan untuk mengetahui kondisi elemen struktur geologi yang berkembang di titik pengamatan. Dugaan patahan dalam radius 25 km diindikasikan melalui citra DEM Terra SAR-X, berupa pola sungai, bentuk sungai dan morfologi alam. Hasil analisis data geologi dan geofisika, hasilnya mendominasi arah kelurusan tenggara-barat laut (Gambar 2). Pola kelurusan tersebut selanjutnya dilakukan konfirmasi lapangan dan pembuktian melalui data geologi dan geomorfologi [8].

Survei pendahuluan atau konfirmasi lapangan dilakukan untuk pengujian awal kondisi lapangan berdasarkan interpretasi citra dan *ground check* penggunaan lahan. Hasil interpretasi *landform* berikut batas-batasnya adalah peta pembaharuan dan hasil lainnya berupa data skunder yang meliputi data iklim, sosial ekonomi, jenis tanah pada *landform* dan kecocokan dari peta satuan tanah [9].

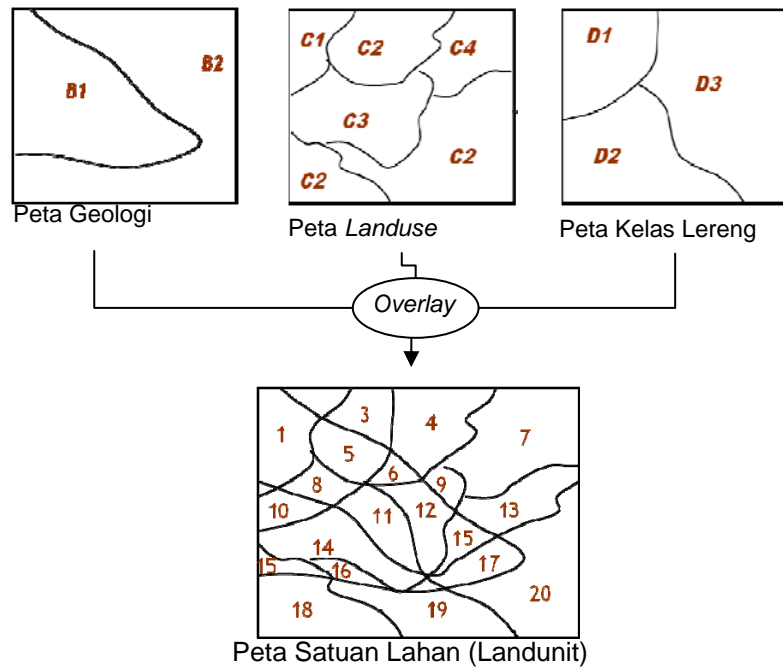


Gambar 2. Peta Digital Elevation Model (DEM) Radius 25 Km [4]

Informasi penggunaan lahan existing menggunakan analisis software ER-Mapper dan ERDAS untuk klasifikasi penutupan lahanyang dapat diklasifikasikan menjadi: hutan, perkebunan, lahan pertanian (sawah, tegalan), pemukiman dan kawasan industri. Interpretasi citra dengan memperbesar spesifik wilayah kajian, dilakukan klasifikasi dengan mengganti setiap kelas warna pada citra yang ada dan disesuaikan dengan interpretasi. Hasil klasifikasi penutupan lahan ini kemudian deliniasi sehingga menghasilkan peta penggunaan lahan. Dalam pembuatan peta tersebut menggunakan perangkat lunak ArGis dan koordinatnya memanfaatkan GPS (*Geographic Information System*).

Klasifikasi penutupan lahan mengacu pada SNI 7645: 2010 yang menyebutkan bahwa peta satuan lahan (lahan) merupakan kelompok lahan yang memiliki sifat-sifat hampir sama, dan penyebarannya digambarkan melalui peta. Pada prinsipnya penyusunan peta adalah membuat satuan lahan (*land unit*) yang merupakan satuan/unit pengamatan dari survey tanah/soil, [10]. *Land unit* diperoleh dengan meng-overlay peta-peta tematik (Gambar 3). *Software* yang digunakan adalah ArcGIS 10.1 dan proses *overlay* menghasilkan poligon-poligon baru dengan atribut kondisi lahan sesuai dengan informasi pada peta-peta tematik penyusunnya. Informasi perubahan tanah dapat ditunjukkan adanya lapisan keras di sekitar tanah, warna kehitaman akibat panas akibat tekanan dan gerak garak.

Hasil *overlay* berupa poligon-poligon baru yang merupakan pengelompokan lahan berdasarkan kesamaan sifat-sifatnya dan sifat komponen satuan lahan yang berbeda. Langkah selanjutnya berupa penetapan lokasi pengamatan dan pengambilan contoh tanah. Penetapan titik pengamatan mengacu kepada metode survei tanah yang diterapkan berbebas sistematis, yakni basis bebas sistematis melalui penentuan yang berdasarkan land unit dibuat berdasarkan data peta yang selengkap-lengkapnyanya.



Gambar 3. Skema *overlay* peta tematik dalam penentuan satuan peta tanah

Pengamatan dan pengambilan contoh tanah rata-rata dilakukan di tengah-tengah satuan lahan, terutama tanah yang dekat dengan dugaan patahan permukaan [11].

Titik pengamatan tanah terdiri dari 60 lokasi yang tersebar pada radius 25 km dari tapak RDE guna mendapatkan informasi kondisi tanah, penggunaan lahan dan kondisi tanah pada posisi kemiringan lereng (Tabel1).

Tabel 1. Data Pengamatan Kondisi Lahan Radius 25 km

Kode Satuan Lahan	Kode Contoh	Koordinat (dec.degree)		Lokasi Administrasi	Elevasi (m dpl)	Bahan Induk	Kemiringan Lereng		Penggunaan Lahan		Drainase	Batuan Permukaan
		X (BT)	Y(LS)				Persen	Kelas	Tipe	Vegetasi		
SL 1	1	106.64024	-6.34127	Desa cisauk, kecamatan cisauk, tangerang selatan	56,7	Tpss	9%	Bergelombang	Kebun Campuran	Albasiah, jabon, petai, alang-alang	Baik	Sedikit (<5 %)
SL 2	2	10,664,186	-634,119	Desa keranggan, kec setu	-	Tmb	8%	datar	tegalan	singkong, alang-alang	baik	Sedikit (<5 %)
SL 3	3	10,664,349	-634,099	Desa keranggan, kec setu	-	Qa	8%	datar	ladang	pisang, singkong talas	baik	Sedikit (<5 %)
SL 4	4	10,664,974	-634,624	Desa cisauk, kecamatan cisauk, tangerang selatan	-	Qa	7%	datar	ladang	pisang, paku-pakuan, semak belukar	baik	Sedikit (<5 %)
SL 5	5	10,665,376	-634,734	Desa cisauk, kecamatan cisauk, tangerang selatan	-	Tmb	3%	datar	tegalan	alang-alang	baik	Sedikit (<5 %)
SL 6	6	10,665,503	-634,581	Kelurahan kerangga, kecamatan setu	-	Tpss	12%	Bergelombang	Semak belukar	alang-alang	Agak terhambat	Sedikit (<5 %)
SL 7	7	10,663,489	-634,256	Desa cisauk, kecamatan cisauk, tangerang selatan	-	Tpg	10%	Bergelombang	tegalan	singkong, albasia	baik	Sedikit (<5 %)
SL 8	8	10,665,458	-636,791	Sukamulya, rumpin	107	Tpss	16%	berbukit	Semak belukar	alang alang, rumput, bambu	baik	Sedikit (<5 %)
SL 9	9	10,668,161	-635,137	Kampung cibogo kulon	-	Qav	3%	datar	tegalan	kangkung, kersem, rumput	Agak terhambat	Sedikit (<5 %)
SL 10	10	10,669,391	-634,977	Puspitek serpong	79,19	Qav	3%	datar	tegalan	pisang singkong talas	agak terhambat	Sedikit (<5 %)
SL 11	11	10,671,732	-636,182	Puspitek serpong	82,56	Qaf	2%	datar	tegalan	pisang singkong rumput	Agak terhambat	Sedikit (<5 %)
SL 12	12	10,664,917	-638,866	Desa sukamulya	112,84	Tpss	20%	berbukit	sawah	padi, gandaria	buruk	Sedikit (<5 %)
SL 13	13	10,666,358	-639,311	Kampung barengkok, kecamatan jasinga	201,52	Tmb	15%	Bergelombang	Semak belukar	karet, singkong, rumput, alang-alang	cepat	Sedikit (<5 %)
SL 14	14	10,685,122	-626,953	Bintara, pulau gebang, bekasi	17,67	Qaf	3%	datar	pemukiman	belimbing, jambu air, rumput	buruk	Sedikit (<5 %)
SL 15	15	10,664,115	-639,179	Desa ciomas, kecamatan tenjo, bogor	-	Tmb	8%	datar	lahan kosong	rumpun	baik-cepat	Sedikit (<5 %)
SL 16	16	10,660,176	-636,924	Kampung parigi, desa sukamulya	87,61	Qv	27%	berbukit	tegalan	pisang, nanas, singkong, jarak	agak cepat	Sedikit (<5 %)
SL 17	17	10,656,431	-635,909	Desa parung panjang, parung panjang	101,54	Tmrs	7%	datar	Kebun sekunder	petai cina, singkong, alang-alang	baik	Sedikit (<5 %)
SL 18	18	10,654,789	-636,254	Desa lumpang, parung panjang, bogor	-	Tmb	2%	datar	Kebun Campuran	pisang, alang-alang, singkong	baik	Sedikit (<5 %)
SL 19	19	10,654,473	-641,402	Desa ciomas, kecamatan tenjo, bogor	102,03	Tmb	3%	datar	tanah kosong	rumpun	cepat/ baik	Sedikit (<5 %)
SL 20	20	10,654,739	-641,790	Desa ciomas, kecamatan tenjo, bogor	98,42	Qvas	5%	datar	hutan sekunder	kayu hutan, albasia	cepat ?baik	Sedikit (<5 %)
SL 21	21	10,655,378	-641,732	Desa jayabaya, parung panjang, bogor	-	Tmb	12%	bergelombang	hutan sekunder	Albasiah, jabon, petai, alang-alang	cepat/ baik	Sedikit (<5 %)
SL 22	22	10,653,891	-644,725	Desa sukamulya sumpin bogor	-	Qv	25%	berbukit	tegalan	pisang nanas	baik	Sedikit (<5 %)
SL 23	23	10,653,091	-649,985	Cintamanik cigudeg bogor	149,13	Qv	35%	agak Curam	perkebunan rakyat	karet, sawit	baik/cepat	Sedikit (<5 %)
SL 24	24	10,652,666	-647,610	Lebak wangi, batujaya cigudeg	1,31	Qvas	4%	datar	tegalan	pisang albasia	terhambat	Sedikit (<5 %)
SL 25	25	10,650,976	-647,881	Desa argapura cigudeg	1,38	Tmrs	3%	datar	hutan sekunder	pisang singkong kaliandra	agak terhambat	Sedikit (<5 %)
SL 26	26	10,650,996	-650,982	Mekarjaya cigudeg	1,67	Tmbt	5%	datar	tegalan	pisang singkong pepaya	agak terhambat	Sedikit (<5 %)
SL 27	27	10,650,708	-650,337	Argapura cigudeg	-	Tmbt	4%	datar	perkebunan rakyat	karet	cepat/baik	Sedikit (<5 %)
SL 28	28	10,652,082	-650,787	Argapura cigudeg	-	Qvb	2%	datar	perkebunan	sawit	baik	Sedikit (<5 %)
SL 29	29	10,651,907	-651,303	Bunar cigudeg	-	Qvb	10%	bergelombang	ladang	singkong	baik	Sedikit (<5 %)
SL 30	30	10,651,805	-651,358	Cigudeg, cigudeg	213,3	Tmb	25%	berbukit	hutan sekunder	bambu, pinus	cepat/ baik	Sedikit (<5 %)
SL 31	31	10,652,197	-651,778	Bunar cigudeg	300,47	Qvb	12%	bergelombang	Kebun Campuran	singkong pisang jati	baik	Sedikit (<5 %)

Tabel 1. Data pengamatan kondisi lahan radius 25 km (lanjutan)

SL 32	32	10,651,585	-651,647	Bunar cigudeg	188, 06	Tmb	3%	datar	semak belukar	rumput	cepat /baik	Sedikit (< 5 %)
SL 33	33	10,650,613	-651,034	Mekarjaya cigudeg	1,85	Tmkt	5%	datar	kebun masyarakat	pisang pepaya kelapa	cepat/baik	Sedikit (< 5 %)
SL 34	34	10,646,626	-645,901	Pamagersan, jasinga	107, 07	Tba	17%	berbukit	hutan rakyat	jati, manggis, bambu	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 35	35	10,663,648	-647,319	Desa rabak, kec rumpin	-	Tpss	2%	datar	tanah kosong	rerumputan	agak cepat	Sedikit (< 5 %)
SL 36	36	10,664,544	-647,863	Desa rabak, kec rumpin	131,38	Tpss	5%	datar	Semak belukar	alang - alang	cepat/baik	Sedikit (< 5 %)
SL 37	37	10,663,996	-649,422	Cibodas, rumpin	129, 4	Qav	2%	datar	perkebunan	karet	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 38	38	10,665,985	-651,983	Ds cidokon, rumpin	-	Tmbt	10%	bergelombang	tegalan	singkong, pisang	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 39	39	10,669,893	-651,953	Ds cikodom, rumpin	156, 82	Qav	5%	datar	tegalan	albasia, singkong	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 40	40	10,669,103	-652,516	Kampung cibogo, kec kelapa dua	-	Tmpb	3%	datar	ladang	sayuran, singkong, pisang	Agak terhambat	Sedikit (< 5 %)
SL 41	41	10,668,644	-653,435	Ds cairuteun illir, cibungbulang	171,96	Qav	3%	datar	ladang	singkong, pisang	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 42	42	10,668,485	-655,681	Ds cismepe, kec ciampea	201, 76	Tmbi	25-40 %	agak curam	kebun	pohon jati	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 43	43	10,668,147	-656,320	Ds ciampea	206, 33	Qvst	20%	berbukit	kebun	jati, pisang	agak terhambat	Sedikit (< 5 %)
SL 44	44	10,664,725	-657,166	Galuga, kec bungbulang, bogor	279, 15	Qvsv	2%	datar	Semak belukar	alang-alang jarak	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 45	45	10,664,463	-656,401	Cijungjung	280, 59	Qvi	13%	bergelombang	hutan sekunder	albasia, semak	baiki	Sedikit (< 5 %)
SL 46	46	10,665,039	-655,209	Ds cijutyang, cibungbulang, bogor	265, 45	Tmbi	<8%	datar	Kebun Campuran	gandaria, bambu	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 47	47	10,664,433	-653,878	Kerehkel, leuwiliang, bogor	-	Tmb	10%	bergelombang	Tegalan	pisang, kelapa, mangga, kacang panjang	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 48	48	10,662,640	-653,828	Leuwi batu, rumpin	265, 45	Qvb	15%	bergelombang	kebun campuran	singkong, petai cina	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 49	49	10,662,343	-655,670	Leuwi batu, leuwi liang	200, 39	Qpv	30%	agak curam	kebun	jati, pisang	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 50	50	10,662,208	-656,396	Leuwi mwar, leuwiliang	138,56	Qpv	23%	berbukit	semak belukar	rumput, semak	cepat/baik	Sedikit (< 5 %)
SL 51	51	10,660,878	-655,717	Cibanteng, leuwisadeng	-	Tmb	9%	Bergelombang	ladang	singkong, karet	cepat/baik	Sedikit (< 5 %)
SL 52	52	10,657,987	-654,944	Leuwidaseng, kec leuwiliang	353,48	Tmtb	18%	Berbukit	kebun rakyat	jati, manggis, bambu	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 53	53	10,657,721	-654,870	Kmp Cikadu, Desa Sadeng, Kecamatan Leuwisadeng	353,41	Tmtb	-	-	hutan sekunder	afrika, jengjeng	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 54	54	10,670,270	-637,898	Desa Cisauk, Kecamatan Cisauk, Tangerang selatan	-	Qav	27	agak curam	tegalan	pisang bambu	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 55	55	10,672,971	-616,156	Daan mogot, jakarta barat	45, 31	Qbr	2%	datar	Kebun Campuran	singkong, pisang	baiki	Sedikit (< 5 %)
SL 56	56	10,674,034	-615,428	Kebunjeruk, jakarta barat	-	Qtvb	2%	datar	tegalan	singkong	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 57	57	10,674,934	-615,267	Daan mogot, jakarta barat	53	Qbr	2%	datar	Kebun Campuran	petai cina, singkong, alang-alang	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 58	58	10,662,984	-620,973	Cipete, jakarta selatan	59	Qtvb	2%	datar	semak belukar	alang-alang	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 59	59	10,654,994	-616,560	Cikupa, tanggerang	49,87	Qa	3%	datar	semak belukar	alang-alang	baik	Sedikit (< 5 %)
SL 60	60	10,647,604	-623,492	Cikupa, tanggerang	49, 87	Qtvb	1%	datar	Semak belukar	alang-alang	baik	Sedikit (< 5 %)

Contoh deskripsi tanah pada salah satu sampel di desa Cisauk, berupa perselingan konglomerat, batu pasir, batu lanau, batu lempung dengan sisa tanaman, konglomerat batu apung dan tuf batu apung.

Pelapukan tanah termasuk Formasi Serpong berumur Pliosen Akhir.

Berdasarkan kenampakan batuan, struktur sedimen dan bentuk sebarannya yang di sepanjang sungai, maka formasi ini diduga diendapkan pada sungai tua yang berpola menganyam dan bertanggul (leve), dan sebagian di endapkan pada lingkungan rawa. Sampel tanah lain pada salah satu titik pengamatan masih berada di Cisauk, berupa perselingan antara batupasir tufaan, berwarna abu-abu sampai abu-abu kecoklatan, berbutir sedang sampai kasar, terpilah baik, membundar baik, dijumpai adanya lapisan bersusun dan struktur silang siur, kadang-kadang lempungan, mengandung lignit, perlapisan baik, dengan lempung, kadang-kadang pasir atau tufaan Gambar 4.



Kode Satuan Lahan : SL 1
Lokasi : Kel. Suradita, Kec. Cisauk,
Kabupaten Tangerang
Jenis Tanah : *Typic Dystrudepts*



Kode Satuan Lahan : SL 15
Lokasi : Kel. Suradita, Kec. Cisauk,
Kabupaten Tangerang
Jenis Tanah : *Typic Dystrudepts*



Kode Satuan Lahan : SL 4
Lokasi : Kel. Suradita, Kec. Cisauk,
Kabupaten Tangerang
Jenis Tanah : *Aquic Dystrudepts*

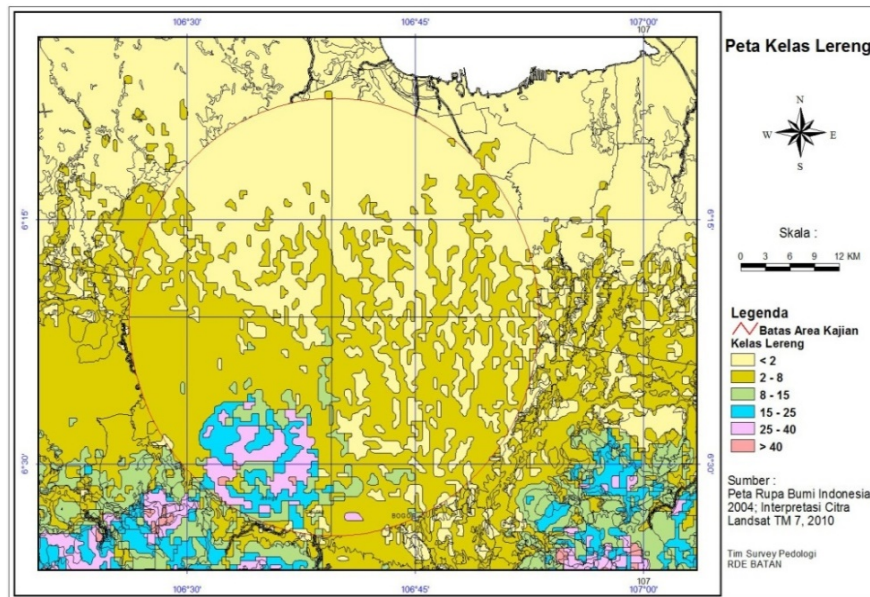


Kode Satuan Lahan : SL 21
Lokasi : Kel. Kabasiran, Kec. Parung
panjang, Kab. Bogor
Jenis Tanah : *Typic Dystrudepts*

Gambar 4. Foto Kegiatan Pengamatan dan Pengambilan Contoh Tanah

Analisis yang dilakukan terhadap sifat-sifat fisik tanah di lapangan susah ditunjukkan langsung, namun perubahan sifat dan karakteristik tanah yang diakibatkan oleh patahan perlu ketelitian dan sampel yang cukup banyak dan detail untuk mendukung kajian yang lengkap. Kelengkapan data analisis memudahkan interpretasi terhadap jenis tanah yang memperlihatkan perubahan fisik. Hasil pengamatan tanah baik langsung maupun dalam sampel secara keseluruhan tidak menunjukkan adanya perubahan fisik yang signifikan, ditunjukkan juga lokasi sekitar pengamatan berupa lahan tanah subur, tidak ada identifikasi perubahan fisisk dan lahan ditempati oleh masyarakat.

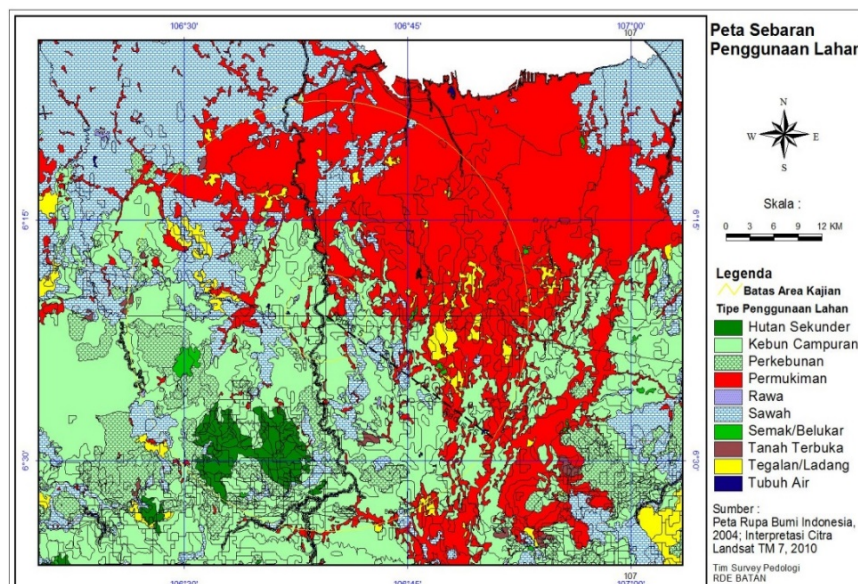
Pengamatan lereng yang didasarkan dari peta kelas lereng dari peta roman bumi menunjukkan bahwa bagian selatan kelas lereng lebih terjal dibanding dengan bagian utara cenderung memiliki kelas lereng yang landai. Terkait dengan kestabilan tanah maka bagian selatan lebih memungkinkan adanya gangguan tektonik, namun lokasinya jauh dari tapak RDE. Kestabilan tanah terganggu akibat patahan permukaan tektonik dapat dilihat dari lapisan tanah yang cenderung berlereng. Peta Kelas Lereng pada skala peta 1 : 25.000 merupakan turunan dari peta topografi (peta kontur), sumber data: Peta Rupa Bumi Indonesia (2004) BIG, dan hasil interpretasi citra Landsat TM 7 (2010), Gambar 5.



Gambar 5. Peta Kelas Lereng di Area Kajian

Pengamatan dan informasi peta tata guna lahan memberikan informasi kondisi lahan yang dihuni oleh penduduk menunjukkan tidak adanya gangguan kestabilan tanah akibat tektonik/patahan permukaan di wilayah radius 25 km dari tapak RDE[12]. Warna merah memberikan informasi hunian penduduk yang sesuai dengan kelayakan lahan yakni stabil, subur dan datar, Gambar 6.

Peta penggunaan lahan, 5 tahun terakhir yang diperoleh dari peta Rupa Bumi Indonesia (2004), dan hasil interpretasi citra Landsat TM (2010), sumber data: LAPAN. Contoh tanah di lapangan dideskripsi meliputi warna, tekstur, pelapukan dan kekerasannya [13]. Titik sampel dan tes uji fisik dilakuakn berdasarkan singkapan tanah terutama pada data perubahan tekstur tanah, Tabel 1. Perubahan tersebut memberikan informasi adanya tekanan pada tanah, dan tekanan tersebut dapat diindikasikan adanya gerakan tanah akibat dugaan patahan.



Gambar 6. Peta Penggunaan Lahan di Area Kajian

Perubahan yang mungkin diinterpretasikan jalur rekahan dapat dipetakan pada setiap satuan tanah dalam peta yang diwakili oleh satu profil tanah, dan pemilihan lokasi profil menentukan kualitas data. Masing-masing horizon diidentifikasi sifat-sifatnya dan hasil

identifikasi direkapitulasi dalam kartu deskripsi profil tanah[9]. Horizon-horizon (lapisan-lapisan) tanah digunakan sebagai dasar untuk pengambilan contoh tanah. Pengambilan contoh tanah dilakukan satu contoh perwakilan untuk setiap horizon tanah untuk tujuan klasifikasi tanah dan evaluasi lahan. Pengambilan contoh tanah dilakukan melalui boring. Setiap pemboran tanah pada kedalaman tertentu bor tanah diangkat per kedalaman mata bor dan kelipatannya, tanah yang terambil pada setiap pengangkatan mata bor dipisahkan dan menjadi satuan contoh tanah per kedalaman. Survei tanah menghasilkan klasifikasi tanah dan peta tanah, dengan mengelompokkan tanah-tanah dengan sifat-sifat yang sama menjadi satu satuan peta tanah [10].

Berdasarkan hasil kajian survei pedologi dengan data yang dapat dianalisis dan diinterpretasikan dalam radius 25 km, tidak ada perubahan tanah, sifat tanah dan perubahan lereng terkait kegiatan tektonik. Sesuai Perka BAPETEN Nomor 8 tahun 2013 tentang evaluasi tapak instalasi nuklir untuk aspek kegempaan, maka patahan kapabel tidak ditemukan dalam radius 25 km dari tapak RDE.

KESIMPULAN

Hasil survei geologi tanah/pedologi menunjukkan bahwa karakteristik geologi tanah, kondisi lereng dan tata guna lahan dalam radius 25 km dari tapak RDE tidak mengalami perubahan fisik dengan kondisi lereng dan keberuntukan lahan oleh penduduk terkait adanya dugaan patahan permukaan yang berarah tenggara-barat laut.

Perubahan fisik pada tanah yang terjadi berupa pelapukan alami dari batuan yang ada dan mengalami proses fisis dan kimia secara alami. Kondisi lereng tidak menunjukkan perubahan signifikan, dan peruntukan guna lahan yang telah dimanfaatkan oleh penduduk secara aman. Sehingga tapak RDE hingga radius 25 km tidak terindikasi adanya patahan permukaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan sukur Alhamdulillah kehadiran Allah SWT dan atas izinNya telah selesai dengan baik. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Bapak Ir. Yarianto SBS Msi Kapus PKSEN, dan Bapak Ir, Sriyana MT, Kabid KDT, yang telah memberikan bimbingan dan izin dalam penulisan makalah. Tidak lupa terima kasih penulis sampaikan kepada teman peneliti yang telah membantu dalam penulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. BAPETEN, Peraturan Kepala BAPETEN No.8 tentang Evaluasi Tapak Aspek Kegempaan untuk Industri Nuklir, Jakarta (2013).
2. SARTOHADI, JUNUN, Pengantar Geografi Tanah, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (2012).
<http://geo.fis.unesa.ac.id/web/index.php/en/ilmu-tanah/131-geografi-tanah>
3. IAEA, Safety Requirements No NS-R-3.3, "Site Evaluation for Nuclear Installations", Vienna (2003).
4. BATAN, "Laporan Evaluasi Tapak Reaktor Daya Eksperimental Kawasan Puspitek Serpong", tidak dipublikasikan, Jakarta (2015).
5. KELLER, E.A. dan PINTER, N., Active Tectonic Earthquake, Uplift and Landscape, Prentice Hall, Upper Saddle River, 07458: 362 pp and 338 pp., New Jersey (2002).
6. SOEHAIMI, A., EFFENDI, I., DJUHANDA, A., HAYAT, D.Z., dan HUTUBESSY, S., Peta Seismotektonik daerah Selat Sunda dan sekitarnya, Skala 1:500.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung (2004).
7. SUPARTOYO, SURONO, dan PUTRANTO, E.T., Katalog Gempabumi Merusak Indonesia Tahun 1612 – 2014 (Edisi Kelima), Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, Badan Geologi, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral: hal.121, Bandung (2014).
8. TURKANDI, T., SIDARTO, AGUSTIYANTO, D.A., PURBO HADIWIDJOYO, M.M., Peta Geologi lembar Jakarta dan Kepulauan Seribu Jawa, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung (1992)
9. Sifat sifat fisik tanah. <http://www.gurupendidikan.com/pengertian-pedologi-menurut-ahli-geografi/>. diakses tanggal 13 Juni 2017.
10. HILLEL,D., "Fundamental of Soil Physic",Academic Press.,New York (1983).

-
11. MARJIYONO, SUNTOKO, H., SOEHAIMI, A., ARIYANTO, S. dan YULIASTUTI, Kelas Soil Daerah Sekitar Rencana Tapak Reaktor Daya Eksperimental (RDE) Serpong dari Data Mikrotremor, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir vol.2, PKSEN, Jakarta (2015).
 12. HADI SUNTOKO, SUPARTOYO, "Konformasi Patahan Permukaan Awal Data Geologi dan Data Gempa Daerah Kawasan Puspiptek Serpong", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir Vol 18, No 1, 2016, Jakarta (2016).
 13. HANDAYANI, S. "Panduan Praktikum dan Bahan Asistensi Dasar-dasar Ilmu Tanah". Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta (2009).

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: Sriyono (PTKRN–BATAN)

- Apa itu Pedologi dan kenapa menggunakan identifikasi pedologi dalam menentukan tapak PLTN?
- Berapa lokasi yang diamati dan diambil samplangnya?

JAWABAN: Heni Susiati (PKSEN - BATAN)

- *Pedologi adalah ilmu tanah, definisi dari Pedologi adalah merupakan ilmu yang mempelajari mengenai berbagai aspek geologi tanah. Data pedologi digunakan untuk menginformasikan kondisi tanah saat sekarang, artinya jika ada patahan aktif melalui jalur itu , maka tanah akan terkena dampaknya berupa tekanan, pemadatan dan pengerasan*
- *Lokasi pengamatan kurang lebih 45 titik dari radius 25km dan sampling yang diambil hanya yang mewakili , artinya jika dekat dengan kelurusan patahan atau struktur geologi maka data tersebut akan bermanfaat.*

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

ANALISIS PENGARUH WAKTU KONSTRUKSI TERHADAP KELAYAKAN FINANSIAL PROYEK PLTN SMR DI INDONESIA DENGAN PENDEKATAN PROBABILISTIK

Nuryanti, Suparman, Sufiana Solihat

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN) BATAN

Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710, Telp./Fax: (021)5204243

e-mail: nuryanti@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH WAKTU KONSTRUKSI TERHADAP KELAYAKAN FINANSIAL PROYEK PLTN SMR DI INDONESIA DENGAN PENDEKATAN PROBABILISTIK. Pusat Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) jenis SMR (*Small Medium Reactor*) merupakan salah satu alternatif teknologi pembangkitan yang dapat diusulkan di wilayah Luar Jawa Bali (LJB), terkait dengan karakteristik jaringan kelistrikan dan amanat PP No 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional. Pada proyek PLTN sangat dimungkinkan terjadinya sejumlah ketidakpastian. Hal ini tentu berpengaruh terhadap kelayakan finansial proyek. Salah satu variabel yang berpotensi menimbulkan ketidakpastian tersebut adalah waktu konstruksi. Variabel ini sangat berkorelasi dengan kelayakan finansial proyek terkait dengan nilai waktu uang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh dari waktu konstruksi terhadap kelayakan finansial PLTN SMR dengan pendekatan probabilistik. Analisis probabilistik dilakukan dengan teknik Monte Carlo yang mensimulasikan keterkaitan di antara variabel-variabel ketidakpastian dan dilihat pengaruhnya terhadap nilai indikator kelayakan finansial. Indikator kelayakan yang digunakan adalah nilai kini bersih (*Nett Present Value – NPV*) dan tingkat pengembalian internal (*Internal Rate of Return – IRR*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa bertambahnya waktu konstruksi berakibat pada makin tidak layaknya proyek PLTN SMR sebagaimana tercermin pada semakin kecilnya nilai rata-rata NPV dan rata-rata IRR pada proyek. Probabilitas tertolaknya proyek pada ketiga waktu konstruksi yang disensitivitaskan masing-masing adalah sebesar 10% untuk waktu konstruksi 5 tahun, 40% pada waktu konstruksi 8 tahun dan 80% pada waktu konstruksi 10 tahun.

Kata kunci: pendekatan probabilistik, waktu konstruksi, SMR, NPV, IRR

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE CONSTRUCTION TIME EFFECT ON FINANCIAL FEASIBILITY OF SMR NPP PROJECT IN INDONESIA USING PROBABILISTIC APPROACH. SMR type of Nuclear Power Plant (NPP) is one of generation technology that could be proposed in the Outside Java Bali Region, associated with electricity grid as well as mandate of Government Regulations No 79 Year 2014 on Nuclear Energy Policy. Nuclear Power Plant (NPP) project is possible on the occurrence of a number of uncertainties. They would affect the financial feasibility of the project. One variable that could potentially lead to the uncertainty is construction time. This variable is highly correlated with the financial feasibility of the project associated with the time value of money. Therefore, this study aims to perform assessment of the construction time effect on the value of financial feasibility indicators of SMR NPP project. This analysis was done by Monte Carlo technique that simulate the relationship between the uncertainty variables and visible impact on the financial feasibility indicators. The indicators used were nett present value (NPV) and Internal rate of return (IRR). The result showed that the increasing of construction time will result in the more infeasible of the project as reflected in the smaller value of average NPV and IRR in the project. The probability of project rejection on the three construction time simulated were 10 % for the construction time of 5 years, 40% for the construction time of 8 years and 80% for the construction time of 10 years respectively.

Keyword: probabilistic approach, construction time, SMR, NPV, IRR

PENDAHULUAN

Wilayah Luar Jawa Bali (LJB) merupakan daerah yang masuk kategori masih mengalami krisis penyediaan energi listrik, ditandai dengan masih seringnya terjadi

pemadaman bergilir di wilayah ini[1]. Sementara itu, seiring dengan peningkatan jumlah penduduk serta untuk memacu pembangunan wilayah, kebutuhan listrik di wilayah LJB diproyeksikan akan terus meningkat. Untuk merespon kebutuhan listrik yang terus meningkat tersebut, maka diperlukan penambahan kapasitas pembangkit baru di wilayah ini. Selama ini sistem kelistrikan LJB sangat tergantung terhadap Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) untuk memasok kebutuhan tenaga listriknya. Data tahun 2014 menunjukkan bahwa dari 4.640 unit pembangkit yang ada di wilayah LJB, sejumlah 4.368 unit (sekitar 94,14%) merupakan jenis PLTD, sedangkan minyak bumi sebagai bahan bakar PLTD merupakan jenis energi yang tidak dapat diperbarui[2]. Pada sisi lain, sistem kelistrikan yang ada di wilayah LJB merupakan sistem yang berukuran kecil (*small grid*) serta sistem transmisinya belum seluruhnya terinterkoneksi. Sebagai contoh, pada tahun 2015 sistem pembangkitan Sumatra Bagian Selatan (Sumbagsel) memiliki kapasitas terpasang sebesar 3.084 MW. Pada tahun yang sama, sistem interkoneksi Jawa Bali memiliki total kapasitas terpasang sebesar 27.579 MW[2]. Dengan alasan keandalan sistem jaringan, maka kapasitas pembangkit baru yang diijinkan adalah sekitar 10% dari total kapasitas terpasang sistem[3,4]. Sehingga untuk wilayah Sumbagsel ini kapasitas pembangkit baru yang diijinkan adalah sekitar 300 MW. Dengan kata lain pembangkit skala kecil hingga menengah merupakan pilihan yang dapat diusulkan untuk sistem kelistrikan wilayah LJB. Untuk pilihan energi nuklir, PLTN SMR (*Small Medium Reactor*) merupakan jenis teknologi yang cocok dikembangkan di wilayah LJB, terkait dengan karakteristik jaringan kelistrikannya (*small grid*) serta untuk mengemban amanat PP No 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional yang menargetkan porsi energi terbarukan (EBT) pada bauran energi nasional dari sebesar 5% pada tahun 2015 menjadi 25% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050[5,6].

Karakteristik yang menonjol pada proyek PLTN antara lain adalah sebagai mega proyek yang padat modal, padat teknologi serta dimungkinkan terhadap terjadinya sejumlah ketidakpastian dalam proyek[7]. Biaya investasi (*investment cost*), harga Uranium Alam, biaya pengkayaan Uranium (*enrichment*), biaya operasi & pemeliharaan (*fix and variable O&M cost*), faktor kapasitas pembangkit dan waktu konstruksi merupakan beberapa variabel ketidakpastian yang telah diidentifikasi oleh Rothwell (2011) akan berpengaruh terhadap terjadinya ketidakpastian pada biaya pembangkitan listrik PLTN[8]. Pada saat yang sama, tentu saja variabel-variabel tersebut akan berpengaruh terhadap kelayakan finansial proyek.

Salah satu variabel ketidakpastian yang harus diperhatikan oleh manajer proyek adalah waktu konstruksi, mengingat indikator kinerja utama sebuah proyek umumnya tercermin pada ketepatan waktu, ketepatan biaya dan ketepatan mutu[9]. Ketepatan waktu konstruksi menjadi sangat krusial untuk diperhatikan karena variabel ini sangat berkorelasi dengan besarnya biaya proyek dan pada akhirnya akan mempengaruhi kelayakan finansial proyek, terkait dengan nilai waktu dari uang (*time value of money*)[10,11]. Nuryanti (2013) telah melakukan analisis mengenai pengaruh waktu konstruksi terhadap biaya pembangkitan listrik teraras (*Levelized Unit Electricity Cost – LUEC*) PLTN dengan pendekatan probabilistik, dengan obyek penelitian PLTN OPR1000 dari Korean Hydro & Nuclear Power (KHNP)[12]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi perubahan besarnya LUEC akibat dari keterlambatan (*delay*) maupun percepatan waktu konstruksi. Lebih lanjut, seberapa besar perubahan nilai indikator kelayakan finansial proyek akibat dari keterlambatan (*delay*) maupun percepatan waktu konstruksi juga menjadi hal yang menarik untuk dikaji. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh dari waktu konstruksi terhadap indikator kelayakan finansial proyek PLTN SMR di Indonesia dengan pendekatan probabilistik. Disebut probabilistik karena dalam analisis telah memasukkan kemungkinan terjadinya variabel-variabel ketidakpastian dalam proyek sebagaimana yang diidentifikasi oleh Rothwell (2011) ditambah dengan beberapa variabel yang diasumsikan sesuai dengan kondisi Indonesia. Indikator kelayakan finansial yang dianalisis adalah nilai kini bersih (*Nett Present value – NPV*) dan tingkat pengembalian internal (*Internal Rate of Return – IRR*)[13]. Analisis probabilistik dilakukan dengan teknik Monte Carlo yang mensimulasikan beberapa variabel ketidakpastian sebagai variabel masukan (*input*) dan dilihat pengaruhnya terhadap indikator kelayakan finansial proyek sebagai keluaran (*output*). Dengan penelitian ini dapat diketahui berapa besar peningkatan nilai *NPV* maupun *IRR* jika terjadi percepatan waktu konstruksi serta berapa penurunan yang terjadi akibat keterlambatan (*delay*) masa konstruksi. Selain itu dengan analisis probabilistik juga dapat diketahui berapa nilai probabilitas ditolaknya proyek PLTN SMR untuk semua waktu konstruksi yang disensitivitaskan, sehingga analisis ini dinilai lebih informatif bagi calon investor dalam pengambilan keputusan investasi.

TEORI

Hubungan Masa Konstruksi dengan Total Biaya Investasi PLTN

IAEA (2010) mendefinisikan waktu konstruksi sebagai jumlah bulan atau tahun yang diperlukan untuk membangun PLTN sejak beton pertama (*first concrete*) hingga tersambung ke jaringan listrik (*Commercial Operation Date – COD*)[14]. Variabel ini menjadi salah satu variabel yang penting dalam pembangunan PLTN, mengingat waktu konstruksi sangat berkorelasi dengan biaya investasi proyek. Sebagaimana diketahui bahwa proyek PLTN merupakan mega proyek yang padat modal dimana biaya investasi umumnya mencakup sekitar $\frac{3}{4}$ dari total biaya pembangkitan listrik. Karena sifat padat modal inilah, umumnya proyek PLTN didanai oleh porsi pinjaman (*debt*) dan porsi modal sendiri (*equity*). Porsi pinjaman (*debt*) inilah yang akan memunculkan tingkat bunga (*interest rate*) yaitu bunga atas pinjaman yang harus dibayarkan oleh pelaku proyek selama jangka waktu pengembalian (*payment periods*). Sementara itu selama masa konstruksi, proyek belum menghasilkan pendapatan (*cash inflow*), sehingga belum memiliki kemampuan untuk membayar pokok pinjaman (*principle*) beserta bunganya. Akibatnya terjadi apa yang disebut dengan bunga selama masa konstruksi (*Interest During Construction – IDC*). IDC ini akan diakumulasikan dengan besarnya pinjaman, sehingga biaya investasi proyek PLTN tidak lagi hanya berupa Overnight Cost, melainkan ditambahkan dengan IDC dan eskalasi. Komponen biaya yang terdiri atas overnight cost, IDC dan eskalasi inilah yang membentuk total *Capital Expenditure* (CAPEX)[15].

Jika suatu pinjaman dinotasikan dengan X, sedangkan waktu konstruksi dinotasikan dengan T, maka total besarnya IDC selama masa konstruksi dinyatakan dengan persamaan 1.

$$IDC = \sum_{t=1}^T X_t [(1+r)^t - 1] \quad (1)$$

Berdasar persamaan tersebut diketahui bahwa semakin lama waktu konstruksi akan berakibat pada semakin besarnya nilai IDC proyek sehingga akan menambah total biaya investasi proyek dan pada akhirnya akan mempengaruhi kelayakan finansial proyek.

Analisis Probabilistik

Secara konsep, analisis probabilistik dilakukan dengan menentukan sebuah fungsi distribusi untuk tiap-tiap variabel *uncertainty* dan kemudian mensimulasikan pengaruh dari kombinasi variabel *uncertainty* tersebut terhadap *output* (indikator kelayakan proyek). Analisis probabilistik ini dilakukan dengan teknik Simulasi Montecarlo. Simulasi dilakukan dengan sejumlah iterasi sehingga dihasilkan nilai output yang robust[16].

Prinsip kerja dari simulasi Monte Carlo adalah membangkitkan angka-angka acak dari suatu variabel acak yang telah diketahui distribusinya[17]. Pembangunan model simulasi Monte Carlo didasarkan pada probabilitas yang diperoleh dari data historis sebuah kejadian dan frekuensinya, dimana[18]:

$$P_i = \frac{f_i}{n}$$

dengan:

Pi : Probabilitas kejadian i

fi : frekuensi kejadian i

n : jumlah frekuensi semua kejadian.

Hasil yang didapatkan dari simulasi tersebut adalah sebuah distribusi probabilitas dari nilai sebuah sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa simulasi Monte Carlo meniru kondisi lapangan secara numerik[19].

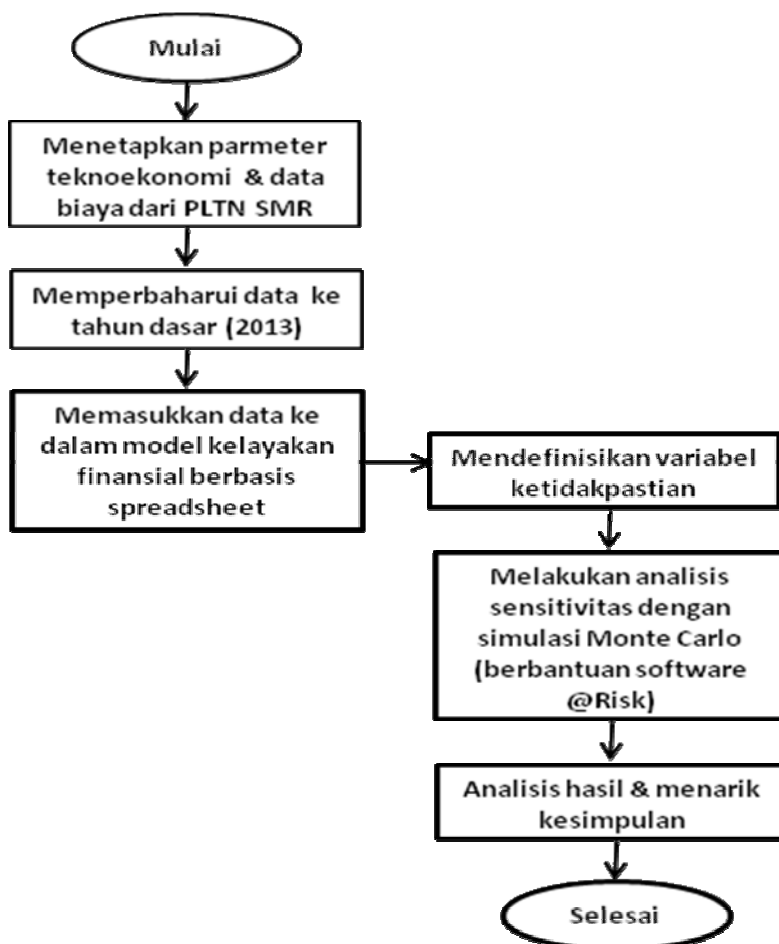
Indikator Kelayakan

Indikator kelayakan proyek yang digunakan dalam analisis kelayakan finansial proyek PLTN SMR ini adalah NPV dan IRR. Metode NPV menghitung selisih antara nilai kini dari investasi dengan nilai kini dari penerimaan kas bersih yang akan terjadi selama umur proyek, sedangkan IRR menginformasikan tingkat kemampuan *cash flow* proyek dalam mengembalikan investasi, yang dinyatakan dalam prosentase[20].

METODOLOGI

Alur Penelitian

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



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Parameter Tekno-ekonomi PLTN yang Dikaji

Beberapa parameter tekno-ekonomi dari PLTN yang dikaji dalam kedua penelitian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Tekno-ekonomi PLTN SMR yang Dikaji

No	Parameter	Unit	Nilai	Referensi
1	Kapasitas Pembangkit	MW	2 x 100	
2	Faktor kapasitas	%	93	JAPC(2013)[21]
3	Produksi energi listrik tahunan	MWh	1.629.360	
4	<i>Burn Up</i>	MWd per metric ton U235	40.000	Rothwell (2014)[22]
5	Pemakaian sendiri	%	5,5	
6	Tahun Dasar		2013	
7	Waktu Konstruksi yang disensitivitaskan	Tahun	5, 8 & 10	
8	Umur Pembangkit	Tahun	40	
9	Nilai tukar	Rp/ USD	10.504	www.bi.go.id
10	Harga Jual Listrik	Cents USD/kWh	12	
11	Tingkat Diskonto ¹	%	10	
12	Rasio Pinjaman terhadap <i>Equity</i>		70% : 30%	
13	Porsi Pinjaman Bank X (ECA 1) ²	%	30	

No	Parameter	Unit	Nilai	Referensi
	Bank Y (ECA 2)	%	30	
	Bank Z (ECA 3)	%	20	
	Bank A' (Bank Komersial)	%	20	
14	CIRR untuk ECA ³	%	3,27	www.oecd.org/tad/xcred/cirrs.pdf
15	Tingkat Bunga Bank Komersial (LIBOR + 5%) ⁴	%	5,7	
16	Tingkat Pajak	%	25	UU No 36 th 2008
17	Tingkat Inflasi USD	%	1,5	http://data.bls.gov/
18	Tingkat Inflasi Rp	%	7,9	www.bps.go.id
19	Eskalasi harga Jual Listrik	% per tahun	2	
20	Eskalasi Harga bahan bakar	% per tahun	0,5	
21	Eskalasi Biaya O&M	% per tahun	1,5% (USD) 7,9% (IDR)	

Catatan:

¹ Tingkat diskonto ini sekaligus menjadi tingkat pengembalian minimal yang masih dapat diterima oleh pelaku proyek (*Minimum Attractive Rate of Return – MARR*).

² ECA = *Export Credit Agency* (kredit ekspor)

³ CIRR = *Commercial Interest Reference Rates* (Tingkat bunga kredit ekspor)

⁴ LIBOR = *London Interbank Offered Rate*

DATA DAN ASUMSI

Secara umum, struktur biaya pembangkitan listrik terdiri atas: biaya investasi, biaya operasi & pemeliharaan dan biaya bahan bakar[23, 24].

a. Biaya Investasi

Biaya investasi PLTN atau sering disebut *Overnight Cost* terdiri atas EPC (*Engineering Procurement Construction*) Cost, *development cost* dan *owner cost*. Data biaya investasi diambil dari beberapa referensi dan dinyatakan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Estimasi *Overnight Cost* PLTN SMR (Tahun Dasar: 2013)

No	Tahun Estimasi	Referensi	<i>Overnight Cost</i> (USD/kWe)
1	2010	Electric Power Research Institute: 'Typical SMR'[25]	5.067 – 5.473
2	2011	Nuclear Energy Agency: '4 x PWR-335'[26]	4.966 – 5.371
3	2011	Nuclear Energy Agency: '4 x PWR-125'[26]	6.891 – 8.412
4	2010	SMR Generic Estimated Cost[27]	5.046 – 5.466
5	2009	HTR (GIF-INPRO) [28]	6.478 – 10.562

Karena data biaya investasi berbentuk interval, maka dilakukan estimasi untuk mendapatkan "most probable value" biaya investasi dengan metode Monte Carlo dan diperoleh "most probable value" sebesar 6.360 USD/kWe[29]. Hasil kali dari "most probable value" biaya investasi dengan total kapasitas pembangkit (2 x 100 MW) merupakan total biaya investasi.

b. Biaya Operasi dan Perawatan (*Operation & maintenance - O&M cost*)

Biaya O&M mengacu pada studi antara PT. PLN LITBANG dan PPEN (2006) dan disesuaikan dengan kebutuhan untuk PLTN SMR[23], meliputi *fix O&M* dan *variable O&M*. Berdasar perhitungan diperoleh biaya *fix O&M* sebesar 103,90 USD/kWe per tahun dan biaya *variable O&M* sebesar 0,603 USD/MWh.

c. Biaya Bahan Bakar (*Fuel Cost*)

Komponen biaya bahan bakar dinyatakan pada Tabel 3[30].

Tabel 3. Komponen Biaya Bahan Bakar Nuklir

Komponen Fuel Cost	Nilai (USD)
Harga U ₃ O ₈ per kg	97
Biaya konversi (U ₃ O ₈ to UF ₆) per kg Uranium	16
Biaya pengayaan (<i>Enrichment</i>) per SWU	82
Biaya Fabrikasi per kg bahan bakar	300

Catatan: SWU = *Separative Work Uranium*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendefinisian Distribusi Variabel Ketidakpastian

Langkah awal dari pendekatan probabilistik adalah pendefinisian distribusi variabel ketidakpastian yang diduga berpengaruh terhadap indikator kelayakan finansial. Variabel-variabel ketidakpastian tersebut mengacu pada Rothwell (2011) ditambah dengan beberapa variabel yang sesuai dengan kondisi Indonesia, seperti dinyatakan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pendefinisian Distribusi Variabel-variabel Ketidakpastian yang Berpengaruh Terhadap Kelayakan Finansial Proyek

No	Variabel Ketidakpastian	Jenis Distribusi	Keterangan
1	Biaya investasi (USD/kWe)	Triangular minimum = 5.690; <i>most likely</i> = 6.360; maksimum = 7.057	Pengepasan distribusi dari data historis[25,26,27,28]
2	Spot Price Uranium alam (U ₃ O ₈) (USD/kg)	Pearson5 $\alpha = 1,7211$; $\beta = 54,365$	Pengepasan distribusi dari data historis[Rothwell-8]
3	Spot Price Pengkayaan (SWU)	Logistic $\alpha = 137,99$; $\beta = 10,496$	Pengepasan distribusi dari data historis[8]
4	Faktor kapasitas (%)	Triangular minimum = 88,65%; <i>most likely</i> = 92,59%; maksimum = 99,19%	Pengepasan distribusi dari data historis[8]
5	Tingkat inflasi Rupiah (%)	Normal Rata-rata = 7,937% Standar deviasi = 3,86%	Pengepasan distribusi dari data historis[www.bps.go.id]
6	Nilai tukar (Rupiah/USD)	Lognormal (792,51) $\mu = 1.733,3$; $\sigma = 792,51$	Pengepasan distribusi dari data historis[www.bi.go.id]
7	Harga Jual listrik (Cents USD/kWh)	Triangular Minimum = 12 <i>Most Likely</i> = 15 Maksimum = 18	[8, 31]
8	London Interbank Offered Rate - LIBOR (%)	Triangular Minimum = 0,578% <i>Most Likely</i> = 2,54% Maksimum = 6,468%	Pengepasan distribusi dari data historis [http://www.moneycafe.com/personal-finance/libor/]
9	Commercial Interest Reference Rates - CIR	Triangular Minimum = 2,75% <i>Most Likely</i> = 3,28% Maksimum = 5,47%	Pengepasan distribusi dari data historis[www.oecd.org/tad/xcred/cirrs.pdf]
10.a.	Variable O&M Cost (USD/MWh)	Logistic $\alpha = 0,6315$ $\beta = 0,024$	Pengepasan distribusi dari data historis[22,23]
b.	Routine O&M Cost (USD/kWe)	Triangular Minimum = 47,20 <i>Most Likely</i> = 47,20 Maksimum = 67,38	Pengepasan distribusi dari data historis[22,23]

Hasil Analisis Sensitivitas pada Pendekatan Probabilistik

Analisis probabilistik berbasis pada hubungan antar variabel-variabel ketidakpastian sebagai masukan dan dilihat pengaruhnya terhadap indikator kelayakan finansial proyek sebagai keluaran. Dalam analisis sensitivitas ini waktu konstruksi diperlakukan sebagai *single value*, sedangkan variabel ketidakpastian yang lain diperlakukan sebagai fungsi distribusi.

Tabel 5 dan Tabel 6 masing-masing menyatakan statistik hasil sensitivitas waktu konstruksi terhadap nilai-nilai NPV dan IRR pada ketiga waktu konstruksi yang disensitivitaskan.

Tabel 5. Hasil Simulasi Sensitivitas Waktu Konstruksi Terhadap NPV (dalam USD)

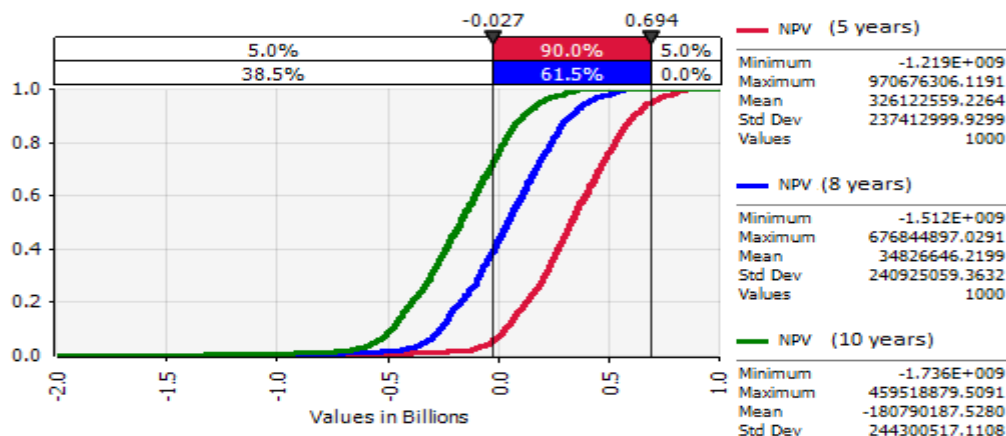
Statistik	Waktu Konstruksi (tahun)		
	5	8	10
Minimum	-1.218.655.588	-1.511.677.357	-1.736.242.435
Maksimum	970.676.306	676.844.897	459.518.880
Rata-rata	326.122.559	34.826.646	-180.790.188
Standar deviasi	237.413.000	240.925.059	244.300.517

Tabel 6. Hasil Simulasi Sensitivitas Waktu Konstruksi Terhadap IRR

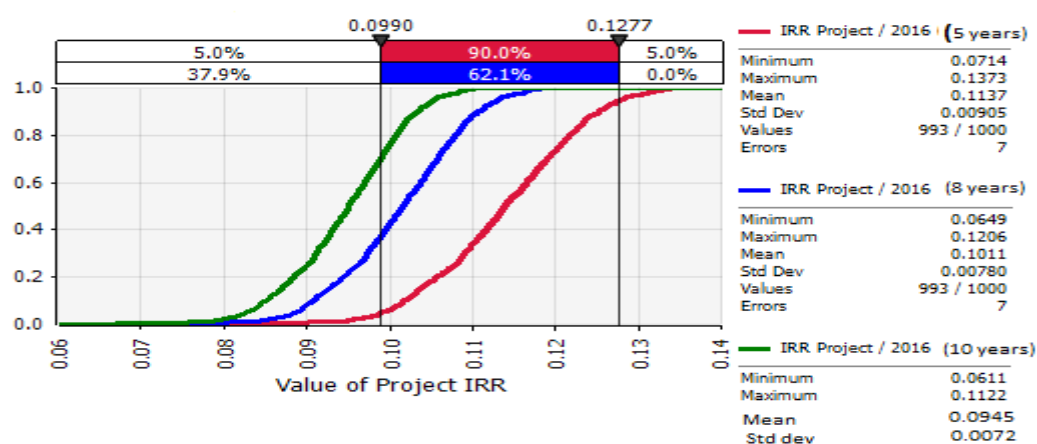
Statistik	Waktu Konstruksi (tahun)		
	5	8	10
Minimum	7,14%	6,49%	6,11%
Maksimum	13,73%	12,06%	11,22%
Rata-rata	11,37%	10,11%	9,45%
Standar deviasi	0,90%	0,78%	0,72%

Berdasar Tabel 5 - 6 diketahui bahwa makin lama waktu konstruksi maka akan berakibat pada makin tidak layakannya proyek untuk dijalankan, tercermin pada nilai rata-rata NPV dan rata-rata IRR yang makin kecil. Bahkan pada waktu konstruksi 10 tahun, nilai rata-rata NPV bernilai negatif dan rata-rata IRR kurang dari MARR. Hal ini menunjukkan bahwa pada kasus proyek ini (dimana *most likely* biaya investasi = 6.360 USD/kWe dan *most likely* harga jual listrik = 15 cent USD/kWh), proyek dinilai tidak layak dijalankan pada waktu konstruksi 10 tahun.

Gambar 2-3 masing-masing menunjukkan fungsi distribusi kumulatif NPV dan IRR sebagai hasil sensitivitas waktu konstruksi.



Gambar 2. Fungsi Distribusi Kumulatif (FDK) NPV Hasil Sensitivitas Waktu konstruksi



Gambar 3. Fungsi Distribusi Kumulatif (FDK) IRR Hasil Sensitivitas Waktu konstruksi
Berdasar Gambar 2-3 diketahui bahwa makin lama waktu konstruksi akan berakibat pada makin besarnya probabilitas tertolaknya proyek (ditunjukkan dengan probabilitas NPV negatif dan probabilitas IRR proyek < MARR). Probabilitas tertolaknya proyek masing-

masing adalah sekitar 10% untuk waktu konstruksi 5 tahun, 40% untuk waktu konstruksi 8 tahun dan 80% untuk waktu konstruksi 10 tahun. Hasil ini memberikan pelajaran tentang pentingnya upaya memonitor waktu konstruksi agar terjadinya keterlambatan waktu dalam proyek dapat dihindari. Metode-metode seperti PERT (*Program Evaluation Review Technique*) dan CPM (*Critical Path Methods*) banyak digunakan oleh para manajer proyek untuk mengkoordinasikan pekerjaan-pekerjaan dalam proyek sehingga proyek dapat berjalan tepat waktu dan pada akhirnya probabilitas ditolaknya proyek dapat diminimalisir[12, 32].

KESIMPULAN

Berdasar analisis hasil yang diperoleh dalam penelitian dapat disimpulkan bahwa semakin lama waktu konstruksi berakibat pada makin tidak layaknya proyek PLTN SMR yang tercermin pada semakin kecilnya nilai rata-rata NPV dan rata-rata IRR. Probabilitas tertolaknya proyek pada ketiga waktu konstruksi yang disensitivitaskan masing-masing adalah sebesar 10% untuk waktu konstruksi 5 tahun, 40% pada waktu konstruksi 8 tahun dan 80% pada waktu konstruksi 10 tahun. Hasil ini menunjukkan pentingnya upaya monitoring waktu konstruksi agar terjadinya keterlambatan dalam proyek dapat dihindari sehingga probabilitas tertolaknya proyek dapat diminimalkan.

REFERENSI

- [1] Nuryanti, et al., "Analisis Kelayakan Finansial Proyek PLTN SMR di Indonesia dengan Mempertimbangkan Variabel Ketidakpastian", *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, Volume 17, Nomor 2, Desember 2015, ISSN: 1410 - 9816.
- [2] PT. PLN (Persero), "Statistik PLN 2014", Jakarta, 2014
- [3] PKSEN - BATAN, "Dokumen Dukungan Teknis Non-Tapak PLTN di Kepulauan Riau", Jakarta, 2016
- [4] Nuryanti & Amitayani, E. S., "Analisis Kelayakan Finansial Proyek PLTN SMR di Pulau Batam dengan Menggunakan Software FINPLAN", *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir Vol. 1/ 2016*, Batam, 4-5 Agustus 2014. ISSN: 2355 - 7524
- [5] _____, "Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) PT. PLN (Persero) Tahun 2016 - 2025", Kementerian ESDM, Jakarta, 2016
- [6] _____, "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 79 Tahun 2014 Tentang Kebijakan Energi Nasional", Jakarta, 17 Oktober 2014
- [7] Nuryanti, et al., "Analisis Probabilistik pada Perhitungan Biaya Pembangkitan Listrik Teraras PLTN", *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, Volume 14, Nomor 1, Juni 2012, ISSN: 1410 - 9816
- [8] Rothwell, "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, 2011.
- [9] Hanna, M., & Ruwanpura, J. Y. , "Simulation Tool for Manpower Forecast Loading and Resource Leveling" Paper presented at the Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference, 2007
- [10] Nasrullah, M. & Nuryanti, "Pengaruh Masa Konstruksi pada Biaya Investasi dan Biaya PLTN SMR", *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir Vol. 1/ 2014*, Pontianak, 19 Juni 2014. ISSN: 2355 - 7525
- [11] Blank & Tarquin, "Engineering Economy", 6th, Mc Graw Hill, Singapore, 2008
- [12] Nuryanti, et al., "Pendekatan Probabilistik pada Pengkajian Pengaruh Waktu Konstruksi terhadap Biaya Pembangkitan Listrik Teraras PLTN", *Prosiding Seminar Nasional ke-19 Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir*, Yogyakarta, 24 - 25 September 2013
- [13] Soeharto, I., "Studi Kelayakan Proyek", Penerbit Erlangga, Jakarta, 2002
- [14] IAEA (International Atomic Energy Agency), "Nuclear Power Reactors in The World", Vienna, Austria, 2010
- [15] Nuryanti, "Studi Kelayakan Finansial Proyek PLTN di Indonesia dengan Memasukkan Unsur Ketidakpastian", Thesis, Jakarta: Program Studi Teknik Industri Universitas Indonesia, 2012.
- [16] Locatelli, G., & Mancini, M., "Small-medium sized nuclear, coal and gas power plant: A Probabilistic analysis of their performances and influence of CO2 cost", *Energy Policy*, 38, p. 6360-6374, 2010
- [17] Kwak, Y. H., & Ingall, L., "Exploring Monte Carlo Simulation Applications For Project

- Management”, *Risk Management*, 9, 44-57, 2007
- [18] Cahyo, W., N., “Pendekatan Simulasi Monte Carlo untuk Pemilihan Alternatif dengan Decision Tree pada Nilai Outcome yang Probabilistik”, *Teknoin*, Volume 13, Nomor 2, Desember 2008, 11-17, ISSN: 0853 – 8697.
- [19] Tjong, W., F., “Aplikasi Statistik Ekstrim dan Simulasi Monte Carlo dalam Penentuan Beban Rencana pada Struktur dengan Umur Guna Tertentu”, *Dimensi Teknik Sipil*, Vol. 3, No. 2, September 2001, 84-88, ISSN 1410-9530
- [20] Permatasari, K., “Analisis Kelayakan Proyek Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi oleh Pengembang Panas Bumi di Indonesia”, Skripsi, Jakarta: Program Studi Teknik Industri Universitas Indonesia, 2010.
- [21] PT PLN (Persero), PT LAPI ITB & JAPC, “Feasibility Study for Bangka Nuclear Power Plant Project – Non Site aspect”, 2013
- [22] ROTHWELL, G. & GANDA, F., “Electricity Generating Portfolios with Small Modular Reactors”, Argonne National Laboratory, May 2014
- [23] PT PLN (Persero) Litbang & PPEB-BATAN, “Studi Ekonomi, Pendanaan dan Struktur “owner” dalam Rangka Rencana Persiapan Pembangunan PLTN Pertama di Indonesia”, PLN, Jakarta, 2006.
- [24] Nuryanti, et al., “Studi Komparasi Model Perhitungan Biaya Pembangunan Listrik Teratas PLTN”, *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, Volume 16, Nomor 2, Desember 2014, ISSN: 1410 - 9816
- [25] Solan D, et al., “*Economic and Employment Impacts of Small Modular Nuclear Reactors* (Boise, ID: Energy Policy Institute, Boise State University), 2010
- [26] NUCLEAR ENERGY AGENCY (NEA), “*Current Status, Technical Feasibility, and Economics of Small Nuclear Reactors*”, France, 2011
- [27] UNITED STATE DEPARTMENT OF ENERGY, “SMR Financing and Economics, The Nuclear Option: Is Small Scale Nuclear Energy an Option for Alaska?”, December 2010
- [28] Ono, K., “Generation IV International Forum Economics Assessment Methodology and Application”, GIF-INPRO Interface Meeting, Vienna, March 1, 2013
- [29] Fadjjar, A., “Application of Monte Carlo Simulation on Estimation of Project Cost”, *Journal of SMARTek*, Vol. 6, No. 4, November 2008: 222 – 227
- [30] WORLD NUCLEAR ASSOCIATION (WNA), “The Economic of Nuclear Power (Updated June 2013)”, <http://www.wna.org/>, diakses tanggal 26 Juni 2014
- [31] KESDM, “Peraturan Menteri ESDM No. 3 Tahun 2015”, Jakarta, 2015
- [32] Taha, H. A., “Riset Operasi Suatu Pengantar”, Edisi Ke-5 Jilid 1, Alih Bahasa: Daniel Wirajaya, Binarupa Aksara, Jakarta, 1996

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: Elok Satiti Amitayani (PKSEN–BATAN)

- Apa perbedaan antara pendekatan/ analisis deterministik dan pendekatan probabilistik?

JAWABAN: Nuryanti (PKSEN - BATAN)

- Pada pendekatan deterministik, estimasi arus kas belum mempertimbangkan ketidakpastian atau resiko yang mungkin terjadi dalam proyek, sehingga hasilnya berupa sebuah nilai tunggal (*single point estimate*). Sedangkan pada pendekatan probabilistik, estimasi cash flow sudah mempertimbangkan ketidakpastian atau resiko yang mungkin terjadi dalam proyek, sehingga hasilnya berupa sebuah fungsi distribusi output.

2. PERTANYAAN: Dharu Dewi (PKSEN–BATAN)

- Apa akibat yang ditimbulkan jika variabel waktu konstruksi tidak terkelola dengan baik?

JAWABAN: Nuryanti (PKSEN - BATAN)

- *Jika variabel waktu konstruksi tidak terkelola dengan baik, berarti terjadi penundaan (delay) waktu konstruksi. Terjadinya penundaan (delay) akan berakibat pada terjadinya pembengkakan biaya konstruksi (cost overrun) karena pada saat fase konstruksi project developer (owner) belum mempunyai cash yang cukup untuk membayar pinjaman (debt) sehingga nilai Bunga selama masa konstruksi (Interest During Construction – IDC) akan makin membesar. Pembengkakan IDC akan berakibat pada pembengkakan biaya konstruksi PLTN.*

DETEKSI CACAT SAMPEL LAS MATERIAL SA533-B1 BEJANA TEKAN DENGAN METODA UJI TAK RUSAK

Mudi Haryanto, Sri Nitiswati, Andryansyah, Deswandri, Geni Rina Sunaryo

PTKRN-BATAN, Kawasan Puspptek Serpong, Gedung No. 80, Setu-Tangerang Selatan-15313

Email: mudi@batan.go.id

ABSTRAK

DETEKSI CACAT SAMPEL LAS MATERIAL SA533-B1 BEJANA TEKAN DENGAN METODE UJI TAK RUSAK. SA533-B1 adalah material yang banyak digunakan pada material bejana tekan reaktor PWR. Umumnya pembuatan bejana tekan dilakukan dengan sambungan las. Untuk mengetahui kualitas pengelasan perlu dilakukan uji mekanik. Persyaratan sebagai benda uji mekanik adalah pada bagian sampel las dimana akan dibuat benda uji mekanik harus terbebas dari cacat. Sampel las SA533-B1 di las dengan proses SMAW. Tujuannya untuk mengetahui ada/tidaknya cacat las pada daerah sambungan yang di las, sehingga dapat diputuskan kemungkinan dapat/tidaknya sampel uji las dibuat untuk benda uji mekanik. Metoda yang digunakan adalah uji tak rusak terdiri dari metode *dye penetrant* dan metode ultrasonik. Sampel las disediakan sebanyak 3 buah terdiri dari ukuran (132 x 130 x 12)mm sebanyak 1 buah dan ukuran (300 x 100 x 10)mm sebanyak 2 buah. Hasil dari pengujian dengan metoda *dye penetrant* dan metoda ultrasonik, pada sampel las nomor 1 ditemukan cacat porositi dipermukaan dan di dalam las, sampel las nomor 2 ditemukan cacat retak dipermukaan dan di dalam las, dan sampel nomor 3 ditemukan cacat *lack of side wall fusion* di dalam las. Semua cacat-cacat tersebut tidak merata sepanjang sambungan las, sehingga disimpulkan bahwa sampel las dapat dibuat benda uji mekanik pada daerah yang tidak ada cacatnya.

Kata kunci : Sampel las SMAW, SA533-B1, bejana tekan, uji tak rusak, uji mekanik

ABSTRACT

DETECTION OF SA533-B1 MATERIAL WELD SAMPLE OF PRESSURE VESSEL BY NON-DESTRUCTIVE METHOD. SA533-B1 is a material widely used in PWR reactor pressure vessel materials. Generally, the manufacture of pressure vessels made with welded joints. To determine the quality of the welding necessary mechanical tests. The requirement as mechanical specimen that is area of weld sample which is mechanical specimen will be taken should be free from any defects. Weld sample of SA533-B1 has been welded by SMAW process. The purpose of examination is to know whether any defect or not on welded area, so can be decide the possibility weld sample to make it as mechanical specimen. The methods used by non-destructive test such as dye penetrant and ultrasonic methods. Amount of weld samples are 3 pieces consist of 1 sample with dimension of (132 x 130 x 12) mm, and 2 samples with dimension of (300 x 100 x 10) mm. Results of the test by the dye penetrant method and the ultrasonic method, in the welded sample number 1 found porosity defects on the surface and in the weld, the welded sample number 2 found cracked defects on the surface and in the weld, and sample number 3 found defect lack of side wall fusion at in welding. All the defects are uneven throughout the weld joint, so it is concluded that the weld sample can be made mechanical test object in the non-defective area.

Keywords: SMAW weld sample, SA533-B1, pressure vessel, non-destructive testing, mechanical testing

PENDAHULUAN

SA533-B1 adalah jenis baja karbon rendah yang digunakan sebagai material bejana tekan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) jenis reaktor air bertekanan (*Pressurizer Water Reactor*). Bejana tekan reaktor nuklir dikonstruksi dengan cara dilas dengan proses GTAW (*Gas Tungsten Arc Welding*) atau SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*)[1]. Dalam rangka penelitian tentang pengaruh perlakuan panas paska pengelasan SA533-B1 yang akan dilakukan oleh peneliti lainnya, telah disiapkan sampel uji lasan yang telah di las dengan proses SMAW. Sebelum sampel uji las dibuat benda uji mekanik, maka harus dilakukan pengujian pada daerah sepanjang bagian yang di las dengan menggunakan metode uji tak rusak. Tujuannya adalah untuk mengetahui ada/tidaknya cacat hasil proses

pengelasan material SA533-B1. Kalau tidak ada cacat, maka dapat dilanjutkan dengan pembuatan benda uji mekanik dan pemberian perlakuan panas agar sifat mekanik material SA533-B1 yang berubah sebagai akibat proses pengelasan dapat kembali ke kondisi semula. Persyaratan sebagai benda uji mekanik, material SA533-B1 yang sudah di las harus bebas dari berbagai cacat akibat proses pengelasan antara lain porositas, retak, inklusi dan lain sebagainya.

Pengelasan material SA533-B1 dalam penelitian ini dilakukan dengan proses SMAW. Dasar pemilihan pengelasan dengan proses SMAW selain karena pengelasan dengan proses GTAW sudah dilakukan pada tahun-tahun sebelumnya [2]. Sampel uji yang digunakan untuk penelitian adalah bajakarbon SA 533-B1 yang di las dengan proses SMAW. Sebelum benda uji las-lasan untuk pengujian mekanik dipabrikasi, perlu disiapkan terlebih dahulu bahan sampel uji las-lasan SA533-B1 dengan persyaratan sama dengan persyaratan benda uji las-lasan. Penelitian ini dimaksudkan melakukan pengujian sampel uji las SA533-B1 yang di las dengan proses SMAW untuk mengetahui apakah ada cacat las pada sambungan bahan sampel uji las-lasan SA533-B1 dengan menggunakan metoda uji tak rusak.

TEORI

Pengelasan (*welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam penambah yang menghasilkan sambungan yang kontinu [3]. SMAW adalah proses penyambungan logam dengan menggunakan energi panas untuk mencairkan benda kerja dan elektroda (bahan pengisi). Energi panas pada proses pengelasan SMAW dihasilkan karena adanya lompatan ion (katoda dan anoda) listrik yang terjadi pada ujung elektroda dan permukaan material. Pada proses pengelasan SMAW jenis pelindung yang digunakan dalam selaput flux yang terdapat pada elektroda. Flux pada elektroda SMAW berfungsi untuk melindungi logam las yang mencair saat proses pengelasan berlangsung. Flux ini akan menjadi *slag* ketika sudah padat dan berada dipermukaan. Pada umumnya cacat pada las SMAW dapat berupa [4]:

- Retak, yaitu cacat terbuka yang dapat terjadi baik di logam las (*weld metal*), di daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone, HAZ*) atau di daerah logam dasar (*parent metal*). Retak las di bagi menjadi dua kategori yaitu retak panas dan retak dingin. Penyebab terjadinya retak diantaranya karena kadar carbon tinggi atau sulfur di dalam material, terutama elektroda rendah hidrogen dan di *preheating*.
- Porositas, yaitu sekelompok gelembung gas yang terjebak di dalam lasan. Bentuk porositas adalah berupa rongga-rongga kecil berbentuk bola yang mengelompok pada lokasi-lokasi lasan. Porositas terjadi karena proses pemadatan yang terlalu cepat atau dapat terjadi akibat *arc length* terlalu panjang, benda kerja kotor dan elektroda basah/lembab.
- *Slag inclusion* merupakan oksida dan benda non logam lainnya yang terjebak pada logam las. *Slag inclusion* dapat disebabkan oleh kontaminasi dari udara luar atau *slag* yang kurang bersih ketika mengelas dengan banyak lapisan (*multi pass*). *Slag inclusion* dapat juga disebabkan oleh benda kerja yang kotor.
- Kurangfusi, yaitu cacat yang terjadi pada bagian yang tidak menyatu antara logam induk dengan logam pengisi. Cacat jenis ini dapat pula terjadi pada pengelasan berlapis (*multi pass welding*) yaitu terjadi antara lapisan las yang satu dengan lapisan las yang lainnya. Penyebabnya adalah harus rendah atau penggunaan elektroda yang tidak tepat.
- Kurang penetrasi, yaitu cacat yang terjadi karena logam las tidak menembus/mencapai sampai ke dasar dari sambungan. Penyebabnya antara lain karena proses pengelasan terlalu cepat, arus rendah dan elektroda terlalu besar.

TATA KERJA.

a. Pembuatan sampel las.

Sampel las dibuat dari material SA533-B1 berbentuk pelat sebanyak 3 buah dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Ukuran (132 x 130 x 12)mm sebanyak 1 buah, dinotasikan dengan sampel las No.1. Khusus untuk sampel las No. 1, permukaan lasnya di haluskan (dihilangkan).

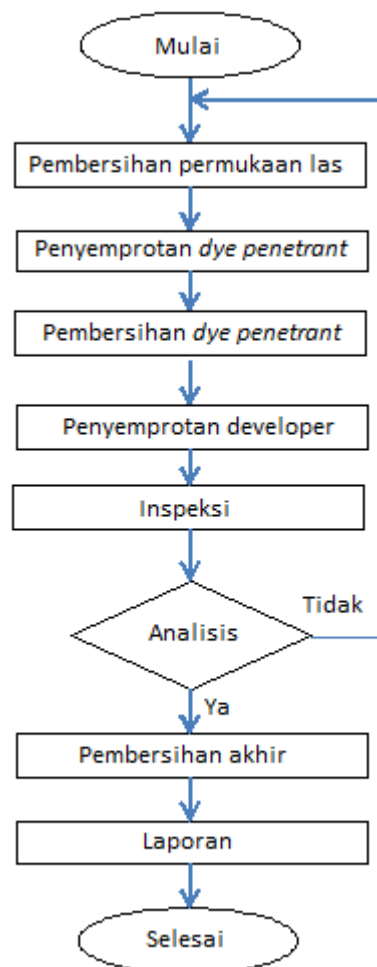
- Ukuran (300 x 100 x 10) mm sebanyak 2 buah, dinotasikan dengan sampel las No. 2 dan No. 3.

Proses pengelasan pelat SA533-B1 adalah SMAW, *single v-groove* menggunakan bahan filler dengan kekuatan 110 ksi. Data pengelasan material pelat SA533-B1 adalah sebagai berikut:

- Variabel pengelasan : Tegangan 26-28 volt
- Arus : 135 amper
- Waktu pengelasan ujung ke ujung : 75 detik
- *Preheat* : 150°C -170° C

b. Pengujian dengan uji tak rusak

Setelah proses pengelasan pemberian nomor selesai, dilanjutkan melakukan pengujian pada bagian yang di las dengan 2 (dua) metode uji tak rusak terdiri dari *dye penetrant* dan ultrasonik. Pengujian dilakukan terpisah. Metode pertama yang dilakukan adalah *dye penetrant* dengan teknik *solvent removeable* [5]. Tahapan pengujiannya ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan pengujian metode *dye penetrant*.

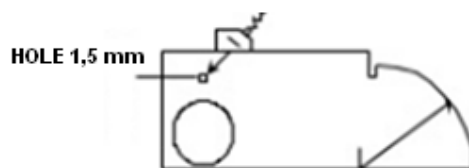
Langkah pertama sebelum pengujian dengan *dye penetrant* dilakukan adalah melakukan pembersihan permukaan yang akan di uji yaitu daerah las dan daerah tepi las sepanjang 25 mm[6]. Pembersihan dilakukan dengan cara menggerinda menggunakan mesin gerinda dan mesin ampelas dengan tujuan untuk menghilangkan *spatter*, *scale* atau *flux welding*. Setelah itu dilanjutkan pembersihan dengan larutan pembersih (*cleaner*) pada permukaan sampel las untuk menghilangkan kontaminasi serbuk-serbuk hasil penggerindaan dan kontaminasi dari pelumas *oil film*. Setelah permukaan benar-benar bersih dan kering, dilanjutkan penyemprotan *dye penetrant* pada daerah sepanjang permukaan

las. Dibiarkan beberapa menit agar *dye penetrant* meresap. Waktu tunggu (*dwelling time*) *dye penetrant* meresap ± 7 menit [7]. Setelah waktu tunggu dipenuhi, bersihkan dengan cara dilap kelebihan *dye penetrant* pada permukaan sampel las dengan kain katun halus yang dibasahi *cleaner* sampai sisa-sisa lebih *dye penetrant* (warna merah-merah) benar-benar hilang.

Setelah pembersihan, dilanjutkan dengan penyemprotan cairan *developer* warna putih pada daerah sepanjang permukaan las yang diuji. Cairan *developer* akan menarik *dye penetrant* yang masuk ke dalam cacat permukaan las yang diuji (jika ada indikasi cacat) ke permukaan dan membentuk indikasi warna merah.

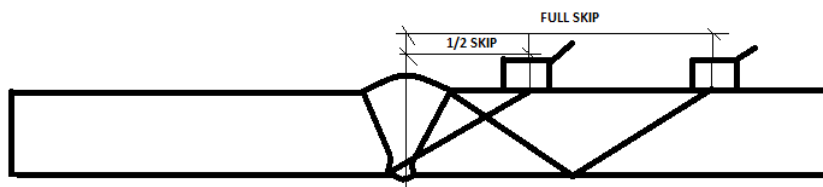
Waktu tunggu yang diijinkan setelah penyemprotan cairan *developer* adalah sesegera (secepat) mungkin. Kemudian dilakukan pengamatan dan interpretasi dengan waktu pengamatan dan interpretasi dibutuhkan paling lama 60 menit [6]. Pengamatan pada permukaan las dilakukan pada intensitas cahaya 1000 lx [8]. Cermati dengan teliti indikasi cacat yang tergambar atau muncul sebagai *spot* merah (*red spot*) dan catat indikasinya meliputi ukuran panjang dan lokasi dari titik referensi. Terakhir dilakukan pembersihan sisa *dye penetrant* pada permukaan sampel uji lasan dengan kain katun halus sehingga permukaannya benar-benar bersih dan terbebas dari sisa-sisa *dye penetrant* agar tidak terjadi korosi.

Metode kedua dilakukan dengan metode ultrasonik (*Ultrasonic Testing, UT*), untuk mengetahui ada/tidaknya cacat di dalam las. Alat ultrasonik yang digunakan jenisnya *gema pulsa* dan *probe* yang dipakai adalah jenis *probe* sudut. Sebelum melakukan *scanning* pada daerah lasan sampel uji SA533-B1 dengan metode ultrasonik, terlebih dahulu melakukan kalibrasi pada blok kalibrasi V1 (*block V1*) dengan tujuan untuk mencari *gain* operasi. Caranya dengan mengarahkan *probe* sudut pada *hole* 1,5 mm yang ada pada blok kalibrasi V1 dengan pantulan tinggi pulsa (amplitudo) 80% *full screen height* (FSH) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. *Scanning probe* sudut pada lubang 1,5 mm *block V1* [9].

Setelah diperoleh *gain* operasi, selanjutnya melakukan *scanning probe* sudut pada daerah akar (*root*) las dengan $\frac{1}{2}$ *skip* dan gerakan *probe* sudut mundur untuk *scanning full skip* seperti ditunjukkan pada Gambar 3. *Scanning* dilakukan sepanjang las dengan gerakan *probe* sudut dapat majum undur, *zigzag* atau lateral. Bila ditemukan indikasi cacat, segera dilakukan analisis jenis cacat berdasarkan pada bentuk pantulan pulsa/amplitudo. Catat lokasi dan ukur dimensinya. Untuk menentukan/mengukur panjang cacat digunakan teknik *6 dB drop* [10].



Gambar 3. *Scanning* uji ultrasonik dengan *probe* sudut [10].

HASIL DAN PEMBAHASAN.

Hasil pengujian sampel las SA533-B1 dengan metode *dye penetrant* dan metode ultrasonik diperoleh data yang ditampilkan berturut-turut pada Tabel 1 dan Tabel 2.

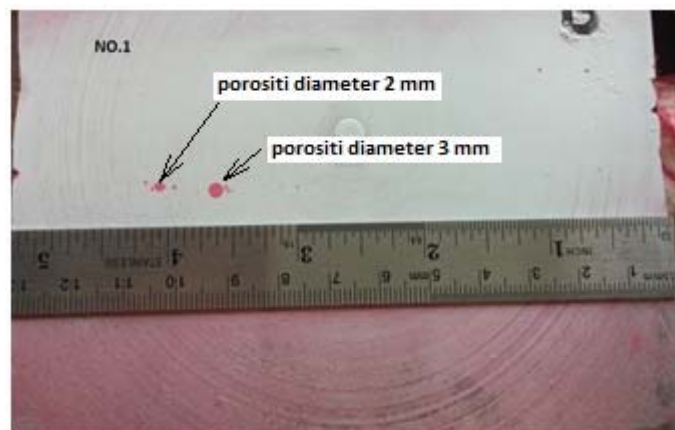
Tabel 1. Hasil pengujian dengan metoda *dye penetrant*

No. Sampel Las	Dimensi (mm)	Tipecacat	Keterangan
1	132 x 130 x 12	porositi	LihatGambar4
2	300 x 100 x 10	retak	LihatGambar5
3	300 x 100 x 10	Tidakada	

Tabel 2. Hasil pengujian dengan metoda ultrasonik

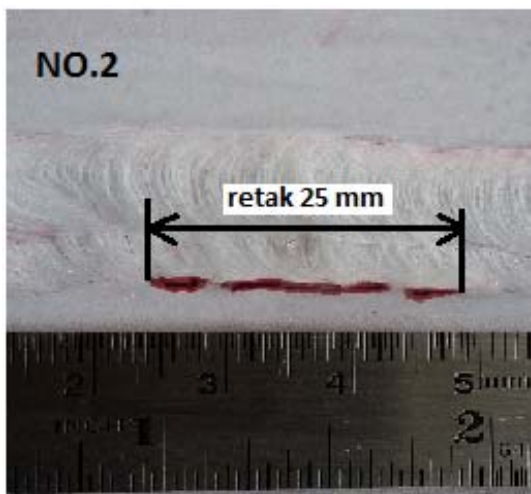
No. Sampel Las	Dimensi (mm)	Tipecacat	Keterangan
1	132 x 130 x 12	porositi	LihatGambar7
2	300 x 100 x 10	retak	LihatGambar9
3	300 x 100 x 10	<i>Lack of Sidewall Fusion</i>	LihatGambar11

Tabel 1 menampilkan hasil pengujian dengan metode *dye penetrant* ditemukan cacat pada sampel las No. 1 berupa indikasi bulat yang biasa disebut porositi[11], seperti ditunjukkan pada Gambar 4. Porositi ini mungkin terjadi dari hasil lubang gas, lubang jarum atau secara umum pori-pori dari permukaan sampel las uji itu sendiri. Cacat porositi ini ditemukan bukan pada daerah las tapi di daerah pengaruh panas (*Heat Affected Zone/HAZ*) dengan waktu tunggu cairan developer selama 60 menit yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sampel las No.1, terjadi kendala pada saat pengamatan karena permukaan las dihilangkan sehingga untuk tahu posisi cacat perlu dihapus permukaan warna putih dari bekas penyemprotan cairan *developer*.

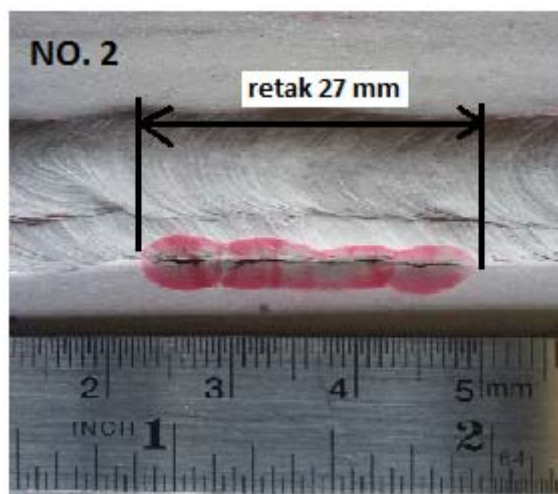


Gambar 4. Cacat porositi pada sampel las nomor 1.

Cacat porositi terlihat berbagai ukuran pada permukaan, pertama pada jarak 91 mm, dengan diameter 3 mm dan kedua pada jarak 102 mm, dengan diameter 2 mm. Porositi besar ditunjukkan dengan warna merah yang melebar dengan diameter membesar menunjukkan lubang porositi dalam. Sebaliknya porositi yang kecil menunjukkan porositi dangkal dan dapat dibersihkan dengan gerinda karena tidak memakan tebal yang banyak.



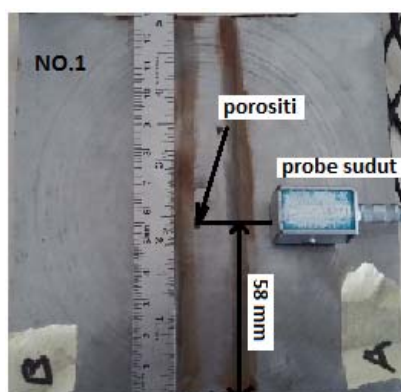
Gambar 5. Indikasi cacat retak dengan waktu tunggu penetran 5 menit



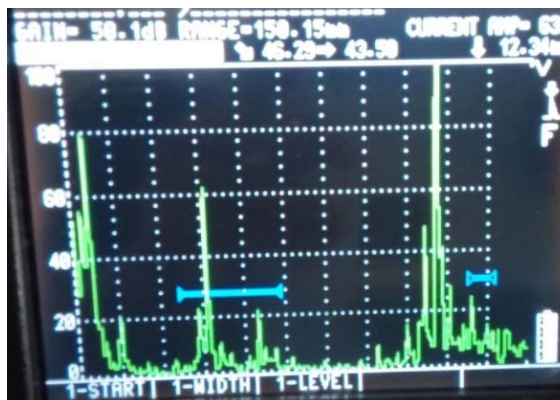
Gambar 6. Indikasi cacat retak dengan waktu tunggu penetran 60 menit

Sampel las No. 2 terlihat garis merah tipis bergerigi memanjang di pinggir las yang terus keluar sebagai indikasi cacat retak dengan panjang 25 mm, waktu tunggu selama 5 menit ditunjukkan pada Gambar 5, sedangkan untuk selang waktu tunggu 60 menit ditunjukkan pada Gambar 6 dimana warna merah keluar semakin banyak menyebar yang mengindikasikan adanya cacat retak yang dalam. Pengaruh waktu tunggu semakin lama menyebabkan pertambahan panjang retak menjadi 27 mm.

Pemeriksaan cacat di dalam las digunakan metoda ultrasonik. Setelah dilakukan *scanning*, ditemukan indikasi cacat berupa porositi yang sinyal amplitudonya kecil dibawah 80%, seperti ditunjukkan pada Gambar 7. Amplitudo kecil disebabkan karena porositi mempunyai permukaan bulat sehingga banyak pantulan yang disebarkan. Pantulan yang diterima hanya pantulan yang tegak lurus terhadap sudut *probe*. Pantulan pulsa kecil ditunjukkan pada layar pada Gambar 8. Ciri ciri porositi dapat dilihat dari tinggi gema pulsa yang tidak berubah bila *probe* digerakkan memutar (*orbital*) porositi dengan jarak tetap[10]. Porositi terjadi karena busur las basah sehingga menyebabkan terjadi gelembung yang terperangkap di dalam las.

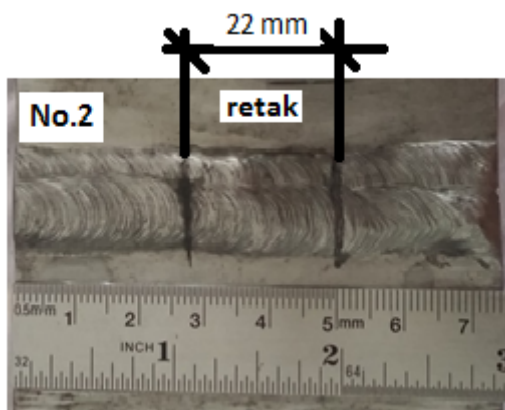


Gambar 7. Posisi *scanning* ditemukan cacat porositi

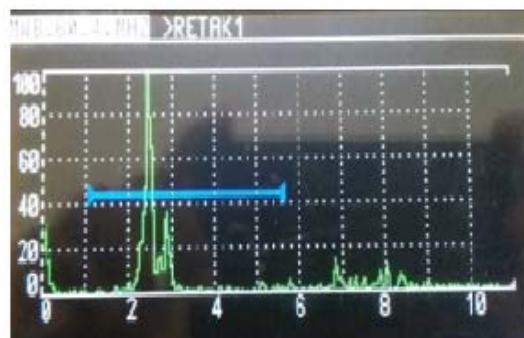


Gambar 8. Amplitudo cacat porositi.

Sampel las No.2 ditemukan indikasi cacat retak dengan panjang 22 mm yang berada di daerah pojok permukaan seperti ditunjukkan pada Gambar 9. Bentuk amplitudo indikasi cacat retak adalah indikasi tajam dan permukaan depan pulsanya tidak beraturan (bergerigi) yang menunjukkan kekasaran permukaan retak[10] ditunjukkan pada Gambar 10.

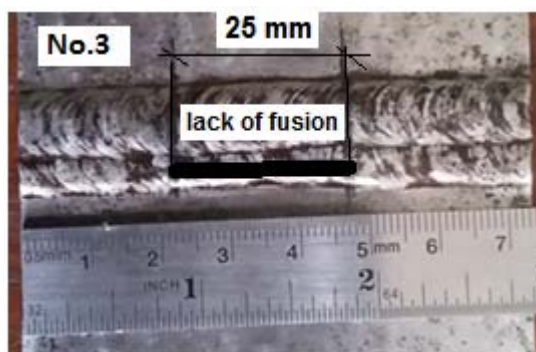


Gambar 9. Cacat retak panjang 22 mm

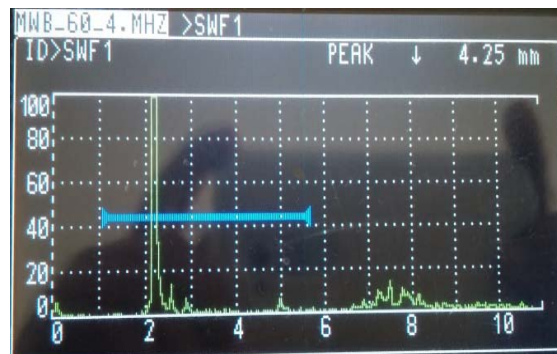


Gambar 10. Amplitudo cacat retak.

Sampel las No.3 ditemukan indikasi cacat *Lack of Sidewall Fusion (LSF)* dengan panjang 25 mm yang berada di dalam las ditunjukkan pada Gambar 11. Bentuk amplitudo indikasi cacat LSF adalah indikasi tajam dan permukaan depan pulsanya halus (tidak bergerigi) yang menunjukkan kehalusan permukaan cacat[10] ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 11. Cacat LSF panjang 25 mm



Gambar 12. Amplitudo cacat LSF

Tiga sampel las setelah diuji dengan metoda *dye penetrant* dan metoda ultrasonik ditemukan cacat permukaan pada sampel las No.1 dan No. 2 sedangkan cacat di dalam las ditemukan pada sampel las No. 1, No. 2 dan No. 3. Sehingga dari data tersebut dapat diambil cuplikan sampel uji rusak (uji mekanik) yang bebas dari posisi cacat.

KESIMPULAN

Hasil pengujian dengan metoda *dye penetrant* dan metoda ultrasonik ditemukan cacat porositi pada sampel nomor 1 baik dipermukaan maupun di dalam las, pada sampel nomor 2 ditemukan cacat retak dipermukaan dan di dalam las dan pada sampel nomor 3 ditemukan cacat *lack of side wall fusion* di dalam las. Semua cacat-cacat tersebut tidak merata sepanjang sambungan las, sehingga dapat disimpulkan bahwa sampel las dapat dibuat benda uji mekanik pada daerah yang tidak ada cacatnya.

UCAPAN TERIMA KASIH.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Darlis yang telah membantu pengujian dengan metoda dye penentrangan DIPA – PTKRN tahun 2016 yang telah membiayai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASME Section IX, "Weldings, Brazing, and Fusing Qualification", Edition 2013.

2. Mudi Haryanto, dkk., "Analisis Sampel Las GTAW Dengan Metode NDT", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016, ISSN : 355-7524, Batam, 4-5 Agustus 2016.
3. Naharuddin, Alimuddin Sam, Candra Nugraha , " Kekuatan Tarik dan Bending Sambungan Las Pada Material Baja SM 490 Dengan Metode Pengelasan SMAW dan SAW", Jurnal Mekanikal , Vol. 6 No. 1 : Januari 2015.
4. Sairin, "Jenis Jenis Cacat Las," Bandung, 2005
5. ASTM, "Standard Test Method For Liquid Penetrant Examination," Article 24 SE 165, 1995
6. ASME Section V, "Liquid Penetrant Examination", Article 6, Edition 2015
7. IAEA-TECDOC-628, "Liquid Penetrant and Magnetic Particle Testing Training at Level 2", IAEA, Vienna, 2000
8. B.L. Luk and Alan, H.S. Chan, "Human Factors and Ergonomics in Dye Penetrant and Magnetic Particles Nondestructive Inspection Methods," Advance online publication, Hongkong, 15 August 2007
9. NDT, "Introduction to Ultrasonic Testing", Iowa State University, 2014
10. AWS D1.1, "Structural Welding Code-Steel", American National Standards Institute March 11, 2010
11. Classroom Training Handbook, "Nondestructive Testing Liquid Penetrant," General Dynamics, 1977.

ANALISIS SPASIAL TATA RUANG PROGRAM RDE DI KAWASAN PUSPIPTEK SERPONG

Heni Susiati¹, Hadi Suntoko¹, Sriyana¹, Habib Subagio²

¹ Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN)-BATAN

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

² Pusat Pemetaan dan Tataruang, Badan Informasi Geospasial (BIG)

Jl. Raya Bogor, Jawa Barat

email: heni_susiati@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS SPASIAL TATA RUANG PROGRAM RDE DI KAWASAN PUSPIPTEK, SERPONG. Kawasan Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) di Kecamatan Setu sebagai modal besar untuk menerapkan konsep pengembangan teknologi tinggi. Rencana pembangunan RDE di kawasan PUSPIPTEK menurut persyaratan BAPETEN, diperlukan evaluasi terhadap perkembangan dan kesesuaian terhadap tataruang kawasan PUSPIPTEK dan sekitarnya. Tujuan penelitian adalah melakukan evaluasi kondisi eksisting status polaruang dan kesesuaian terhadap rencana tataruang wilayah di Tangerang Selatan dengan wilayah studi pada radius 20 km dari pusat rencana pembangunan RDE. Metodologi yang digunakan dengan interpretasi data penggunaan lahan dari citra satelit. Kondisi wilayah Tangerang Selatan yang berkembang cukup pesat akan berpengaruh terhadap rencana program pembangunan RDE, khususnya terhadap perkembangan pemukiman. Hasil analisis polaruang sehubungan dengan rencana pembangunan RDE menunjukkan bahwa polaruang kawasan PUSPIPTEK dan sekitarnya dalam radius 20 km didominasi oleh pemukiman. Rencana pembangunan RDE di kawasan PUSPIPTEK sudah sesuai dengan RTRW Kota Tangerang Selatan. Namun demikian masih diperlukan program perencanaan pembangunan yang terpadu terkait dengan rencana penggunaan ruang kota Tangerang Selatan.

Kata kunci: PUSPIPTEK, BAPETEN, RDE, tataruang, citra satelit, pemukiman

ABSTRACT

SPATIAL PLANNING ANALYSIS OF RDE PROGRAM AT PUSPIPTEK REGIONS, SERPONG. Science and Technology Research Center (PUSPIPTEK) area in Setu Sub-district as a big capital to apply the concept of high technology development. The development plan of RDE in PUSPIPTEK area according to BAPETEN requirement, it is necessary to evaluate the development of spatial planning and suitability to spatial around PUSPIPTEK area and its surroundings. The objective of study was to evaluate the spatial planning and suitability of the spatial plan in Tangerang Selatan with the study area covering a radius of 20 km from the RDE development plan center. The methodology used with the land uses interpretation of satellite imagery data. The condition of SouthTangerang region that developed quite rapidly will affect the plan of RDE development program, especially on the development of settlement. Spatial planning analysis in relation to the RDE development plan shows that the PUSPIPTEK spatial planning and its surrounding areas of the RDE development plan is dominated by settlement. The development plan of RDE in PUSPIPTEK area is in accordance with RTRW of South Tangerang. However, an integrated development planning program is still needed in relation to the space usage plan in South Tangerang.

Keywords: PUSPIPTEK, BAPETEN, RDE, spasial planning, remote sensing, settlement

PENDAHULUAN

Perencanaan pembangunan dan pengembangan RDE (Reaktor Daya Eksperimen) di PUSPIPTEK memerlukan dukungan data dan informasi kewilayahan (keruangan/spasial) yang komprehensif dan mutakhir[1][2][3]. Salah satu informasi kewilayahan yang sangat penting adalah data rencana tata ruang wilayah (RTRW) kawasan sekitar RDE[4][5][6]. Informasi ini sangat penting dan harus ada di bagian depan perencanaan sebelum pelaksanaan pembangunan dan pengembangan RDE[2]. Data ini akan memberikan informasi arahan pemanfaatan ruang yang selanjutnya dapat digunakan untuk berbagai macam analisis seperti dampak bencana (*hazard assessment*) dari RDE, termasuk analisis lain ketika data arahan pemanfaatan ruang ini diintegrasikan dengan data spasial lain seperti

administrasi dan penggunaan lahan yang kemudian dapat dilanjutkan pada analisis distribusi sebaran integrasi informasi dari tiap wilayah tersebut[7][8][9][10].

Menurut RTRW Provinsi Banten tahun 2010-2030 dan RTRW Kota Tangerang Selatan tahun 2011-2031, Kawasan PUSPIPTEK di Kecamatan Setu Kota Tangerang Selatan ditetapkan sebagai kawasan strategis provinsi dari sudut kepentingan pendayagunaan sumber daya alam dan/atau teknologi tinggi[3][4]. Sementara itu, lokasi proyek RDE berada pada kawasan strategis kota yaitu kawasan PUSPIPTEK. Kawasan PUSPIPTEK ini merupakan kawasan yang memiliki nilai strategis pendayagunaan sumber daya alam dan/atau teknologi tinggi[2][3][4][5][9][10][11].

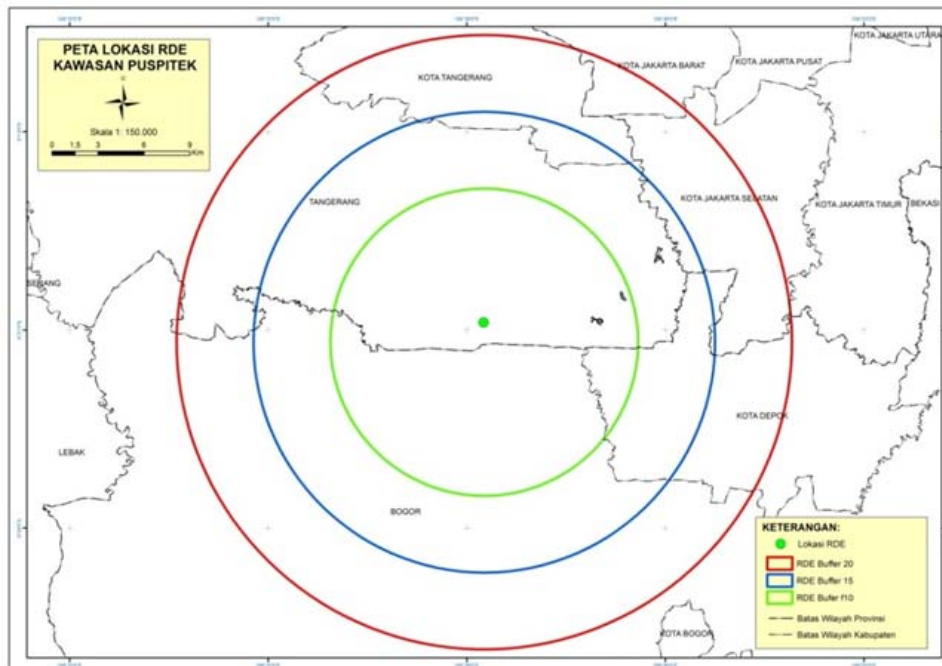
Tujuan kegiatan adalah melakukan analisis pemanfaatan ruang pada wilayah sekitar PUSPIPTEK dan melakukan kajian kondisi eksisting pemanfaatan lahan (evaluasi tapak) terhadap aspek tata ruang dan infrastruktur. Penelitian ini diharapkan diperoleh analisis polaruang, yang meliputi tersedianya arahan pemanfaatan ruang wilayah kajian RDE sampai dengan radius 20 km. Kegiatan ini sebagai salah satu bahan masukan dalam evaluasi tapak dengan tujuan untuk melakukan karakterisasi tapak secara detail yang berkaitan dengan parameter basis desain RDE, termasuk kelayakan penerapan prosedur kedaruratan[9][10]. Analisis tata ruang dilakukan dengan melihat rencana pola ruang pada wilayah kajian. Arahan pemanfaatan ruang akan dikomparasikan dengan penggunaan lahan eksisting hasil interpretasi citra sehingga dapat dilihat kesesuaian pemanfaatan ruang dengan melihat rencana pola ruang dengan penggunaan lahan eksisting. Rencana Tata ruang di sekitar PUSPIPTEK diprediksi pada tahun 2011 -2031, peruntukan penggunaan tanah mendominasi sebagai kawasan perumahan kepadatan tinggi[4][5].

METODOLOGI

Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian yang dilakukan sebelumnya terkait dengan Pemetaan Tata Guna Lahan Dalam Rangka Persiapan Pembangunan RDE di Kawasan PUSPIPTEK Serpong[9][10].

Lokasi Kajian

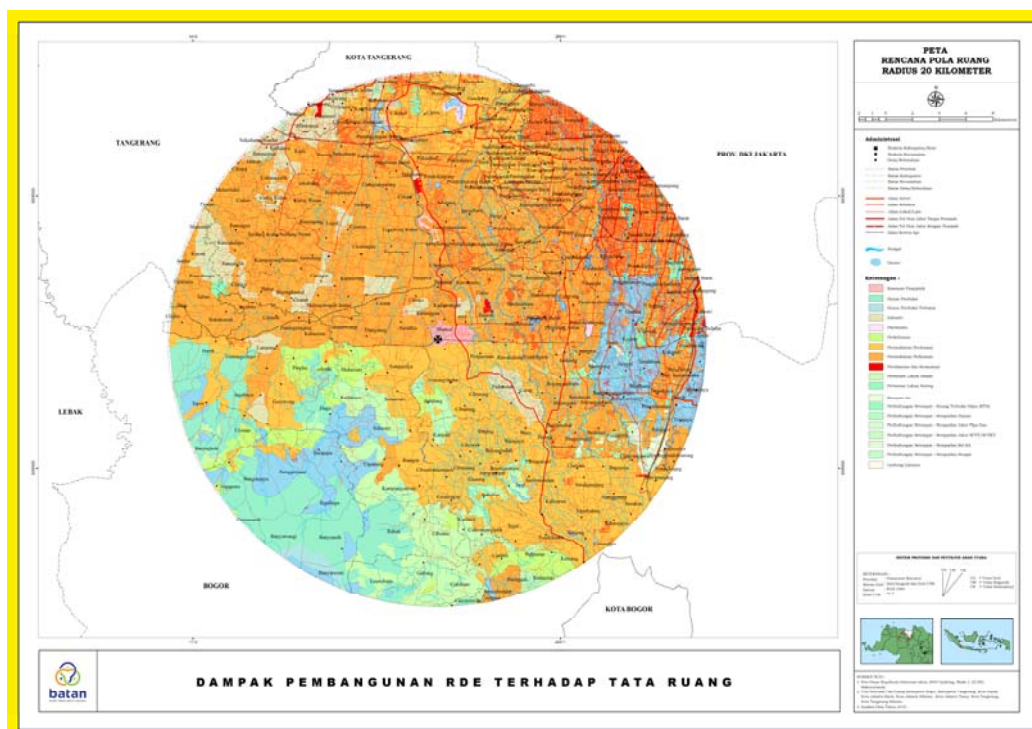
Lokasi kajian berada pada radius 20 km dari RDE PUSPIPTEK yang berada di Kabupaten Bogor, Kota Depok Provinsi Jawa Barat; Kota Tangerang Selatan, Kota Tangerang dan Kabupaten Tangerang Provinsi Banten; Kota Jakarta Selatan dan Jakarta Barat Provinsi DKI Jakarta. Lokasi tapak rencana pembangunan RDE merupakan bagian dari kawasan Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Lokasi RDE Kawasan PUSPIPTEK

Gambar 1 menunjukkan bahwa distribusi radius zonasi RDE dalam radius 20 km meliputi wilayah administrasi Kota Tangerang Selatan, Kabupaten Bogor, Kabupaten

Tangerang, Kota Depok, Kota Jakarta Barat, Kota Jakarta Selatan, dan Kota Tangerang. Oleh sebab itu berikut ini akan dijelaskan karakteristik pola ruang di masing-masing wilayah tersebut seperti pada Gambar 2 berikut:



Gambar 2. Peta Rencana Pola Ruang Radius 20 km

Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh baik dari data primer maupun data sekunder, yaitu:

Pengumpulan Data

Sumber data yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh dengan cara menginventarisir dan penelusuran data, baik pada buku, peta, internet, peraturan perundang-undangan, penelitian terdahulu maupun dari beberapa instansi yang terkait. Data hasil perolehan data instansional antara lain peta rencana tata ruang wilayah pada wilayah kajian.

Pengolahan Data

Pada tahap pengolahan data, data yang diperoleh, baik dari data penginderaan jauh, peta Rupabumi Indonesia maupun data survei lapangan dilakukan klasifikasi data[6]. Semua data yang telah diperoleh diklasifikasi berdasarkan data grafis dan data atribut. Klasifikasi data bertujuan untuk mempermudah dalam pengolahan data dan analisis data[6].

Analisis dan Pengolahan Data

1. Analisis Spasial

Data yang diperoleh dianalisis secara spasial untuk arahan pemanfaatan ruang di wilayah kajian pada radius 10 km, 15 km, dan 20 km. Hasil analisis data dibuat tabel silang pada setiap kabupaten/kota di wilayah kajian sehingga rencana pola ruang pada masing-masing wilayah dapat diidentifikasi[6][7].

2. Analisis Polaruang dalam Radius 20 km

Analisis rencana pola ruang dilakukan dengan melihat arahan pemanfaatan ruang pada wilayah kajian dengan radius 10 km, 15 km, dan 20 km. pola ruang dilakukan metode tumpang susun dengan penggunaan lahan eksisting[6][7][8][9].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kawasan PUSPIPTEK memiliki posisi strategis, karena banyak fasilitas penelitian yang berada di dalam kawasan telah mempunyai nilai tambah terhadap kemajuan bangsa Indonesia. Dalam penelitian sebelumnya, disebutkan bahwa rencana pembangunan RDE di PUSPIPTEK dikaitkan dengan penggunaan lahan[4][8][9][10], polaruang kawasan rencana pembangunan RDE didominasi polaruang pemukiman[5][7][8][9][10]. Hasil interpretasi citra

satelit dan pengolahan data berbasis spasial dengan menggunakan sistem informasi geografi. dan digabung dengan hasil penelitian penggunaan lahan sebelumnya dapat diperoleh gambaran hasil polaruang di kawasan pusat RDE sampai radius 20 km[9][10].

Radius 20 km dari Lokasi RDE

Radius dari lokasi RDE dibagi menjadi tiga yaitu radius 10 km, radius 15 km, dan radius 20 km. Setiap radius dari lokasi RDE mencakup wilayah yang berbeda-beda. Berikut merupakan radius dari lokasi RDE beserta cakupan wilayah:

Radius 10 km: Kabupaten Bogor, Kota Depok Provinsi Jawa Barat; Kota Tangerang Selatan, dan Kabupaten Tangerang Provinsi Banten.

Radius 15 km: Kabupaten Bogor, Kota Depok Provinsi Jawa Barat; Kota Tangerang Selatan, dan Kabupaten Tangerang Provinsi Banten; Kota Jakarta Selatan Provinsi DKI Jakarta.

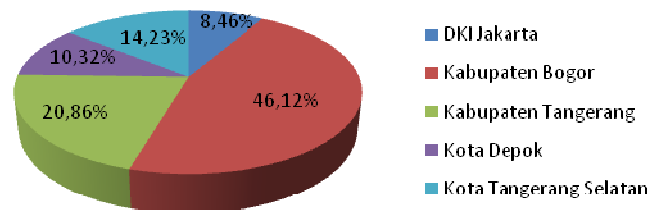
Radius 20 km: Kabupaten Bogor, Kota Depok Provinsi Jawa Barat; Kota Tangerang Selatan, dan Kabupaten Tangerang Provinsi Banten; Kota Jakarta Selatan dan Jakarta Barat Provinsi DKI Jakarta.

Analisis tata ruang dalam kegiatan ini dimaksudkan untuk melihat dokumen penataan ruang (pola ruang) dari berbagai wilayah yang mencakup kajian kawasan RDE dalam konteks spasial. Perlu dijelaskan pula dalam kajian ini bahwa batasan analisis tata ruang yang dilakukan adalah melakukan analisis deskripsi dari proses penggabungan data spasial pola ruang berbagai sumber dari kabupaten/kota yang masuk dalam cakupan kajian yang terbagi dalam berbagai level cakupan analisis. Penataan ruang merupakan suatu sistem proses perencanaan tata ruang, pemanfaatan ruang, dan pengendalian ruang. Penyelenggaraan penataan ruang adalah kegiatan yang meliputi pengaturan, pembinaan, pelaksanaan, dan pengawasan penataan ruang. Hal tersebut di atas telah digariskan dalam Undang-undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang[1][2].

Pada bagian ini telah dilakukan analisis pola ruang yang menggambarkan pemanfaatan ruang pada wilayah kajian. Pola ruang adalah distribusi peruntukan ruang dalam suatu wilayah yang meliputi peruntukan ruang untuk fungsi lindung dan peruntukan ruang untuk fungsi budidaya[11][12].

Pola Ruang Radius 0-20 Km

Wilayah kajian pada radius 0-20 km berada di Kabupaten Bogor, Kabupaten Tangerang, Kota Tangerang Selatan, Kota Depok, dan Provinsi DKI Jakarta. Gambar 3 di bawah ini menggambarkan pada radius 0-20 km sebagian wilayah berada di Kabupaten Bogor dengan luas 53.657,04 Ha atau 46,12% dari wilayah kajian.



Gambar 3. Distribusi Sebaran Wilayah pada Radius 0-20 km

Kabupaten Bogor

Wilayah kajian pada radius 0-20 km sebagian berada di Kabupaten Bogor seluas 53.657,04 Ha atau 46,12%. Sebagian besar merupakan kawasan permukiman perkotaan hunian padat yang berada pada radius 0-10 km. Pada radius 15-20 km, kawasan permukiman perkotaan hunian padat berada di Kecamatan Tajurhalang dan sebagian Kecamatan Bojonggede. Kondisi eksisting di lapangan berdasarkan hasil survei masih banyak dijumpai kebun, tegalan, tanah kosong, dan semak belukar.

Tabel 1. Pola Ruang Kabupaten Bogor Radius 0-20 km

Uraian	Luas (Ha)	%
Danau	91,37	0,08
Kawasan Hutan Produksi	10.124,47	8,70
Kawasan Hutan Produksi Terbatas	494,97	0,43
Kawasan Perkebunan	1.091,38	0,94
Kawasan Permukiman Perdesaan (Hunian Padat)	5.444,64	4,68
Kawasan Permukiman Perdesaan (Hunian Sedang)	152,28	0,13
Kawasan Permukiman Perkotaan (Hunian Padat)	15.907,07	13,67
Kawasan Permukiman Perkotaan (Hunian Rendah)	561,42	0,48
Kawasan Permukiman Perkotaan (Hunian Sedang)	3.113,98	2,68
Kawasan Pertanian Lahan Basah	7.448,10	6,40
Kawasan Pertanian Lahan Kering	4.558,79	3,92
Kawasan Tanaman Tahunan	3.325,34	2,86
Zona Industri	1.343,23	1,15
Jumlah	53.657,04	46,12

Hasil pengolahan data citra satelit

Hutan produksi terbatas banyak terdapat pada radius 15-20 km yang berada di Kecamatan Cigudeg dan sebagian kecil Kecamatan Tenjo dan Kecamatan Tajurhalang. Pengelolaan kawasan hutan produksi dilakukan oleh Perhutani. Pada tabel 5.14 di atas ini dapat dilihat bahwa kawasan hutan produksi memiliki luas 10.124,47 Ha atau 8,70%.

Kawasan lahan pertanian juga masih banyak terdapat di Kabupaten Bogor baik lahan pertanian lahan basah maupun lahan pertanian lahan kering. Kawasan pertanian lahan basah memiliki luas 7.448,10 Ha atau 6,40% yang terdistribusi di Kecamatan Rumpin bagian selatan yang berbatasan dengan Kecamatan Ciampea. Produk unggulan pertanian di Kabupaten Bogor antara lain padi yang tersebar di semua kecamatan yang memiliki lahan pertanian. Sawah tadah hujan dengan komoditas berupa padi gogo hanya berada di beberapa wilayah kecamatan saja. Sedangkan kawasan pertanian lahan kering memiliki luas 4.558,71 Ha atau 3,92% yang tersebar di beberapa kecamatan antara lain Kecamatan Jasinga dan Kecamatan Cigudeg. Arah pemanfaatan ruang untuk kawasan perkebunan dialokasikan seluas 1.091,38 Ha atau 0,934% yang berada di Kecamatan Rancabungur dan Kecamatan Kemang.

Kabupaten Tangerang

Kabupaten Tangerang memiliki luas 24.271,12Ha (20,86) % dari wilayah kajian. Pada radius 0-20 km kondisinya hampir sama seperti radius 0-10 km dan 0-15 km seperti ditunjukkan tabel 5.15 yang didominasi oleh rencana pola ruang untuk hunian kepadatan tinggi seluas 7.948,46 Ha (6,83%) dan hunian kepadatan sedang seluas 12.288,17 Ha (10,56%). Kawasan hunian kepadatan tinggi terdistribusi di Kecamatan Curug sedangkan hunian kepadatan sedang terdistribusi di Kecamatan Panongan dan Kecamatan Jambe.

Provinsi DKI Jakarta sebagai pusat kegiatan baik pemerintahan, ekonomi, dan bisnis serta kegiatan lainnya mempunyai daya tarik yang besar bagi penduduk dari wilayah lainnya. Hal tersebut memiliki konsekuensi spasial berupa perembetan spasial kota secara horizontal karena bertambahnya kawasan permukiman dan sarana prasarana kota lainnya. Kabupaten Tangerang sebagai salah satu kawasan *hinterland* Jakarta menerima limpahan penduduk tersebut sehingga muncul fenomena menjamurnya perumahan di pinggiran Provinsi DKI Jakarta termasuk di dalamnya Kabupaten Tangerang.

Oleh karena itu Pemerintah Kabupaten Tangerang telah melakukan langkah antisipatif dengan menetapkan zonasi permukiman. Penentuan arahan pemanfaatan ruang penting dilakukan agar wilayah yang akan dikembangkan sebagai kawasan tumbuh cepat maupun diarahkan untuk berkembang secara terbatas dapat ditentukan, lokasi yang boleh dan tidak boleh dibangun juga sudah diarahkan.

Tabel 2. Pola Ruang Kabupaten Tangerang Radius 0-20 km[3][4][5][6]10][11]

Uraian	Luas (Ha)	%
Hunian Kepadatan Sedang	12.288,17	10,56
Hunian Kepadatan Tinggi	7.948,46	6,83
Kawasan Industri	3.928,94	3,38
Kawasan Pertanian Lahan Kering	105,55	0,09
Jumlah	24.271,12	20,86

Kota Tangerang Selatan

Arahan pemanfaatan ruang pada radius 0-20 km di Kota Tangerang Selatan memiliki kelas pola ruang yang relatif sama pada radius 0-10 km dan 0-15 km. pada radius 0-20 km arahan pemanfaatan ruang paling dominan berupa permukiman dimana permukiman kepadatan tinggi diarahkan seluas 6.609,96 Ha (5,68%). Permukiman kepadatan sedang memiliki arahan pola ruang 4.711,26 Ha atau 4,10%.

Pada radius 15-20 km sebagian besar merupakan permukiman kepadatan tinggi yang berada di Kecamatan Pondok Aren. Kecamatan Pondok Aren mengalami pertumbuhan cepat karena lokasinya yang sangat strategis berbatasan langsung dengan Provinsi DKI Jakarta dan Kota Tangerang. Selain itu aksesibilitasnya cukup baik karena dilalui jalan tol lingkaran luar dan rel keretaapi listrik sehingga mendukung mobilitas penduduknya.

Kawasan perdagangan dan jasa pada wilayah kajian di Kota Tangerang Selatan juga cukup luas. Kawasan perdagangan dan jasa memiliki arahan pola ruang seluas 2,943,74 Ha atau 2,53%. Kawasan perdagangan dan jasa banyak bermunculan pada setiap kawasan perumahan.

Tabel 3. Pola Ruang Kota Tangerang Selatan Radius 0-20 km

Uraian	Luas (Ha)	%
Danau	96,99	0,08
Kawasan Bandara	131,69	0,11
Kawasan Industri	238,96	0,21
Kawasan Militer	86,82	0,07
Kawasan Pendidikan	124,86	0,11
Kawasan Perdagangan dan Jasa	2.943,74	2,53
Kawasan Peruntukan Pariwisata	115,86	0,10
Kawasan PUSPIPTEK	433,74	0,37
Pemukiman Kepadatan Sedang	4.771,26	4,10
Pemukiman Kepadatan Tinggi	6.609,96	5,68
RTH	452,04	0,39
Sempadan Jalur Pipa Gas	23,82	0,02
Sempadan Jalur SUTT	0,00	0,00
Sempadan Rel KA	35,32	0,03
Sempadan Sungai	100,92	0,09
Sungai	296,56	0,25
TPU	90,99	0,08
Jumlah	16.553,54	14,23

Hasil pengolahan data citra satelit

Perkembangan kota yang pesat ditandai semakin bertambahnya sifat kekotaan suatu wilayah. Selain memiliki dampak positif dalam pembangunan wilayah namun disisi lain memiliki dampak negatif dengan munculnya konflik kepentingan yang luas[16]. Peningkatan aspek demografi dan aktifitas penduduk yang cukup pesat merupakan penyebab meningkatnya kebutuhan lahan di Kota Tangerang Selatan, meliputi kebutuhan lahan permukiman, industri, dan perdagangan serta jasa. Dampak lain dari peningkatan aspek

demografi dan aktifitas penduduk di Kota Tangerang Selatan ,diantaranya daerah pusat kota sudah semakin padat dengan berbagai macam fungsi dan kegiatannya seperti pusat pemerintahan, pusat kegiatan ekonomi dan permukiman padat. Untuk memenuhi kebutuhan lahan yang semakin meningkat, cenderung mengarah ke daerah pinggiran pusat kota yang masih minim lahan terbangun, termasuk wilayah sekitar PUSPIPTEK[12][13].

Kota Depok

Kota Depok memiliki luas 12.006,93 Ha atau 10,32 dari luas wilayah kajian. Arah pemanfaatan ruang Kota Depok pada radius 0-20 km didominasi perumahan dimana perumahan kepadatan rendah memiliki luas 4.476,12 Ha atau 3,85%. Permukiman kepadatan rendah terdistribusi di Kecamatan Pancoranmas dan Kecamatan Cipayung. Kedua kecamatan tersebut memiliki penggunaan lahan permukiman campuran dengan pekarangan. Sedangkan permukiman kepadatan sedang sebagian berada di Kecamatan Beji dan sebagian Kecamatan Pancoranmas. Permukiman kepadatan tinggi memiliki arahan pemanfaatan seluas 562,85 Ha atau 0,48%. Permukiman kepadatan tinggi berada di Kecamatan Beji. Kecamatan Beji merupakan pusat kegiatan di Kota Depok.

Kawasan perdagangan dan jasa memiliki arahan pola ruang 734,12 Ha atau 0,63%. Kawasan perdagangan dan jasa berada pada koridor jalan utama. Sepanjang jalan raya Margonda merupakan kawasan perdagangan dan jasa yang strategis. Selain kawasan perdagangan dan jasa, kawasan tersebut juga berfungsi sebagai kawasan perkantoran. Fasilitas pendidikan memiliki arahan pemanfaatan ruang 235,18 Ha atau 0,20%. Fasilitas pendidikan diarahkan pada kawasan Universitas Indonesia. Sedangkan fasilitas perkotaan lainnya antara lain fasilitas kesehatan, fasilitas transportasi, dan infrastruktur kota lainnya.

Tabel 4. Pola Ruang Kota Depok Radius 0-20 km

Uraian	Luas (Ha)	%
Danau	71,52	0,06
Fasilitas Kesehatan	4,91	0,00
Fasilitas Pendidikan	235,18	0,20
Fasilitas Transportasi	22,78	0,02
Infrastruktur Kota	53,21	0,05
Kawasan Lindung Lainnya	7,31	0,01
Kawasan Perdagangan dan Jasa	734,12	0,63
Kawasan Perkantoran	45,17	0,04
Kawasan Pertahanan dan Keamanan	11,71	0,01
Kawasan Pertanian	486,13	0,42
Perumahan Kepadatan Rendah	4.476,12	3,85
Perumahan Kepadatan Sedang	3.708,91	3,19
Perumahan Kepadatan Tinggi	562,85	0,48
Peruntukan Industri	26,22	0,02
Resapan Air	557,80	0,48
Ruang Terbuka Hijau	136,54	0,12
Sempadan Danau	98,06	0,08
Sempadan Pipa Gas	14,61	0,01
Sempadan Rel Kereta	44,59	0,04
Sempadan Sungai	327,55	0,28
Sempadan SUTT/SUTET	281,15	0,24
Sungai	100,51	0,09
Jumlah	12.006,93	10,32

Hasil pengolahan data citra satelit

Arahan pemanfaatan ruang untuk kawasan lindung di Kota Depok merupakan kawasan lindung kawasan perkotaan. Kawasan lindung tersebut antara lain resapan air 556,80 Ha (0,48%), ruang terbuka hijau 136,54 Ha (0,12%), sempadan danau 98,06 Ha (98,06%), sempadan pipa gas 14,61 Ha (0,01%), sempadan sungai 327,55 Ha (0,28%), sempadan SUTET 281,15 Ha (0,24%), dan kawasan lindung lainnya 7,51 Ha (0,01%).

Provinsi DKI Jakarta

Rencana pola ruang Provinsi DKI Jakarta pada radius 0-20 km 9845,38 Ha atau 8,46% dari luas wilayah kajian. Pada radius 0-20 km berada pada Kota Jakarta Selatan dan sebagian kecil berada di Kota Jakarta Barat. Sebagian besar diarahkan untuk perumahan kepadatan bangunan tinggi seluas 2.564,97 Ha atau 2,20% dan perumahan kepadatan bangunan sedang 1.371,88 Ha atau 1,18% serta 953,94 Ha atau 0,82%. Selain itu permukiman juga berupa perumahan susun seluas 76,56 Ha atau 0,07% dan perumahan susun taman seluas 42,79 Ha atau 0,04%.

Tabel 5. Pola Ruang DKI Jakarta Radius 0-20 km

Uraian	Luas (Ha)	%
Kawasan Campuran Besar	7,73	0,01
Kawasan Campuran Kecil	302,77	0,26
Kawasan Jalur Hijau dan Hutan Kota	655,22	0,56
Kawasan Pelayanan Umum dan Sosial	395,93	0,34
Kawasan Pemakaman	123,60	0,11
Kawasan Perdagangan	194,54	0,17
Kawasan Pergudangan	1,42	0,00
Kawasan Perkantoran Pemerintah	128,52	0,11
Kawasan Perkantoran Swasta	199,22	0,17
Kawasan Perkantoran Taman	268,52	0,23
Kawasan Perumahan Kepadatan Bangunan Rendah	953,94	0,82
Kawasan Perumahan Kepadatan Bangunan Sedang	1.371,88	1,18
Kawasan Perumahan Kepadatan Bangunan Tinggi	2.564,97	2,20
Kawasan Perumahan Susun	76,56	0,07
Kawasan Perumahan Susun Taman	42,79	0,04
Kawasan Taman	223,86	0,19
Kawasan Terbuka Biru	247,55	0,21
Kawasan Terbuka Lapangan Olah Raga	183,61	0,16
Marga Jalan	1.902,75	1,64
Jumlah	9.845,38	8,46

Hasil pengolahan data citra satelit

Fasilitas perkotaan merupakan fasilitas yang mendukung aktivitas masyarakat perkotaan. Arahan pemanfaatan untuk fasilitas perkotaan antara lain kawasan pelayanan umum dan sosial seluas 395,93 Ha (0,34), kawasan perdagangan seluas 194,54 Ha (0,17%), kawasan perkantoran pemerintah seluas 128,52 Ha (0,11%), kawasan perkantoran swasta seluas 199,22 Ha (0,17%), kawasan perkantoran taman 268,52 Ha (0,23%) dan kawasan pergudangan seluas 1,42 Ha. Selain itu fasilitas perkotaan yang cukup luas adalah marga jalan yang memiliki luas 1,902,75 Ha (1,64%).

Pada penelitian sebelumnya juga diketahui bahwa diprediksikan penggunaan tanah yang mendominasi pada tahun 2011-2031 disekitar kawasan PUSPIPTEK adalah kawasan peruntukan perumahan kepadatan tinggi dan kawasan peruntukan perumahan kepadatan sedang. Kawasan peruntukan perumahan kepadatan tinggi sangat mendominasi di Kecamatan Pondok Aren, Kecamatan Ciputat, Kecamatan Ciputat Timur, dan Kecamatan

KESIMPULAN

Hasil pembahasan yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa pola ruang pada radius 0-20 km dari RDE PUSPIPTEK meliputi wilayah DKI Jakarta, Kabupaten Bogor, Kabupaten Tangerang, Kota Depok, dan Kota Tangerang Selatan didominasi pemukiman, kabupaten Bogor = 21,64 %, Tengerang = 17,48, kota Tangerang Selatan = 9,78 %, kota Depok = 7,52 %, DKI Jakarta = 2,90 % . Rencana pembangunan RDE di dalam kawasan PUSPIPTEK sesuai dengan rencana tataruang dan rencana wilayah kota Tangerang Selatan dan Provinsi Banten.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala PKSEN-BATAN yang telah memberikan dukungan dalam kegiatan pemetaan tutupan lahan di Serpong. Demikian juga ucapan terima kasih pada rekan kerja di Bidang KDT-PKSEN. Ucapan terima kasih juga disampaikan pada Tim Pusat Pemetaan Tataruang dan ATLAS, BIG (Andika, Moko, Gunawan, Anggun, dkk.) yang telah membantu dalam pengolahan data citra satelit.

DAFTAR PUSTAKA

1. ACHMAD SJAFRUDIN, Kota Tangerang Selatan dan Tantangan Massa Depan, Bulletin Of Scientific Contribution, Volume 11, Nomor, Desember (
2. KEMENTERIAN RISET DAN TEKNOLOGI, Masterplan Revitalisasi PUSPIPTEK dan Pengembangan I-STP, Jakarta (2013).
3. Badan Tenaga Nuklir Nasional, "Program Evaluasi Tapak Reaktor Riset Eksperimen", Jakarta [2014].
4. BAPPEDA KABUPATEN BOGOR, RTRW Kabupaten Bogor Tahun 2005-2025, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, Kabupaten Bogor (2008).
5. PERATURAN DAERAH KOTA TANGERANG SELATAN, Nomor 15 Tahun 2011 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Tangerang Selatan Tahun 2011-2031 (2010).
6. BAPPEDA KOTA TANGERANG SELATAN, RTRW Kota Tangerang Selatan Tahun 2011-2031, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah, Tangerang Selatan (2011).
7. ADISASMITA, RAHARDJO, Pembangunan Kawasan dan Tata Ruang, Penerbit Graha Ilmu, Makassar (2010).
8. ARONOFF, G., Geographic Information Systems: A Management Perspective, WDL Publication, Ottawa (1989).
9. H., SUSIATI, H. SUBAGIO, Pemetaan Tata Guna Lahan Dalam Rangka Persiapan Pembangunan RDE di Kawasan PUSPIPTEK, Serpong", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir (2015). ISSN: 2355-7524, Bali, Oktober (2015).
10. H., SUSIATI, H. SUBAGIO, Aplikasi Penginderaan Jauh dalam Pemetaan Penggunaan Lahan Detil Tapak RDE, PUSPIPTEK SERPONG, Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, Volume 18, No. 2 (2016).
11. BAPPEDA PROVINSI BANTEN, RTRW Provinsi BANTEN Tahun 2010-2030, Peraturan Daerah Provinsi Banten Nomor 2 Tahun 2011, Banten (2010).
12. YUNUS, HADI SABARI, Struktur Tata Ruang Kota, Penerbit Pustaka Pelajar. Yogyakarta (1999).
13. LIA YULIA IRIANI, Proyeksi Daya Dukung Terhadap Kebutuhan Rumah di Kota Tangerang Selatan, Jurnal Sosial Ekonomi Pekerjaan Umum, Volume 8, No. 2 tahun 2016, No Akreditasi LIPI: 633/AU/P2MI-LIPI/03/2015, ISSN: 2085-384X (print), ISSN: 2579-3578 (online), Puslibang Kebijakan dan Penerapan Teknologi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta Selatan (2016).
14. SODAK MAHARISI, MACHFUD, AGUS MAULANA, Manajemen Strategi Pengembangan Pertanian Kota (Urban Agriculture) di Kota Tangerang Selatan, Jurnal Aplikasi Manajemen IJAM), Volume 12 No.3, Bogor (2014).
15. AISYAH DESINAH, MANGAPUL P. TAMBUNAN, SUPRIATNA, Perubahan Penggunaan Tanah Sebelum dan Sesudah Dibangun Jalan Tol Ulujami-Serpong Tahun 2000-2016 di Kota Tangerang Selatan, 8th Industrial Research Workshop and National Seminar Politeknik Negeri Bandung, July 26-27 (2017).

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: Erlan Dewita (PKSEN–BATAN)

- Apa Program RDE di Serpong sudah sesuai dengan RTRW Kota Tangerang Selatan dan Provinsi Banten, namun perkembangan pemukiman cukup pesat, bagaimana dengan kondisi pemukiman yang cukup padat di daerah sekitar Serpong tersebut?
- Bagaimana program RDE tersebut bisa diterima masyarakat sekitar Serpong?

JAWABAN: Hensi Susiati (PKSEN - BATAN)

- *Lokasi rencana pembangunan RDE di kawasan PUSPIPTEK SERPONG di dalam RTRW kota Tangerang Selatan dan Provinsi Banten merupakan Kawasan Strategis Nasional, dengan kondisi pemukiman yang cukup padat di lokasi yang tidak jauh dari kawasan PUSPIPTEK tersebut masih dalam batas kawasan di luar daerah eskresi persyaratan keberadaan fasilitas nuklir (masih berjarak lebih dari radius. 1 km). Namun demikian harus dilakukan pembatasan akan perkembangan pemukiman di sekitar kawasan Puspipstek. Hal ini harus dilakukan koordinasi dengan pemerintah daerah Tangerang selatan dan provinsi Banten, serta kabupaten lain seperti Bogor, dll.*
- *Program RDE untuk bisa diterima masyarakat dilakukan sosialisasi ke masyarakat mengenai rencana pembangunan RDE yang mencakup wilayah minimal daerah yang mencakup radius 5 km. Hal ini telah dilakukan oleh BATAN, disamping juga kegiatan sosialisasi ke masyarakat juga merupakan persyaratan dalam pengajuan dokumen AMDAL proyek RDE di Serpong tersebut, yang saat ini juga sedang proses pengajuan ijin lingkungan untuk proyek RDE di KLHK.*

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

CLEARING HOUSE TEKNOLOGI NUKLIR BERBASIS STANDARDISASI: STUDI KASUS PADA ASSESSMENT TEKNOLOGI REAKTOR NUKLIR GENERASI IV

I Wayan Ngarayana, Sigit Santosa

Pusat Standardisasi & Mutu Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Serpong 15314

ABSTRAK

CLEARING HOUSE TEKNOLOGI NUKLIR BERBASIS STANDARDISASI: STUDI KASUS PADA ASSESSMENT TEKNOLOGI REAKTOR NUKLIR GENERASI IV. *Clearing house* merupakan organisasi atau pengorganisasian yang memiliki peran penting dalam hal perlindungan dan juga memberikan informasi yang valid mengenai suatu teknologi kepada para *stakeholder*. Sampai dengan hasil kajian ini selesai ditulis, Indonesia belum memiliki skema baku dalam pelaksanaan Clearing House Teknologi Nuklir. Padahal teknologi nuklir sudah dimanfaatkan secara luas dalam berbagai bidang kehidupan, baik yang dihasilkan dari program penelitian dan pengembangan di dalam negeri, maupun yang didatangkan dari luar negeri. Salah satu contoh pelaksanaan Clearing House Teknologi Nuklir yang harus segera dihadapi adalah pelaksanaan *clearance* terhadap teknologi reaktor nuklir generasi IV yang sudah ditawarkan untuk dapat dibangun di Indonesia, yaitu Molten Salt Reactor yang berbahan bakar thorium. Kajian ini bertujuan untuk memformulasikan pelaksanaan *clearing house* yang selaras dengan konsep-konsep yang mungkin sudah dikembangkan serta diterapkan secara nasional dan/atau internasional sebagai instrumen dalam mekanisme *clearance* teknologi nuklir jenis baru. Dari hasil kajian yang telah dilakukan secara kualitatif melalui metode pengumpulan data secara *secondary analysis* dan *focus group discussion*, diperoleh kesimpulan bahwa kegiatan Clearing House Teknologi Nuklir pada dasarnya dapat didekati melalui perluasan implementasi standardisasi ketenaganukliran.

Kata Kunci: *Clearing House, Clearance Test, Standardisasi, Teknologi Nuklir*

ABSTRACT

NUCLEAR TECHNOLOGY CLEARING HOUSE BASE ON STANDARDIZATION: CASE STUDY ON THE ASSESSMENT OF GENERATION IV NUCLEAR REACTOR. *Clearing house* is an organization or organizing that has an important role in the protection and also provide valid information about a technology to the stakeholders. Until this study was done, Indonesia does not have legal conception in the implementation of nuclear technology clearing house program. Whereas nuclear technology is already used extensively in many areas of life, both from national research and development programs, as well as those imported from abroad. One of the example of the implementation of Nuclear Technology Clearing House that must be faced in the near future is the clearance program for the generation IV nuclear reactor technology that have been offered to be built in Indonesia, namely Thorium Fueled Molten Salt Reactor. Purpose of this study is to formulating Clearing House program that harmonize with concepts that maybe have been developed and implemented nationally and/or internationally as an instrument of clearance mechanism of the new nuclear technology. From the study that was done qualitatively using secondary analysis and focus group discussion data collections, shows that Nuclear Technology Clearing House basically can be approached by widely implementation of nuclear standardization

Keywords: *Clearing House, Clearance Test, Standardization, Nuclear Technology*

PENDAHULUAN

Istilah *clearing house* digunakan pertama kali oleh institusi perbankan yang mengacu pada mekanisme pemeriksaan dan pertukaran tagihan antara bank-bank anggota sedemikian rupa dengan tujuan untuk mentransfer hanya saldo kas bersih^[1]. Namun dewasa ini istilah *clearing house* telah digunakan secara lebih luas dalam berbagai hal, termasuk untuk tujuan hilirisasi teknologi. Secara umum *clearing house* dapat didefinisikan sebagai organisasi atau pengorganisasian yang memiliki dua fungsi utama, yaitu; melakukan fungsi *clearance test* bagi setiap teknologi baik yang berasal dari luar negeri maupun yang diproduksi di dalam negeri, dan sebagai media informasi satu pintu dalam memfasilitasi penghimpunan dan pertukaran informasi teknologi, keahlian dan/atau produk tertentu^[2]. Tujuan pelaksanaan *clearance test* adalah untuk memberi jaminan keamanan serta

keselamatan terhadap penggunaan teknologi yang akan digunakan secara luas oleh masyarakat dan juga untuk memastikan bahwa teknologi tersebut tidak berakibat buruk terhadap lingkungan hidup. Sedangkan penghimpunan dan pertukaran informasi teknologi diperlukan untuk menjaga informasi yang diberikan ke masyarakat adalah jelas (*clear*) sehingga dapat mengurangi keambiguan.

Seiring dengan semakin banyaknya wacana pemanfaatan reaktor nuklir sebagai sumber energi di Indonesia, pada awal tahun 2016 telah banyak diberitakan mengenai peluang pembangunan reaktor nuklir berbahan bakar thorium. Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN), Djarot S. Wisnubroto sebagaimana dikutip Media Indonesia mengatakan bahwa Indonesia memiliki sumber daya thorium yang mencapai 3-4 kali sumber daya uranium sehingga Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) berbasis thorium diyakini sebagai solusi masa depan setelah uranium^[3]. Selain karena alasan sumber daya thorium yang jauh lebih besar dari uranium, reaktor nuklir berbasis thorium juga dikatakan jauh lebih aman dari pada yang berbasis uranium^[4]. Hangatnya isu pemanfaatan thorium juga ramai dibahas dalam berbagai seminar dan forum-forum resmi, seperti misalnya seminar nasional dengan tema Thorium Sebagai Sumber Daya Revolusi Industri yang dilaksanakan oleh Departemen Perindustrian di Jakarta pada tanggal 24 Mei 2016. Pada seminar tersebut, Menteri Perindustrian, Saleh Husin dalam sambutannya menyampaikan mengenai peluang penggunaan thorium guna pemenuhan kebutuhan energi nasional^[5]. Hanya saja sebagaimana disampaikan oleh Kepala BATAN melalui konferensi pers pada tanggal 4 Februari 2016 di Kantor Pusat BATAN, thorium memang memiliki potensi yang sangat baik, akan tetapi teknologi tersebut masih dalam tahap pengembangan dan tidak mungkin dapat dibangun secara komersial dalam waktu dekat^[6]. Dari kejadian ini, dapat dilihat sebuah permasalahan perbedaan persepsi yang cukup serius dalam hal menangkap informasi yang terjadi pada dua lembaga negara, yaitu dalam hal ini Kementerian Perindustrian dan BATAN. Perbedaan persepsi ini dapat saja berakibat pada hal-hal fundamental lainnya seperti misalnya masalah kebijakan pembangunan PLTN pertama. Sehingga pertanyaannya adalah, siapakah yang berhak mengeluarkan informasi yang *clear* dan bertindak sebagai Clearing House Teknologi Nuklir (CHTN) untuk teknologi thorium? Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nasional (BAPETEN) selaku pengawas sebagaimana diatur dalam undang-undang ketenaganukliran tidak memiliki kapasitas tersebut karena mereka tidak melakukan fungsi penelitian dan kajian teknis. Departemen Perindustrian juga tidak memiliki kapasitas teknis dalam hal teknologi nuklir, sehingga dengan demikian pada dasarnya fungsi tersebut hanya dimiliki oleh BATAN selaku badan pelaksana sebagaimana diatur dalam undang-undang. Hanya saja, permasalahan berikutnya adalah peraturan mengenai CHTN baru saja disahkan oleh Kepala BATAN pada tanggal 7 Juli 2017^[7]. Sehingga dengan demikian CHTN belum dapat terlaksana dengan baik akibat belum terbangunnya infrastruktur dan komponen pendukungnya.

Penelitian dan pengembangan (Litbang) teknologi nuklir berjalan dengan sangat cepat. Terdapat banyak teknologi nuklir yang dapat diimplementasikan dalam berbagai bidang kehidupan manusia, mulai dari bidang energi, kesehatan, pertanian, industri dan sebagainya, baik yang langsung menasar pada individu maupun korporasi. Era globalisasi yang identik dengan perdagangan bebas juga merupakan tantangan tersendiri dalam melindungi masyarakat dan lingkungan dalam negeri dari penyalahgunaan teknologi nuklir dan/atau pemanfaatan teknologi nuklir yang belum matang. Pada saat ini BATAN telah melaksanakan kegiatan standardisasi yang secara tugas dan fungsi melekat pada Pusat Standardisasi dan Mutu Nuklir (PSMN) yang kurang lebih telah menjalankan tugas yang sejalan dengan tujuan CHTN meskipun masih dijalankan secara parsial. Oleh karena itu, kajian ini bertujuan untuk melihat sejauh mana perbedaan dan/atau mungkin persamaan CHTN dengan Standardisasi dan bagaimana korelasi keduanya.

METODOLOGI PENELITIAN

Kajian ini dilakukan dengan metode pengumpulan data secara *secondary analysis*, yang dimulai dengan kajian historis dari istilah *clearing house* itu sendiri dan juga pelaksanaan *best practice clearing house* pada beberapa lembaga nasional. Data hasil *secondary analysis* selanjutnya dipadukan dengan hasil pelaksanaan *focus group discussion* yang telah dilaksanakan oleh tim penyusun konsepsi CHTN tahun 2016 yang dimotori oleh Biro Hukum, Humas dan Kerja Sama (BHHK) BATAN. Berdasarkan data *secondary analysis* terhadap pelaksanaan *clearing house* di Badan Pengawasan Obat dan Makanan (BPOM), Badan Informasi Geospasial (BIG), Badan Kliring Keamanan Hayati

Indonesia (BKKHI) diperoleh kesamaan pola bahwa pelaksanaan *clearing house* terdiri dari 2 kegiatan, yaitu menghimpun informasi dan juga memastikan informasi tersebut telah "*clear*" melalui skema *clearance test*. Skema *clearance test* selanjutnya dijabarkan lagi ke dalam 2 kondisi, yaitu terhadap teknologi nuklir yang sudah diproduksi massal melalui skema sertifikasi sebagaimana telah disyaratkan pada standar ISO/IEC 17067:2013 dan terhadap teknologi nuklir yang masih dalam proses pengembangan sebagaimana studi kasus untuk teknologi nuklir generasi IV seperti misalnya Molten Salt Reactor berbahan bakar thorium (TMSR) yang ditawarkan untuk di-*assessment* di BATAN. Dari studi kasus *assessment* terhadap teknologi reaktor nuklir generasi IV, selanjutnya dilakukan proses generalisasi secara naratif deskriptif sehingga dapat dilihat benang merah antara pelaksanaan *clearance* terhadap produk teknologi yang masih dalam pengembangan, dalam dan juga produk teknologi yang sudah dalam skala produksi melalui skema ISO/IEC 17067:2013 dan apakah memiliki kesesuaian dengan skema standardisasi dan penilaian kesesuaian sebagaimana yang telah diatur dalam Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2014.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Clearing House Teknologi

Menurut Oxford Dictionary, *clearing house* memiliki dua makna, yaitu makna asli sebagai asal mula istilah *clearing house* itu sendiri, yaitu "*a banker establishment where checks and bills from member banks are exchanged, so that only the balances need be paid in cash*", dan juga makna perluasan: "*an agency or organization which collects and distributes something, especially information*"^[8]. Dari makna kedua dapat dimengerti bahwa terdapat dua kata kunci dalam *clearing house*, yaitu mengumpulkan dan mendistribusikan informasi dan informasi yang "*clear*". Suatu informasi dapat dikatakan *clear* jika terdapat mekanisme yang tepat untuk mendapatkan informasi tersebut dan juga informasi tersebut disampaikan secara valid. Lebih spesifik lagi, Taufik dalam tulisannya mendefinisikan *clearing house* teknologi sebagai suatu organisasi (atau pengorganisasian) yang memiliki peran; (1) melakukan *clearance test* bagi suatu teknologi untuk selanjutnya dinyatakan laik atau tidak untuk diterapkan, dan (2) memfasilitasi penghimpunan dan pertukaran informasi teknologi tersebut sehingga dapat diterima publik secara valid^[2].

Pelaksanaan *clearing house* obat dan makanan yang dilakukan BPOM sangat identik dengan definisi *clearing house* yang disampaikan Taufik (2009). BPOM melaksanakan pengujian dan sertifikasi terhadap setiap obat dan makanan yang beredar di Indonesia dan juga menyediakan sistem informasi mengenai daftar obat dan makanan yang layak edar dan yang tidak. Sejalan dengan BPOM, BKKHI dalam menjalankan *clearing* terhadap keamanan hayati juga melakukan kajian teknis sehingga didapat informasi mengenai flora yang aman untuk dibiakkan di dalam negeri dan mana yang tidak. Sedangkan BIG menjalankan fungsi *clearing house* dengan pola yang agak berbeda. BIG menyiapkan *framework* sistem informasi yang di standardisasi dan mewajibkan setiap data geospasial pihak ketiga yang masuk ke dalam sistem informasi yang dikembangkannya telah memenuhi persyaratan-persyaratan standar spesifik yang ditetapkan. Sehingga dengan demikian, pengguna data geospasial hanya akan dapat mengakses data yang telah terseleksi oleh sistem.

Sehingga dengan demikian, sejalan dengan definisi dan *best practice* tersebut, CHTN dapat didefinisikan sebagai suatu organisasi atau pengorganisasian yang memiliki peran dalam melaksanakan mekanisme *clearance* terhadap suatu teknologi nuklir yang diteliti, dikembangkan dan diproduksi baik di dalam negeri maupun dari luar negeri dan kemudian mengelola informasi hasil mekanisme *clearance* teknologi nuklir tersebut sehingga dapat diakses publik secara valid.

Validitas informasi yang diakses publik akan menjadi lebih baik jika keambiguan sumber informasi bisa ditekan seminimal mungkin. Untuk itu kebijakan informasi satu pintu menjadi sangat penting. Sehingga idealnya CHTN harus memiliki pangkalan data (*database*) teknologi nuklir satu pintu yang dapat menyajikan informasi secara komprehensif. Pangkalan data selanjutnya hanya akan menjadi akurat jika didukung oleh data yang telah diproses secara benar melalui mekanisme *clearance* yang tepat. Karena itu, permasalahan krusial dalam pelaksanaan *clearing house* adalah bagaimana menghasilkan data yang akurat mengenai *clear* atau tidaknya suatu teknologi nuklir.

Clearance Test

Tujuan dari mekanisme *clearance* atau *clearance test* adalah untuk menghasilkan informasi yang *clear*. Sehingga harus didefinisikan secara jelas bilamana suatu teknologi nuklir dapat dikatakan *clear*. Jika kembali pada definisi *clearing house* dan juga fungsi negara sebagaimana disampaikan dalam Undang-Undang Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran dalam memberikan perlindungan bagi warganegaranya dan lingkungan hidup dalam pemanfaatan teknologi nuklir^[9], maka kurang lebih suatu teknologi nuklir dapat dikatakan *clear* jika teknologi tersebut memberikan manfaat yang lebih besar dari pada efek negatifnya, memiliki probabilitas kegagalan yang rendah, berada dalam nilai toleransi aman dan selamat untuk digunakan, tidak membahayakan generasi selanjutnya, siap untuk diterapkan pada suatu sistem yang lebih kompleks atau masyarakat luas dan seterusnya. Intinya suatu teknologi nuklir dapat dikatakan *clear* jika memenuhi kriteria tertentu sebagaimana yang disyaratkan.

Mekanisme Clearance Melalui Sertifikasi Produk

Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2014 Mengenai Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian (UU SPK) merupakan salah satu payung hukum yang dapat menjawab kebutuhan akan dokumen persyaratan teknis guna menjamin suatu hal dapat dikatakan *clear* dan juga memuat beberapa aturan mengenai *clearance test*. UU SPK pasal 3 menyatakan bahwa tujuan dari pelaksanaan standardisasi dan penilaian kesesuaian adalah antara lain untuk meningkatkan jaminan mutu, efisiensi produk, daya saing, peningkatan perlindungan pada konsumen, pelaku usaha, tenaga kerja, masyarakat dan lingkungan hidup, serta meningkatkan kepastian, kelancaran, dan efisiensi transaksi perdagangan barang dan/atau Jasa di dalam negeri dan luar negeri^[10]. Secara umum, standardisasi dan penilaian kesesuaian memiliki tiga pilar, yaitu metrologi, standar dan penilaian kesesuaian^[11]. Metrologi berkenaan dengan satuan ukur dan ketepatan pengukuran. Standar merupakan dokumen yang berisikan sejumlah persyaratan tertentu tergantung dari lingkup dokumen standar tersebut yang pada umumnya memberikan nilai-nilai batasan dalam hal keselamatan, keamanan, lingkungan, mutu dan sebagainya. Sedangkan penilaian kesesuaian memiliki spektrum yang cukup lebar, tetapi pada intinya adalah menilai sejauh mana suatu sistem/ proses/ produk/ jasa/ personel telah memenuhi persyaratan standar yang telah ditetapkan. Tujuan pelaksanaan sertifikasi produk dapat dibedakan menjadi dua, yaitu karena tuntutan regulasi akibat suatu standar produk diberlakukan secara wajib oleh badan regulasi, dan yang bersifat *voluntary* dari produsen dalam rangka pengakuan mutu produk dan peningkatan keberterimaan masyarakat.

Mekanisme *clearance* terhadap suatu produk dengan menggunakan skema standardisasi salah satunya diatur secara lebih detail dalam dokumen standar ISO/IEC 17067:2013 yang juga telah diadopsi secara nasional menjadi SNI. Standar tersebut mengatur beberapa persyaratan termasuk skema pelaksanaan *clearance* melalui skema sertifikasi produk. Secara umum mekanisme sertifikasi produk dilakukan melalui beberapa tahap, yaitu penentuan skema sertifikasi dan identifikasi dokumen standar yang dijadikan pemenuhan persyaratan, pelaksanaan penilaian kesesuaian sesuai dengan skema yang dipilih yang dapat meliputi audit terhadap penerapan sistem manajemen dan proses produksi, pengujian parameter produk yang disyaratkan, *assessment* dan *review* oleh tim pelaksana, dan terakhir pengambilan keputusan apakah sertifikat layak untuk diberikan^[12].

Sertifikasi produk berdasarkan skema standardisasi dan penilaian kesesuaian pada umumnya hanya diterapkan pada produk yang sudah dalam skala produksi. Dalam artian terdapat produsen yang memiliki badan hukum, terdapat tahapan proses produksi dan juga produk yang siap untuk dilepas ke pihak ketiga. Sehingga dengan demikian, praktik umum yang digunakan dalam pelaksanaan sertifikasi produk dimulai dari melaksanakan audit terhadap sistem manajemen organisasi produsen untuk melihat efektivitas penerapan sistem manajemen mutu, lalu diikuti dengan audit terhadap proses produksi untuk memastikan produk telah diproduksi dengan mutu yang konsisten dan yang terakhir adalah pengujian terhadap parameter produknya sebagaimana yang disyaratkan dalam standar. Sehingga dengan demikian, sertifikat hanya akan diberikan jika persyaratan minimum untuk ketiga parameter tersebut terpenuhi.

Mekanisme Clearance Produk Hasil Litbang

Permasalahan berikutnya adalah bagaimana melaksanakan mekanisme *clearance* jika produk tersebut belum masuk jalur produksi seperti misalnya pada kasus teknologi nuklir

generasi IV TMSR? *Best practice* yang telah dilaksanakan oleh IAEA yang ditiru oleh tim kecil PSMN yang mengkaji TMSR mengindikasikan bahwa skema sertifikasi sebagaimana yang disyaratkan dalam ISO/IEC 17067:2013 menjadi sulit untuk diterapkan karena beberapa faktor, salah satunya adalah belum tersedianya standar yang dapat dijadikan acuan dalam pelaksanaan penilaian kesesuaian terhadap teknologi TMSR.

IAEA mengembangkan International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO) Methodology. INPRO Methodology memberikan panduan dalam pelaksanaan *assessment* terhadap sistem energi nuklir yang akan dikembangkan pada suatu negara, baik yang bersifat baru mau pun penambahan. *Assessment* INPRO menekankan pada keberlangsungan penggunaan energi nuklir dengan melihat parameter ekonomi, infrastruktur, manajemen limbah, resistensi terhadap proliferasi, proteksi fisik, keselamatan dan juga lingkungan^[13]. *Assessment* terhadap masing-masing parameter tersebut selanjutnya dijabarkan kembali secara lebih rinci seperti misalnya untuk parameter ekonomi terdiri dari faktor harga, investasi, fleksibilitas, lingkungan politik dan sejenisnya. Intinya, *assessment* INPRO melihat penerapan energi nuklir secara lebih global dengan melihat seluruh sistem energi di suatu negara dan bahkan secara global dan tidak terfokus hanya pada teknologi reaktor nuklirnya untuk memastikan bahwa keberadaan energi nuklir di negara tersebut akan menjamin keberlangsungan pasokan energi yang tidak memberikan dampak negatif baik dari segi keselamatan, keamanan, *safeguard* dan juga lingkungan. Metodologi INPRO sangat baik untuk *assessment* energi nuklir secara makro, akan tetapi akan memerlukan sumber daya yang terlalu besar dan kurang mendalam jika hanya bertujuan untuk menilai apakah suatu teknologi reaktor nuklir baru dapat dinyatakan telah *clear* untuk dibangun atau belum.

Tabel 1. Evaluasi sistem dan sub sistem^[14]

No.	Sistem	Sub Sistem
1	Pasokan Panas Nuklir	Elemen bahan bakar Teras reaktor Kendali reaktivitas Sungkup reaktor Operasi/inspeksi/pemeliharaan Instrumen teras
2	Perpindahan Panas	Kendali kimia pendingin/pemurnian Transpor panas primer Pertukaran panas intermediet Pompa/valve/pemipaan Pendingin bantu Pemindah panas sisa
3	Konversi Daya	Turbin Kompresor/recuperator (Brayton) Pembangkit uap (Rankine) Pompa/Valve/pemipaan Instalasi panas proses
4	Keseimbangan Instalasi	Penanganan bahan bakar dan penyimpanan sementara Penanganan panas sisa Instrumentasi dan kendali Manajemen limbah radioaktif
5	Keselamatan	Fitur keselamatan melekat Sistem keselamatan aktif
6	Perijinan	Regulasi dan kriteria desain keselamatan Pengalaman perijinan Tool analisis dan keselamatan
7	Siklus Bahan Bakar	Teknologi daur ulang bahan bakar Teknologi pemisahan bahan bakar bekas
8	Safeguard	Ketahanan terhadap proliferasi— Fitur desain intrinsik dan akuntabilitas proteksi fisik material nuklir khusus – fitur desain intrinsik dan keamanan instalasi

CATATAN: Sistem & sub sistem yang dicetak tebal merupakan komponen yang esensial

Departemen Energi Amerika Serikat (US DoE) melaksanakan *assessment* teknologi reaktor nuklir generasi IV secara lebih spesifik, yaitu hanya terfokus pada evaluasi teknologi reaktor tanpa melihat sistem energi secara luas sebagaimana metodologi INPRO^[14]. Sistem dan sub sistem yang menjadi objek evaluasi US DoE ditampilkan seperti pada Tabel. 1.

Secara lebih spesifik, US DoE melakukan *assessment* terhadap sistem dan sub sistem reaktor generasi IV dengan berpatokan pada konsep Technology Readiness Level (TRL). Konsep TRL dikembangkan pertama kali pada tahun 1980-an oleh National Aeronautics and Space Administration (NASA). Pada tahun 2007 sampai 2008, General Accounting Office Amerika Serikat (GAO) menemukan bahwa penerapan teknologi prematur pada proyek US DoE telah memicu pembengkakan biaya dan juga perpanjangan waktu penyelesaian yang cukup signifikan. Oleh karena itu, pada tahun tersebut GAO merekomendasikan agar US DoE juga menerapkan konsep TRL untuk menghindari pembengkakan biaya akibat penggunaan teknologi yang masih prematur^[15].

Pelaksanaan TRL *assessment* dimulai dengan proses identifikasi terhadap sistem dan sub sistem reaktor serta mengelompokkannya berdasarkan pada tingkat signifikansinya. Kriteria level TRL masing-masing sub sistem selanjutnya dideskripsikan secara lebih detail ke dalam indikator-indikator kuantitatif yang mencerminkan masing-masing level TRL. Seluruh kumpulan sistem dibagi menjadi sub sistem dan dijabarkan kembali ke dalam indikator-indikator spesifik. Seluruh penjabaran tersebut selanjutnya disebut sebagai *tool* (kertas kerja) TRL *assessment* yang disepakati oleh tim yang terdiri dari beberapa *stakeholder* dan dijadikan patokan atau standar dalam pelaksanaan *assessment*. *Assessment* dilakukan dengan memberi penilaian terhadap masing-masing indikator baik berdasarkan hasil uji maupun melalui *expert judgment*. TRL untuk suatu sub sistem merupakan akumulasi penilaian yang diberikan berdasarkan pada hasil *assessment* terhadap indikator-indikatornya. Sedangkan TRL untuk sistem merupakan nilai terkecil yang diperoleh dari penilaian sub sistemnya. Misalkan sistem konversi daya yang memiliki sub sistem turbin; kompresor; pembangkit uap; sistem pompa, valve dan pemipaan; serta instalasi panas proses mendapatkan nilai TRL masing-masing 9, 8, 9, 5 dan 8, maka nilai TRL sistem konversi daya secara keseluruhan yang diberikan adalah nilai yang terkecil, yaitu di TRL 5. Nilai akhir TRL teknologi reaktor pada dasarnya juga diberikan berdasarkan pada nilai terkecil untuk masing-masing sistem pendukungnya, tetapi dengan memperhatikan tingkat kategori apakah sistem dan sub sistem tersebut esensial atau tidak.

Laporan hasil TRL Assessment dapat dijadikan pedoman dalam menilai kelayakan suatu teknologi nuklir. Seperti misalnya jika hasil TRL Assessment menunjukkan angka 5, maka itu berarti teknologi tersebut masih harus dikembangkan di laboratorium. Jika berada pada TRL 6 maka menunjukkan bahwa teknologi reaktor tersebut sudah layak dibangun dalam skala *pilot project* karena beberapa sistemnya masih memerlukan validasi dan pengembangan lebih lanjut. Teknologi reaktor nuklir selanjutnya hanya dapat dikatakan sudah *clear* dan siap dilepas secara komersial jika hasil *assessment* telah menunjukkan angka 8 atau bahkan 9. Artinya pada level tersebut semua sistem aktual telah teruji untuk operasi pada kondisi lingkungan yang sebenarnya^[14,15].

Mekanisme Clearance Sertifikasi Produk vs. Produk Hasil Litbang

Terdapat sejumlah kesamaan dan sekaligus perbedaan dalam pelaksanaan mekanisme *clearance* untuk produk yang sudah dalam skala produksi melalui skema sertifikasi produk dan mekanisme *clearance* terhadap produk hasil litbang melalui TRL Assessment.

Clearance melalui mekanisme sertifikasi produk berdasarkan ISO/IEC 17067 hanya dapat dilakukan untuk produk yang sudah memasuki jalur produksi. Pelaksanaan sertifikasi produk juga memiliki acuan persyaratan standar dan/atau regulasi yang jelas^[10], misalnya untuk sertifikasi produk mainan anak didasarkan pada seri SNI ISO 8124, untuk ban mobil didasarkan pada SNI 2002 dan untuk portal monitor radiasi didasarkan pada SNI IEC 62244. Sertifikasi produk juga hanya dapat dilakukan oleh lembaga sertifikasi produk yang dalam pelaksanaannya melibatkan tim yang terdiri dari auditor, assessor, inspektur dan laboratorium uji. Sedangkan dari sisi outputnya, sertifikasi produk menghasilkan sertifikat sebagai bukti bahwa produk tersebut telah lolos mekanisme *clearance*. Dalam hal produk tidak memenuhi persyaratan dan dinyatakan belum lolos *clearance*, maka sertifikat tidak dapat diterbitkan tetapi kadang dapat diberikan laporan mengenai komponen apa saja yang tidak lolos penilaian kesesuaian.

Sedangkan mekanisme *clearance* melalui *assessment* teknologi umumnya dilakukan untuk produk hasil litbang untuk menguji sejauh mana produk tersebut telah dikembangkan dan apakah sudah layak untuk dilepas secara komersial. Pelaksanaan *assessment* teknologi dapat menggunakan acuan standar, namun dalam banyak kasus standar yang dapat dijadikan acuan masih belum tersedia. Sehingga dengan demikian,

acuan yang digunakan dapat berupa regulasi, perbandingan dengan teknologi lain, hasil-hasil perhitungan atau hal-hal lain yang ditetapkan oleh tim *assessor*. Untuk pelaksanaannya tidak terdapat mekanisme baku, namun pada umumnya dimulai dengan proses identifikasi sistem dan sub sistem suatu teknologi, kemudian mengategorisasi setiap sistem dan sub sistem dalam menjadi kelompok yang bersifat esensial, dan yang tidak, seperti misalnya yang hanya bersifat pendukung. Selanjutnya setiap kriteria *assessment* masing-masing sub sistem dijabarkan lagi secara lebih detail sebagai panduan dalam pemberian nilai. Dasar pemberian nilai untuk sub sistem tersebut sangat tergantung dari metodologi yang digunakan. Hanya saja dalam banyak proses *assessment* teknologi, seperti yang telah dilakukan untuk reaktor nuklir generasi IV oleh US DoE menggunakan metode TRL yang telah terbukti cukup valid sebagai basis pelaksanaan *assessment*. Dalam hal penggunaan metode TRL, maka rentang penilaian yang diberikan oleh *assessor* berdasarkan pada penjabaran detail dari sub sistem tersebut adalah berupa nilai dari rentang 1 sampai 9. Sedangkan dari sisi output akhirnya, *assessment* teknologi akan menghasilkan laporan hasil *assessment* yang tidak hanya menunjukkan tingkat kesiapan teknologi produk tersebut, tetapi juga menjabarkan setiap detail TRL masing-masing sistem dan sub sistemnya. Dari penjabaran tersebut juga akan muncul rekomendasi yang akan sangat membantu para pengambil kebijakan dan juga pelaksana litbang di lapangan dalam melaksanakan inovasi di kemudian hari.

Meski terdapat perbedaan objek dan skema pelaksanaan, tetapi terdapat benang merah yang sama antara mekanisme *clearance* melalui skema sertifikasi produk yang disyaratkan oleh ISO/IEC 17067:2013 dengan skema *assessment* teknologi seperti pada kasus kajian pelaksanaan *assessment* teknologi reaktor nuklir generasi IV. Kedua skema tersebut sama-sama memiliki objek berupa produk yang akan dinyatakan *clear* atau tidak, menggunakan suatu acuan keberterimaan serta dilakukan melalui mekanisme penilaian kesesuaian baik dengan metode audit, *assessment*, pengujian dan/atau inspeksi oleh tim pelaksana.

UU SPK pasal 1 ayat 3 menyatakan bahwa yang disebut sebagai standar adalah persyaratan teknis atau sesuatu yang dibakukan, termasuk tata cara dan metode yang disusun melalui konsensus. Sehingga berdasarkan pada pengertian standar pada UU SPK tersebut tidak hanya terbatas pada SNI, ISO, IEC atau standar-standar nasional dan internasional yang telah dikenal luas, tetapi juga tidak terbatas pada dokumen *tool/assessment* yang telah dibakukan secara konsensus oleh segenap tim yang terdiri dari sejumlah *stakeholder*. UU SPK pasal 30 ayat 2 menyebutkan bahwa penilaian kesesuaian dapat dilakukan melalui proses audit, *assessment*, inspeksi dan pengujian. Sedangkan dari sisi lingkup pelaksanaan, penilaian kesesuaian dapat dilaksanakan terhadap barang, jasa, sistem, proses dan personel. Sehingga dari sisi metode dan lingkup pelaksanaan pada dasarnya kegiatan *assessment* teknologi juga sejalan dengan apa yang diundangkan dalam UU SPK. Sehingga secara makro dapat dikatakan bahwa kegiatan *assessment* teknologi sebagaimana yang juga dilakukan terhadap teknologi nuklir generasi IV adalah merupakan kegiatan standardisasi dan penilaian kesesuaian. Sehingga CHTN pada dasarnya dapat dilaksanakan dengan perluasan penerapan konsep standardisasi dan penilaian kesesuaian.

KESIMPULAN

CHTN merupakan bentuk usaha negara dalam memberikan jaminan keselamatan, keamanan, dan perlindungan lingkungan bagi generasi mendatang dalam pendayagunaan teknologi nuklir. Penerapan CHTN melingkupi dua kegiatan, yaitu layanan informasi satu pintu untuk menghindari dualisme informasi dan mekanisme *clearance test* untuk menjamin suatu teknologi nuklir telah "*clear*". Mekanisme *clearance test* pada dasarnya dapat diselesaikan dengan pendekatan standardisasi dan penilaian kesesuaian. Untuk teknologi nuklir yang sudah mencapai skala produksi dapat didekati dengan skema sertifikasi produk. Hanya saja untuk teknologi nuklir yang dalam tahap pengembangan sebagaimana halnya teknologi reaktor TMSR memerlukan skema berbeda, yaitu melalui proses *assessment* teknologi yang meliputi berbagai aspek. Proses pelaksanaan *assessment* TMSR pada dasarnya juga mengikuti skema standardisasi dan penilaian kesesuaian, yaitu dimulai dengan penyusunan *tool assessment* dengan penentuan parameter keberterimaan yang diperoleh dari standar/code, regulasi, uji profisiensi serta *expert judgment*. Dan berikutnya dilakukan penilaian kesesuaian melalui proses *assessment* berdasarkan pada *tool* yang telah distandarkan. Jadi pada dasarnya CHTN dapat dilaksanakan melalui perluasan

pelaksanaan Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian sebagaimana yang telah dijabarkan pada UU Nomor 20 Tahun 2014.

UCAPAN TERIMAKASIH

Makalah ini tersusun berkat data-data dan konsep yang dihasilkan oleh Tim CHTN yang telah dimotori oleh BHHK pada tahun 2016 dan juga dari tim kecil PSMN 2017 yang dimotori oleh Bapak Bayu Purnomo yang memiliki tujuan merumuskan metodologi *assessment* terhadap teknologi nuklir generasi IV yang ditawarkan untuk dapat dikaji oleh BATAN. Oleh karena itu ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya ditujukan kepada mereka semua yang telah berkontribusi memberikan sumbangan data dan pemikirannya dalam penyusunan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Zimmerenl, E. v., Verbeurel, B., Matthijsll, G., &Overwall, G. V. (May 2006). *A clearinghousefordiagnostic testing: the solution to ensure access to and use of patented genetic inventions?* 84, 5.
2. Taufik, T. (2009, January 10). *Technology Clearing House*. diakses pada tanggal 30 Maret 2017 dari: <http://tatang-taufik.blogspot.co.id/2009/01/technology-clearing-house.html>.
3. Jes/E-4 (22 Februari 2016). *Thorium Untuk Energi Masa Depan*. Jakarta, Indonesia: Media Indonesia.
4. Dewan Energi nasional (4 April 2011), *Perkembangan Reaktor Berbahan Bakar Thorium*. Jakarta, Indonesia: Dewan Energi Nasional Republik Indonesia.
5. Husin, S. (24 Mei 2016). *Sambutan menteri Perindustrian RI Pada Acara Seminar Nasional: Thorium Sebagai Sumber Daya Revolusi Industri*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Perindustrian.
6. Wisnubroto, D. S. (2016, Februari 4). *Indonesia Kaya Thorium, Bagaimana Prospeknya?* Diakses pada tanggal 18 Oktober 2016, dari: <http://www.batan.go.id/index.php/id/berita-pksen/2030-indonesia-simpan-potensi-270-ribu-ton-thorium-bagaimana-prospeknya>.
7. Badan Tenaga Nuklir Nasional. (2017). *Peraturan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 11 Tahun 2017 Tentang Clearing House Teknologi Nuklir*. Jakarta.
8. Oxford University Press. (2017). *Oxford Dictionary*. Diakses pada tanggal 13 Mei 2017 dari Oxford Living Dictionary: <https://en.oxforddictionaries.com>.
9. Republik Indonesia. (1997). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 1997 Tentang Ketenaganukliran*. Jakarta.
10. Republik Indonesia. (2014). *Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2014 Tentang Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian*. Jakarta.
11. Badan Standardisasi Nasional. (2014). *Pengantar Standardisasi - Edisi Kedua*. Jakarta.
12. Committee on conformity assessment. (2013). *ISO/IEC 17067:2013 Preview Conformity assessment -- Fundamentals of product certification and guidelines for product certification schemes*. Geneva, Switzerland. International Organization for Standardization.
13. IAEA. (2008). *Guidance for the Application of an Assessment Methodology for Innovative Nuclear Energy Systems*. Vienna, Austria.
14. Gaugar, H.D. et al. (2015). *Assessment of the Technical Maturity of Generation IV Concepts for Test or Demonstration Reactor Applications*. Idaho National Laboratory, U.S. Department of Energi, USA.
15. U.S. Department of Energy. (2011). *Technology Readiness Assessment Guide*. Washington, USA: U.S. Department of Energy.
16. Kemenristek. (2002). *Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2002 Tentang Sistem Nasional Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*. Jakarta.
17. Kemenristek Dikti. (2014). *Peraturan Menteri Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Nomor 42 Tahun 2014 Tentang Pengukuran dan Penetapan Tingkat Kesiapan Teknologi*. Jakarta: Kemenristek Dikti.
18. Hutauruk, Louise. (10 Juli 2013). *Technology Clearing House untuk Perlindungan Masyarakat*. Diakses pada tanggal 11 Agustus 2017, dari <http://www.bppt.go.id/index.php/opini/daftar-opini/1733-technology-clearing-house-untuk-perlindungan-masyarakat>

STUDI DAMPAK PEMBUANGAN KONSENTRAT DESALINASI RO TERHADAP BIOTA PERAIRAN MANGGAR

Siti Alimah¹, Heni Susiati¹, June Mellawati²

¹Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN)-BATANJl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan, 12710

²Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR), Jakarta Selatan
E-mail: alimahs@batan.go.id

ABSTRAK

STUDI DAMPAK PEMBUANGAN KONSENTRAT DESALINASI RO TERHADAP BIOTA PERAIRAN MANGGAR. Teknologi desalinasi MED-RO dengan pasokan energi dari PLTN dapat menjadi alternatif untuk memasok kebutuhan air bersih di Provinsi Kalimantan Timur. Buangan konsentrat desalinasi (*brine*) dapat memberikan dampak bagi kelangsungan hidup biota laut sekitar tapak PLTN karena salinitasnya tinggi dan mengandung aditif kimia yang digunakan saat pengolahan awal air umpan. Lingkungan dengan beragam biota laut dan sensitif terhadap buangan konsentrat desalinasi RO adalah mangrove dan terumbu karang, yang mana juga terdapat di perairan pesisir Manggar. Tujuan studi adalah mengetahui perkiraan dampak terhadap biota perairan pesisir Manggar jika dilakukan pembuangan konsentrat desalinasi RO. Peningkatan salinitas dapat mengurangi plankton, kerentanan krustacea dan larva invertebrata yang mengambang di air laut serta kerentanan ikan. Metode yang digunakan adalah pengumpulan data sekunder serta kajian literatur. Selanjutnya dilakukan analisis dan evaluasi data. Data sekunder diperoleh dari BLH daerah & pusat maupun Kementerian Kehutanan. Hasil studi menunjukkan bahwa berbagai aditif kimia yang digunakan dalam pengolahan awal air laut umpan desalinasi RO yang dapat tersisa di konsentrat jika tidak ada penanganan sebelum pembuangan yaitu sodium bisulfit, asam sulfat, sodium tripolifosfat, sodium hexametrafosfat, EDTA dan asam sitrat. Sodium bisulfit dapat menyebabkan kematian biota di badan air wilayah pesisir, terutama ikan dan kepiting. Sedangkan asam sulfat dapat menurunkan pH sehingga mengurangi populasi ikan dan invertebrata. Limbah fosfat dari sodium tripolifosfat atau sodium hexametrafosfat dapat menyebabkan kematian massal ikan dan keracunan kerang. Adanya EDTA dalam air laut dengan kesadahan tinggi akan menimbulkan efek racun dan kematian ikan. Asam sitrat di perairan laut hanya memberikan efek racun pada kepiting, alga dan protozoa. Namun, dampak pembuangan konsentrat di sekitar tapak tersebut dapat diminimalkan jika terdapat penanganan yang tepat sebelum konsentrat tersebut dibuang, yang dapat meliputi netralisasi, pengenceran dan pembuangan melalui pipa yang sangat panjang (50-300 m) serta dispersi dengan memperhatikan batimetri, gelombang, arus dan kedalaman laut. Kata kunci: dampak pembuangan, konsentrat desalinasi, RO, biota laut, perairan Manggar.

ABSTRACT

STUDY OF THE IMPACT ON DISPOSAL OF BRINE RO DESALINATION TO BIOTASEAWATER MANGGAR. MED-RO desalination technology with energy supply from nuclear power plants can be an alternative to supply fresh water in the province of East Kalimantan. Disposal of brine desalination can have an impact on the survival of marine biota around NPP site due to high salinity and may contain chemical additives that are used when pretreatment of feed water. Environment with diverse marine life and sensitive to brine discharge of RO desalination are mangroves and coral reefs, which are also found in coastal seawater Manggar. The purpose of study is to find the estimate impact on the biota in the coastal seawater Manggar if done disposal of brine RO desalination. Increased salinity can reduce the plankton, crustaceans and invertebrate larvae floating in the seawater as well as the vulnerability of fish. The method used is secondary data collection and literature review. Furthermore, data analysis and evaluation are performed. Secondary data obtained from regional & central BLH and Ministry of Forestry. The result of the study shows that a variety of chemical additives used in pretreatment of the seawater RO desalination can be left in the brine if no treatment before disposal, namely sodium bisulfite, sulfuric acid, sodium tripolyphosphate, sodium hexametrafosfat, EDTA and citric acid. Sodium bisulfite can cause death biota in water bodies of coastal areas, especially fish and crabs. While the sulfuric acid to lower the pH, thereby reducing the populations of fish and invertebrates. Phosphate waste of sodium tripolyphosphate or sodium hexametaphosphate can cause to the death of large

amounts of fish and shellfish poisoning. The presence of EDTA in seawater with high hardness will cause toxic effects and dead fish. Citric acid in seawater just give toxic effects on crabs, algae and protozoa. However, the impact of the disposal of the brine around site can be minimized if there is a proper treatment before the brine discharge, which may include neutralization, dilution and disposal through a very long pipe (50-300 m) as well as dispersion by observing bathymetry, waves, currents and ocean depths.

Keywords: impact disposal, brine, RO, biota, seawater Manggar

PENDAHULUAN

Instalasi desalinasi selain menghasilkan produk air bersih juga menghasilkan konsentrat (*brine*) yang merupakan limbah yang dapat mengandung senyawa kimia yang berasal dari proses pengolahan awal dan pembersihan kimia. Konsentrat tersebut juga mengandung salinitas tinggi, bahkan hingga dua kali lipat[1], sehingga dapat meningkatkan salinitas air laut apabila langsung dibuang ke laut. Saat ini terdapat berbagai metode pembuangan konsentrat desalinasi, yaitu pembuangan ke permukaan air laut, melalui instalasi pengolahan limbah, menggunakan *land application* (aplikasi di atas permukaan tanah) untuk irigasi dengan cara penyemprotan, injeksi sumur dalam, metode kolam penguapan dan teknologi ZLD (*zero liquid discharge*). Di antara berbagai metode pembuangan tersebut, pembuangan ke permukaan air laut merupakan metode yang paling sederhana dan mudah untuk berbagai ukuran instalasi dan biayanya relatif lebih murah[2].

Pembuangan konsentrat desalinasi ke perairan permukaan laut dapat memberikan dampak bagi kelangsungan hidup biota laut, di sekitar zona keluaran (yang berjarak 50-300 m dari instalasi desalinasi)[3] jika proses pembuangan tidak tepat atau tidak sesuai dengan standar persyaratan. Tingkat bahaya pembuangan konsentrat pada biota laut diantaranya tergantung pada senyawa kimia yang digunakan sebagai aditif, temperatur dan konsentrasi garam. Peningkatan temperatur akan menurunkan kandungan oksigen terlarut, namun meningkatkan laju metabolisme, fisiologi dan respon biota laut. Peningkatan konsentrasi garam (salinitas) akan meningkatkan densitas air laut, mendorong stratifikasi (pelapisan) air laut, meningkatkan kekeruhan, mengganggu proses fotosintesis dan biogenesis, dapat menjadikan kepunahan spesies bentos yang sensitif, larva dan biota yang masih muda[4]. Beberapa senyawa kimia yang digunakan sebagai aditif dan senyawa pembersih kimia serta produk korosi yang terkandung dalam konsentrat, dapat menimbulkan potensi bahaya pada biota laut karena toksisitasnya.

Teknologi desalinasi MED-RO dengan pasokan energi dari PLTN dapat menjadi pilihan untuk memasok kebutuhan air bersih di Provinsi Kalimantan Timur[5]. Konsentrat desalinasi merupakan limbah, yang jika tidak dikelola dengan tepat dapat mencemari lingkungan perairan sekitar tapak PLTN. Studi pendahuluan tentang penggunaan aditif bahan kimia pada instalasi desalinasi RO telah dilakukan, yaitu untuk mencegah pertumbuhan bakteri, menghambat pembentukan kerak, mengatur pH, mengurangi kestabilan dan penggumpalan partikel, menetralkan sisa bahan pencegah pertumbuhan bakteri maupun untuk pembersihan fouling. Bahan kimia yang digunakan sebagai aditif pada air umpan dari laut Manggar Provinsi Kalimantan Timur adalah klorin, sodium hexametaphosphat, H_2SO_4 , feri klorida, sodium bisulfit, asam sitrat, senyawa sodium tripolifosfat, dan Na_4EDTA [6,7]. Bahan kimia tersebut dapat tersisa di konsentrat jika tidak ada penanganan sebelum pembuangan.

Berbagai biota yang hidup di perairan laut mempunyai daya tahan yang berbeda-beda terhadap perubahan kandungan bahan kimia, salinitas dan temperatur. Studi pemilihan calon tapak PLTN di Kalimantan Timur telah dilakukan sejak tahun 2007. Salah satu hasil studi memperlihatkan bahwa daerah Semboja merupakan daerah interes untuk tapak PLTN. Daerah Semboja merupakan daerah yang tidak jauh dari perairan laut Manggar Balikpapan, sehingga studi tentang pengaruh buangan konsentrat desalinasi RO terhadap kehidupan biota laut di perairan pesisir Manggar perlu dilakukan. Tujuan studi adalah mengetahui perkiraan dampak pembuangan konsentrat desalinasi RO pada kehidupan biota perairan pesisir Manggar. Metode yang digunakan dalam studi adalah pengumpulan data sekunder dan kajian literatur. Selanjutnya dilakukan analisis aditif kimia yang dapat tersisa di konsentrat jika tidak ada penanganan sebelum pembuangan dan dampak pembuangan konsentrat terhadap biota laut. Hasil studi diharap dapat memberikan informasi mengenai

gangguan ekosistem laut akibat pembuangan konsentrat desalinasi, guna menyongsong pembangunan PLTN pertama di Indonesia.

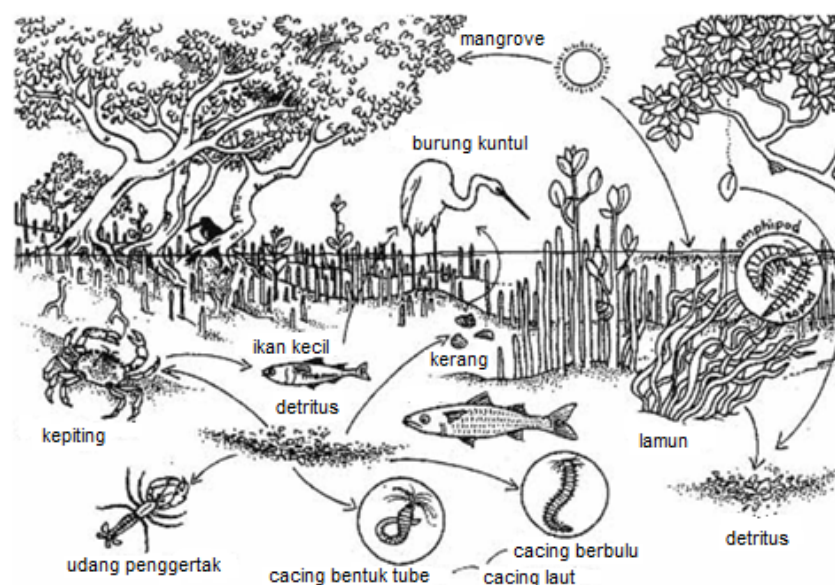
DAMPAK BUANGAN KONSENTRAT DESALINASI PADA BIOTA LAUT

Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) bekerja sama dengan BAPPEDA Provinsi Kalimantan Timur telah melakukan kegiatan pra survei untuk penentuan daerah interes PLTN. Studi pemilihan calon tapak PLTN di Kalimantan Timur memperlihatkan bahwa salah satu daerah interes untuk tapak PLTN adalah daerah Semboja. Daerah Semboja merupakan daerah yang tidak jauh dari perairan laut Manggar Balikpapan, sehingga studi tentang pengaruh buangan konsentrat desalinasi RO terhadap kehidupan biota laut di perairan pesisir Manggar perlu dilakukan.

Ketika konsentrat desalinasi masuk ke air laut, konsentrat tersebut akan meningkatkan salinitas di wilayah tersebut. Kandungan konsentrat desalinasi RO, selain konsentrasi garam yang tinggi, juga mengandung aditif kimia yang ditambahkan di air umpan dan proses pembersihan. Pembuangan konsentrat ke permukaan laut dapat memberikan dampak pada kehidupan biota laut. Dampak akut dapat terjadi di sekitar lokasi pembuangan. Dampak tersebut dapat bersifat sementara, atau dapat diatasi secara alami oleh sistem ekologi masing-masing, atau dapat juga bersifat merusak secara permanen sehingga ekosistem tersebut hilang. Dampak pembuangan konsentrat pada ekosistem laut tergantung pada sensitivitas ekosistem, jenis dan jumlah konsentrat[8].

Ekosistem laut yang paling sensitif terhadap buangan instalasi desalinasi adalah mangrove dan terumbu karang[9]. Mangrove merupakan daerah transisi antara daratan dan lingkungan laut, yang berperan melindungi berbagai ancaman dari darat maupun dari laut diantaranya proteksi pantai dari hempasan gelombang dan tiupan angin kencang [10]. Selain itu, mangrove juga mempunyai fungsi ekologis sebagai penyedia nutrient bagi biota perairan, tempat pemijahan dan asuhan berbagai macam biota. Perubahan pada mangrove berdampak pada regenerasi ikan dan udang, hilangnya fungsi ekologi mangrove untuk kesuburan, pembibitan dan pemijahan (ikan dan dan biota lain)[11].

Substrat yang ada di ekosistem mangrove merupakan tempat yang sangat disukai oleh biota yang hidupnya di dasar perairan atau bentos. Kehidupan beberapa biota tersebut erat kaitannya dengan penyebaran ekosistem mangrove tersebut, diantaranya kepiting yang sangat mudah membuat liang di ekosistem mangrove[12]. Di ekosistem mangrove, rantai makanan untuk biota perairan adalah detritus. Detritus diperoleh dari guguran daun mangrove yang jatuh ke perairan kemudian mengalami penguraian dan berubah menjadi partikel kecil yang dilakukan mikroorganisme seperti bakteri dan jamur. Secara umum rantai makanan di ekosistem mangrove diperlihatkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Rantai Makanan di Ekosistem Mangrove [12].

Terumbu Karang adalah kumpulan karang dan atau suatu ekosistem karang yang dibangun terutama oleh biota laut penghasil kapur dan biota yang hidup didasar laut lainnya serta biota lain yang hidup bebas di dalam perairan sekitarnya. Terumbu karang merupakan sumber daya alam yang mempunyai berbagai fungsi sebagai habitat tempat berkembang biak dan berlindung bagi sumber daya hayati laut dan penting bagi perikanan[13].

Dampak terhadap lingkungan perairan laut akibat pembuangan konsentrat desalinasi selain dapat menyebabkan penurunan hidrografi lokal dan kualitas air, juga dapat mengganggu proses fisiologikal biota seperti aktivitas enzimatik, nutrisi, reproduksi, pernafasan dan fotosintesis. Perubahan kelakuan pada sekumpulan biota dapat juga terjadi. Dampak minimal yang terjadi adalah stress dan kerapuhan yang sangat tinggi pada biota diantaranya karena adanya bahan kimia beracun. Dampak yang lebih besar di sekitar keluaran adalah kematian beberapa invertebrata dan ikan, serta sejumlah besar telur dan larva dari invertebrata dan ikan[4].

Peningkatan salinitas dapat menyebabkan kekeruhan air sehingga menghalangi penembusan sinar matahari yang berdampak dapat mengganggu proses fotosintesis. Perubahan salinitas mempunyai efek yang berlawanan pada biota laut, di satu sisi dapat bermanfaat untuk beberapa biota seperti kerang dan di sisi lain dapat berdampak buruk bagi spesies lain. Peningkatan salinitas dapat mempengaruhi[14, 15]:

- Perkembangan spesies, aktivitas pergerakan dan pertumbuhan individu.
- Kelangsungan hidup tahapan larva dan generasi kehidupan hewan (dapat lebih pendek atau lebih lama).
- Laju pertumbuhan populasi organism (dapat lebih tinggi atau lebih rendah).
- Pembiakan spesies dan sifat reproduksi

Profil salinitas air laut tidak begitu berbeda dari permukaan sampai dasar laut, namun di sekitar keluaran pembuangan konsentrat dapat berfluktuasi dari permukaan sampai kedalaman 10 m [15].

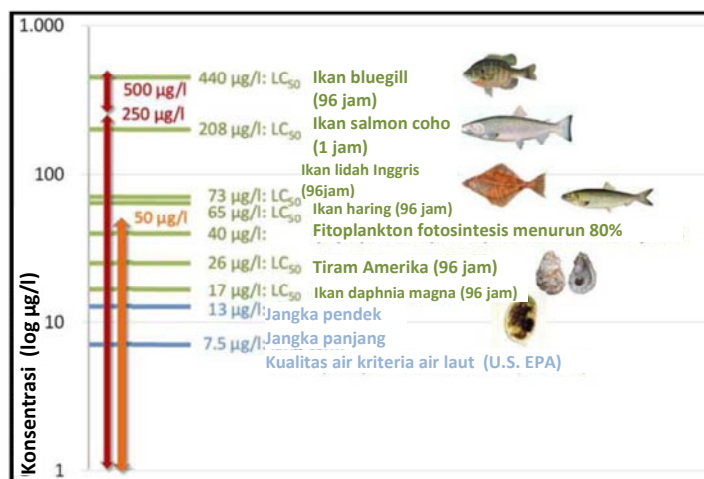
Berbagai aditif kimia dapat menimbulkan problem toksisitas yang berdampak pada biota laut. Pada studi pendahuluan diperoleh bahwa aditif kimia klorin, sodium hexametaphosfat, H_2SO_4 , feri klorida, sodium bisulfit, asam sitrat, senyawa sodium tripolifosfat, dan Na_4EDTA dapat digunakan untuk pengolahan awal dan pembersihan.

Klorin merupakan disinfektan yang sangat efektif. Berdasarkan data toksikologi untuk spesies laut dengan spektrum yang luas, US EPA merekomendasikan suatu kriteria kualitas air, maksimal kandungan klorin dalam air laut untuk rata-rata 4 hari adalah $7,5 \mu\text{g/l}$ dan untuk rata-rata 1 jam adalah $3 \mu\text{g/l}$. Konsentrasi klorin lebih dari $10 \mu\text{g/l}$ akan menurunkan fotosintesis dari *phytoplankton* laut, serta efek kematian *zooplankton*, larva invertebrata dan ikan. Pada $50 \mu\text{g/l}$, komposisi biota laut dapat berubah dan jenisnya akan berkurang[11]. Kematian pada ikan terjadi pada kisaran 20 hingga beberapa ratus $\mu\text{g/l}$. Gambar 2 memperlihatkan toksisitas konsentrasi klorin untuk spesies laut dengan indikator LC_{50} (*Lethal Concentration 50%*), yaitu konsentrasi yang menyebabkan kematian sebanyak 50% dari biota yang sedang diteliti. Toleransi *ichthyoplankton* dengan klorin berkaitan dengan umur. Pada spesies tertentu, telur yang belakangan terbentuk kurang toleran dibanding telah-telur lama. Klorin menyerang insang ikan, menyebabkan oksidasi haemoglobin dalam methemoglobin dengan kematian sekumpulan ikan karena anoreksia (tidak bisa makan) serta *bronchial epithelium* (epitel saluran nafas bronchus) cenderung menjadi *gangrener*[4].

Keberadaan fosfat berlebihan baik dalam bentuk sodium tripolifosfat atau sodium hexametaphosfat, dalam air limbah dapat menghambat penguraian proses biologis pada badan air dan dapat menyebabkan suatu fenomena yang disebut eutrofikasi. Air dikatakan eutrofik jika konsentrasi total phosphorus dalam air berada dalam rentang 35-100 $\mu\text{g/L}$ [16]. Kondisi eutrofik sangat memungkinkan alga, tumbuhan air berukuran mikro untuk tumbuh berkembang biak dengan pesat. Hal ini bisa dikenali dengan warna air yang menjadi kehijauan, berbau tak sedap, dan kekeruhan yang semakin meningkat. Dalam waktu 24 jam populasi alga akan berkembang dua kali lipat dengan jumlah ketersediaan fosfor yang lebih dari 10 ppb akibat limbah fosfat. Hal ini akan menyebabkan kekurangan oksigen pada biota laut dan dapat menyebabkan kematian.

Pembuangan asam sulfat di perairan akan menurunkan pH yang menghasilkan perubahan yang merugikan sistem perairan, yaitu pengurangan reproduksi ikan dan invertebrata, sehingga mengurangi populasi ikan dan invertebrata dan menyebabkan kondisi anaerobik. Jika perairan mempunyai nilai pH 6,2 maka akan membunuh hidrilla[17].

Senyawa besi (diantaranya feri klorida) di perairan berpotensi menyebabkan kekeruhan[18], memberikan efek yang berbahaya pada biota, menyebabkan perubahan populasi dinamik pada komunitas alga dan rantai makanan. Garam besi mempunyai toksisitas akut yang rendah jika teroksidasi cepat menjadi bentuk yang tidak larut. Namun, terdapat beberapa laporan menyebutkan bahwa garam tersebut bersifat toksik untuk larva dan telur ikan[19].



Gambar 2. Tingkat Toksisitas Klorin Untuk Biota Laut[11]

Sodium bisulfit yang ada dalam perairan, akan bereaksi dengan oksigen terlarut melepaskan gas sulfur dioksida (SO_2). Reaksi dengan air menghasilkan substansi asam diantaranya asam sulfat (H_2SO_4). Sodium bisulfit sisa dapat *menurunkan* konsentrasi DO (*Dissolved Oxygen/Oksigen* terlarut) dalam air penerima[13]. Standard kualitas air untuk konsentrasi DO minimum bervariasi. Persyaratan baku mutu air laut untuk biota laut harus mempunyai DO >5 mg/l, seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut[20]

No.	Parameter	Satuan	Baku Mutu
1.	Kekeruhan ^(a)	NTU	<5
2.	pH	-	7-8,5
3.	Oksigen Terlarut (DO)	mg/l	>5
4.	Salinitas	‰	Alami* ^(b) karang : 33-34 ^(b) Mangrove : s/d 34 ^(b)
5.	Fosfat (PO_4 -P)	mg/l	0,015
6.	Sulfida(H_2S)	mg/l	0,01
7.	PAH (Poliaromatik Hidrokarbon)	mg/l	0,003
8.	plankton	sel/100 ml	Tidak bloom ^(**)

Catatan :

* Alami adalah kondisi normal suatu lingkungan, bervariasi setiap saat (siang, malam dan musim)

** Tidak bloom adalah tidak terjadi pertumbuhan yang berlebihan yang dapat menyebabkan eutrofikasi.

a. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <10% kedalaman euphotic.

b. Diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan <5% salinitas rata-rata musiman

Beberapa spesies laut sensitif terhadap asam sitrat, dan dapat menimbulkan efek racun dalam jangka waktu singkat (akut). LC_{50} untuk kepiting di atas 100 mg/l, untuk alga dan protozoa batas konsentrasi terjadi toksisitas sub akut dalam kisaran 1-300 mg/l. Namun pada beberapa uji biota lain dengan asam sitrat, tidak memperlihatkan toksisitas yang akut[21].

EDTA mempunyai toksisitas yang rendah, namun sangat sukar di degradasi, yaitu terdegradasi 5% dalam tiga minggu. EDTA lebih beracun dalam bentuk yang tidak kompleks (jumlahnya melebihi stoikiometri untuk *chelant*). Semakin tinggi kesadahan air, dan dengan adanya EDTA akan menimbulkan efek racun. Jika kesadahan air 103 mg/l CaCO_3 (96 jam $\text{LC}_{50} = 374$ mg/l) dapat menyebabkan kematian pada ikan[22].

METODOLOGI

Metode studi meliputi pengumpulan data sekunder dan kajian literatur. Selanjutnya dilakukan analisis aditif kimia yang dapat tersisa di konsentrat jika tidak ada penanganan sebelum pembuangan dan dampak pembuangan konsentrat terhadap biota laut. Data sekunder diperoleh dari instansi BLH daerah & pusat, maupun Kementerian Kehutanan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi teknologi desalinasi MED-RO dengan pasokan energi PLTN untuk memasok kebutuhan air bersih di provinsi Kalimantan Timur telah dilakukan, dan salah satu dampak terhadap lingkungan dari instalasi desalinasi yang dikopling dengan PLTN adalah dihasilkannya konsentrat yang disebut *brine*. Konsentrat desalinasi mengandung salinitas tinggi dan residu kimia yang digunakan pada saat pengolahan awal dan proses pembersihan membran. Dari studi yang dilakukan sebelumnya, berbagai bahan kimia yang digunakan pada instalasi desalinasi RO, dengan air umpan dari laut Manggar provinsi Kalimantan Timur adalah klorin, sodium hexametaphosfat, asam sulfat, feri klorida, sodium bisulfit, asam sitrat, senyawa sodium tripolifosfat dan Na_4EDTA . Bahan kimia tersebut dapat tersisa dan dikeluarkan bersama konsentrat dengan salinitas tinggi yang di buang ke laut, yang mana dapat memberikan dampak bagi biota perairan laut.

Ekosistem yang sensitif terhadap pembuangan konsentrat desalinasi adalah mangrove dan terumbu karang. Perairan pesisir Manggar terletak di Kelurahan Manggar, Balikpapan Timur dan memiliki luas hampir 13000 m². Perairan pesisir Manggar merupakan perairan dimana beberapa sungai bermuara, dan disebut DAS Manggar[23]. Di lingkungan sekitar perairan pesisir Manggar terdapat berbagai biota seperti terumbu karang, mangrove, padang lamun, serta beberapa jenis ikan dan krustase. Perairan pesisir Manggar mempunyai pantai berpasir, pantai berbatu, formasi *pescaprae*, formasi *barringtonia*, estuaria, laguna dan delta[24]. Ekosistem pesisir tersebut ada yang terus menerus tergenangi air laut dan ada pula yang hanya sesaat.

Terumbu karang yang terdapat di wilayah perairan pesisir Manggar dekat kota Balikpapan tergolong tipe mendatar (*platform reef*) dan yang didominasi oleh famili *Acroporidae*(*Acropora sp.*) yang berada di muara Sungai Manggar Besar dan *Montipora sp* di Muara Sungai Manggar Kecil[25]. Jenis mangrove yang dominan adalah Nipah (*Nypa fruticans*) yang terdapat di Sungai Manggar bagian tengah. Nilai TDS air sungai relatif tinggi, yaitu 35.708 mg/L, dan hal ini karena telah-terpengaruh oleh air laut. Mangrove di bagian hilir Sungai Manggar didominasi oleh jenis *Rhizopora Apiculata* dan *Rhizopora Mucronata*. Seperti halnya kondisi TDS Sungai Manggar bagian tengah, Sungai Manggar bagian hilirpun juga dipengaruhi oleh air laut sehingga nilai TDSnya mencapai 31.492 mg/L.

Terumbu karang mempunyai berbagai fungsi, diantaranya sebagai habitat tempat berkembang biak dan berlindungnya sumber daya hayati laut sehingga hal ini penting bagi dunia perikanan, khususnya ikan karang. Berbagai jenis ikan yang hidup di perairan pesisir Manggar, yaitu peperek bondol, cakalang, kerapu, kakap, baronang, kurisi, tiga wajah, bawal hitam & putih, layang, selar, kembung, terkulu, talang sunglir, belanak, kura, teri, tembang, tongkol, lemuru, galok-galok, tenggiri, jenis krustase seperti kepiting, udang baron, putih, windu, serta cumi-cumi dan sotong[26,27].

Kehidupan mangrove dan terumbu karang dipengaruhi kondisi salinitas dan total padatan terlarut (TDS) perairan. Tetapi pada kehidupan terumbu karang juga dipengaruhi oleh tingkat kecerahan air dan temperatur[26]. Salinitas mempengaruhi laju pertumbuhan dan zonasi mangrove dan terumbu karang, sehingga pembuangan konsentrat desalinasi dapat memberikan dampak negatif pada kehidupan biota laut di terumbu karang dan mangrove tersebut. Salinitas maksimum untuk kehidupan mangrove adalah 34% dan untuk karang adalah 33-34%, seperti terlihat dalam Tabel 1. Biota laut yang hidup di lokasi yang tertutup dan dangkal lebih sensitif terhadap buangan konsentrat desalinasi dibanding jika hidup di lokasi yang terbuka. Beberapa biota dapat beradaptasi dengan perbedaan salinitas dan temperatur yang rendah, bahkan dapat bertoleransi dengan situasi sementara yang ekstrem, tetapi tidak kontinyu. Aliran buangan konsentrat yang konstan (kontinyu) dengan

konsentrasi dan temperatur tinggi dapat mengakibatkan kehidupan biota laut menjadi fatal dan dapat terjadi perubahan komposisi spesies, khususnya di bagian keluaran buangan (*outlet*).

Kerentanan ikan terhadap peningkatan salinitas bervariasi untuk masing-masing spesies dan masing-masing tempat, dan plankton memberikan reaksi paling tinggi. Peningkatan salinitas dapat mengurangi produksi plankton sampai kepunahan, terutama larva dan individu muda. Kerentanan invertebrata bervariasi, pada krustacea, bagian perut lebih sensitif terhadap peningkatan salinitas dibanding bagian lainnya. Krustacea dan larva invertebrata lain yang mengambang di air juga lebih sensitif pada salinitas.

Seperti disebutkan bahwa dari studi yang dilakukan sebelumnya, berbagai bahan kimia yang digunakan pada instalasi desalinasi RO, dengan air umpan dari laut Manggar provinsi Kalimantan Timur adalah klorin, sodium hexametaphosfat, asam sulfat, feri klorida, sodium bisulfit, asam sitrat, senyawa sodium tripolifosfat dan Na_4EDTA . Diketahui bahwa klorin diperairan dengan konsentrasi lebih dari $10 \mu\text{g/l}$ akan menurunkan fotosintesis dari *phytoplankton* laut, serta efek kematian *zooplankton*, larva invertebrata dan ikan. Pada $50 \mu\text{g/l}$, komposisi biota laut dapat berubah dan jenisnya akan berkurang. Kematian pada ikan terjadi pada kisaran 20 hingga beberapa ratus μg . Namun pada studi ini, sisa klorin dianggap tidak ditemukan dalam konsentrat desalinasi, karena pada studi yang telah dilakukan sebelumnya, pada proses pengolahan awal air laut dilakukan proses deklorinasi sebelum masuk unit RO, sehubungan dengan penggunaan membran komposit poliamida yang sensitif terhadap klorin[7]. Sistem RO biasanya juga dilengkapi dengan monitoring deklorinasi, yang digunakan untuk memantau klorin yaitu dengan ORP (*Oxidation-Reduction Potential*) meter. Pembacaan ORP meter harus selalu dibawah 300mV , jika melebihi 300mV secara otomatis operator instalasi akan menerima peringatan tingkat bahaya pada membran dan harus meningkatkan pemberian sodium bisulfit untuk mengurangi konsentrasi oksidan. Larutan sodium bisulfit akan bereaksi dengan oksigen dan klorin. Jika mencapai harga 350mV , instalasi harus di *shutdown*, untuk mengurangi konsentrasi oksidan hingga mencapai harga aman ($\text{ORP} < 300\text{mV}$)[28]. Konsentrasi oksidan dapat membahayakan membran desainasi RO, sehingga instalasi perlu *dishutdown*.

Feri klorida di perairan berpotensi menyebabkan kekeruhan, memberikan efek yang berbahaya pada biota, menyebabkan perubahan populasi dinamik pada komunitas alga dan rantai makanan. Dalam studi sebelumnya disebutkan bahwa feriklorida digunakan untuk mengurangi kestabilan partikel dengan memberikan muatan positif, sehingga akan menetralkan muatan negatif yang dimiliki koloid dan terbentuk flok-flok yang selanjutnya disaring dengan saringan pasir. Oleh karena itu dalam studi ini, tidak ada kandungan feriklorida dalam konsentrat yang dibuang.

Pelepasan sodium bisulfit di perairan laut tanpa penanganan awal seperti pencairan sampai dibawah ambang, dapat menurunkan konsentrasi oksigen terlarut DO, yang akan menyebabkan kematian biota ikan dan kepiting di badan air wilayah pesisir karena kekurangan oksigen[14].

Sisa asam sulfat dalam konsentrat desalinasi RO, jika tidak diolah lebih lanjut sebelum dibuang ke permukaan air laut dapat menurunkan pH. pH baku mutu air laut untuk biota laut di Indonesia berkisar antara $7,0-8,5$ (Tabel 1), dan diperbolehkan terjadi perubahan sampai dengan $<0,2$ satuan pH. Jika pH lebih rendah dari standar seperti yang telah diuraikan sebelumnya akan mengurangi populasi ikan dan invertebrata.

Eutrofikasi merupakan masalah lingkungan perairan yang diakibatkan oleh limbah fosfat, sehingga adanya sodium tripolifosfat atau sodium hexametaphosfat dalam jumlah tertentu perlu diwaspadai. Fosfor (P) diperlukan oleh *blue-green algae* (makhluk hidup air penyebab *alga bloom*) untuk tumbuh[16], yang dapat berasal dari sodium tripolifosfat atau sodium hexametaphosfat. *Cyanobacteria (blue-green algae)* diketahui mengandung toksin, dan fenomena alga bloom yang merupakan fenomena pertumbuhan lebat fitoplankton di air laut, yang dapat menyebabkan kematian massal ikan dan keracunan kerang.

Disebutkan bahwa jika sisa EDTA bersamaan ada dalam air dengan kesadahan tinggi akan menimbulkan efek racun dan kematian ikan. Air dengan kesadahan tinggi, berarti ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} tinggi. Air laut perairan manggar mempunyai kandungan Ca^{2+} 900mg/l dan Mg^{2+} $1268,80 \text{mg/l}$ [6], sehingga air laut tersebut tergolong sadah.

Asam sitrat di perairan laut hanya memberikan efek racun pada spesies laut seperti kepiting, alga dan protozoa[21].

Seperti telah disebutkan bahwa pembuangan ke permukaan laut merupakan metode pembuangan konsentrat yang paling mudah untuk berbagai ukuran instalasi. Dampak

pembuangan konsentrat desalinasi RO terhadap biota perairan laut Manggar yang telah diuraikan tersebut diatas dapat terjadi jika tidak disertai penanganan awal sebelum konsentrat tersebut dibuang. Suatu teknologi pembuangan ke laut yang tepat dapat meminimalkan problem lingkungan. Berbagai teknologi pembuangan konsentrat adalah pembuangan melalui pipa (50-300 m)[3] menuju laut atau pembuangan dengan mencampur keluaran air pendingin pembangkit. Suatu sistem *diffuser* yang dipasang dipipa keluaran digunakan untuk mendispersikan konsentrat, namun faktor-faktor seperti batimetri, gelombang, arus dan kedalaman air, harus dipertimbangkan[29]. Pada instalasi desalinasi RO, setelah proses pembersihan membran, sebelum dibuang ke laut, air pencuci ditampung dalam kontainer untuk dititrasi atau dinetralisasi. Selain itu, ratio pengenceran yang tinggi (sekitar 50 atau lebih) dengan mencampur keluaran air pendingin pembangkit dapat menjamin konsentrasi yang sangat rendah dari air pencuci sebelum dibuang ke permukaan air laut. Sehingga dengan teknologi pembuangan konsentrat yang sesuai, yang dapat meliputi netralisasi, pengenceran dan pembuangan melalui pipa (panjang 50-300 m) serta dispersi dengan memperhatikan batimetri, gelombang, arus dan kedalaman laut, maka dampak pembuangan konsentrat desalinasi RO terhadap biota Perairan Manggar dapat diminimalkan.

KESIMPULAN

Berbagai aditif kimia yang digunakan dalam pengolahan awal air umpan desalinasi RO dari perairan Manggar, yang dapat tersisa di konsentrat jika tidak ada penanganan sebelum pembuangan yaitu sodium bisulfit, asam sulfat, sodium tripolifosfat, sodium hexametrafosfat, EDTA dan asam sitrat. Pembuangan konsentrat tersebut ke permukaan laut dapat memberikan dampak terhadap kelangsungan hidup biota laut sekitar tapak PLTN.

Peningkatan salinitas dapat merubah komposisi spesies (pengurangan produksi plankton, kerentanan krustacea dan larva invertebrata yang mengambang di air, serta kerentanan ikan). Sodium bisulfit dapat menyebabkan kematian biota, terutama ikan dan kepiting. Asam sulfat dapat menurunkan pH sehingga mengurangi populasi ikan dan invertebrata. Limbah fosfat dari sodium tripolifosfat atau sodium hexametrafosfat dapat menyebabkan kematian massal ikan dan keracunan kerang. Adanya EDTA akan menimbulkan efek racun dan kematian ikan. Asam sitrat di perairan laut hanya memberikan efek racun kepiting, alga dan protozoa.

Namun, dampak pembuangan konsentrat tersebut dapat diminimalkan jika terdapat penanganan yang tepat sebelum konsentrat tersebut dibuang, yang meliputi netralisasi, pengenceran dan pembuangan melalui pipa (panjang 50-300 m) serta dispersi dengan memperhatikan batimetri, gelombang, arus dan kedalaman laut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada Bapak Ir. Sriyana, MT selaku Kepala Bidang Kajian Data Tapak yang telah memberikan arahan dalam penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. HON JJ SNELLING, "Desalination", Sixty Fourth Report of The Environment, Resources and Development Committee, Port Bonython, 5 August 2009.
2. SITI ALIMAH, "Studi Pembuangan Konsentrat Desalinasi", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, PPEN, BATAN, Volume 12 Nomor 2, Desember 2010.
3. SCOTT JENKINS, et.al., MANAGEMENT of Brine Discharge to Coastal Waters Recommendation of a Science Advisory Panel", Technical Report 694 California Water Resources Control Board, March 2012.
4. RACHID MIRI, et.al., "Ecotoxicological Marine Impacts from SeaWater Desalination Plants, Desalination 182, February 2005.
5. SITI ALIMAH, dkk., "Pemilihan Teknologi Desalinasi Nuklir Di Provinsi Kalimantan Timur", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, Volume 11, Nomor 1, Juni 2009.
6. SITI ALIMAH, SUDI ARIYANTO, "Strategi Kontrol *Fouling* Pada Desalinasi RO", Majalah Ilmiah Pengkajian Industri, Vol.6, No. 1, 2012.
7. SITI ALIMAH, dkk., "Pembersihan Kimiawi *Fouling* Membran Desalinasi RO", Prosiding Seminar Nasional X SDM Teknologi Nuklir, STTN, BATAN, 10 September 2014.

8. THOMAS HOEPNER, SABINE LATTEMANN, "Chemical Impacts from Seawater Desalination Plant-A Case Study of The Northern Red Sea", *Desalination* 152, April 2002.
9. THOMAS HOPNER et.al., "Elements of Environment Impact Studies on Coastal Desalination Plant", *Desalination* 108, July, 1996.
10. CECEP KUSMANA, "Pengelolaan Sistem Mangrove Secara Terpadu", Workshop Pengelolaan Ekosistem Mangrove, 18 Agustus 2009, Jatinangor, Jawa Barat.
11. FRANK MUNK, "Ecological and Economic Analysis of Seawater Desalination Plants", Diploma Thesis Institute for Hydromechanics, University of Karlsruhe, April 2008.
12. _____, "Ekologi Laut Tropis", <https://www.scribd.com/doc/130209741/Ekologi-Laut-Tropis>, diakses Februari 2017.
13. DAWOUD, M.A., et.al., "Environmental impact of Seawater Desalination: Arabian Gulf case Study", *International Journal of Environment and Sustainability*, ISSN 1927-9566, Vol. 1 No.3, 2012.
14. ORLANDO B.S.GALLI, et.all., "Acute Toxicity of Sodium Metabisulfit in Larvae and Post-Larvae of the Land Crab, *Cardisoma Guanhumi*", *Bull Environ Contam Toxicol*, February 2012.
15. RASHAD DANOUN, "Desalination Plants: Potential Impacts of Brine Discharge on Marine Life", The Ocean Technology Group, Final Project The University of Sydney, Australia, June, 2007.
16. ISAHBANI, "Dampak Fosfat (PO₄) Terhadap Kehidupan Manusia", <https://www.scribd.com/doc/169923363/Dampak-Kontamina-Fosfat>, Sep. 2013.
17. LOWELL L. TRENT, ET.ALL., "Toxicity of Sulfuric Acid to Aquatic Plants and Organisms", *Journal Aquatic Plant Management* 16, 1978.
18. SOTERO-SANTOS, R.B., et.al., "Toxicity of Feric Chloride Sludge to Aquatic Organisms", *Chemosphere* 68, February 2007.
19. Dalzell, D.J.B., et.al., "The Toxicity of Iron to Brown Trout and Effects on The Gills: A Comparison of Two Grades of Iron Sulphate", *Journal Fish Biology* 55, 1999.
20. MENTERI NEGARA LINGKUNGAN HIDUP, "Baku Mutu Air Laut", Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 51 Tahun 2004.
21. OECD SIDS, "Citric Acid", SIDS Initial Report for 11th SIAM, UNEP Publication, Orlando, January 2001.
22. BAUA, "Tetrasodium Ethylenediamine Tetraacetate", Final report 2004, Germany.
23. KEMENTERIAN KEHUTANAN, "Rencana Pengelolaan DAS Terpadu pada DAS Prioritas I Manggar", Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Mahakam Berau, Balikpapan, April 2012.
24. BLH, "Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Kota Balikpapan 2011", Badan Lingkungan Hidup, Pemerintah Kota Balikpapan, 2011.
25. BLH, "Laporan Status Lingkungan Hidup Daerah Kota Balikpapan 2012", Badan Lingkungan Hidup, Pemerintah Kota Balikpapan, 2012.
26. Edrus, I.N., "A Study on Coral Reef and Coral Fish in Watubela Island, East, Mollucas", *Indonesian Fisheries Research Journal* Vol.10 No.1, 2004.
27. SAID ABDUSYAHID, et.al., "The Distribution of Capture Fisheries Based Small Pelagic-Mackerel Fish Species in Balikpapan Waters, East Kalimantan", *International Journal of Science and Engineering (IJSE)*, April, 2014.
28. NITTO, "Chemical Pretreatment for RO and NF", Hydranautics Nitto Group Company, October 2013.
29. RACHEL EINAIV, et. al., "The Footprint of The Desalination Processes on The Environment", *Desalination* 152, April 2002.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PERFORMANCE EVALUATION OF ADHOC PROTOCOLS: AODV AND DSDV FOR MOBILE NODE REQUIREMENT USING NS-2

A. A. Waskita, D. Andiwijayakusuma, Deswandri, Geni R. Sunaryo

Center for Nuclear Reactor Technology and Safety, National Nuclear Energy Agency, Kawasan
Puspiptek Serpong, Tangerang 15310, Indonesia

email: adhyaksa@batan.go.id

ABSTRACT

PERFORMANCE EVALUATION OF ADHOC PROTOCOLS: AODV AND DSDV FOR MOBILE NODE REQUIREMENT USING NS-2. A performance evaluation of adhoc routing protocol of AODV and DSDV have been performed using NS-2 software. This evaluation was conducted to know which protocol was performed better in a mobile condition. The performance of both protocols is determined by the factor of the higher rate of Packet Delivery Fraction and the lower rate of Average end-to-end delay in a different number of nodes, the packet size and the maximum speed of nodes. From the simulation result, AODV shows good performance compare to DSDV in a mobile node requirement.

Keywords: performance evaluation, AODV, DSDV, mobile nodes, NS-2

ABSTRAK

EVALUASI KINERJA PROTOKOL ADHOC: AODV DAN DSDV UNTUK NODE BERGERAK MENGGUNAKAN NS-2. Evaluasi kinerja protokol routing adhoc, AODV dan DSDV telah dilakukan menggunakan perangkat lunak NS-2. Evaluasi tersebut dilakukan untuk mengetahui protokol yang berkinerja baik pada kondisi bergerak. Kinerja kedua protocol ditentukan oleh tingginyafaktorPacket Delivery Fraction dan rendahnya faktorAverage end-to-end delay pada jumlah node berbeda, ukuran paket serta kecepatan maksimum node. Dari hasil simulation, AODV menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada DSDV pada kasus node bergerak.

Kata kunci: evaluasi kinerja, AODV, DSDV, node bergerak, NS-2.

INTRODUCTION

The wireless devices are currently getting their popularity and have been successfully implemented in a number of applications, such as environment monitoring [1], a rescue scenario [2], a smart e-health [3], or an application of the IoT in a home automation [4]. In evaluating the performance of adhoc protocol, a number of researches uses NS-2 software [5-6], including the performance of the protocol in a specific case, such as intrusion detection scenario [7].

Research activity [8] that evaluate the performance of AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing), DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector) and DSR (Dynamic Source Routing) has been performed in a fixed number of nodes and packet size. Performance evaluation that consider mobility of nodes are becoming useful for a scenario it requires [9]. One example of mobile application equipped by the wireless sensor network is VANET (Vehicular Ad hoc Network) [10]. In this paper, the performance evaluation of AODV and DSDV mobile network protocols from different class [11] was simulated by using the NS-2 software. Their performance was determined by the two parameters, each the higher rate of Packet Delivery Fraction and the lower rate of Average end-to-end Delay respectively. After conducting a simulation, the implementation of a mobile network can be optimized from the perspective of the protocol, the packet size, the number of mobile nodes and its maximum speed in order to get the good result.

MOBILE ADHOC NETWORK PROTOCOLS

MANET devices can be described with the following characteristics.

- MANET (mobile ad hoc networks) was defined as the mobile devices with wireless links, that formed a kind of decentralized autonomous networks [9].

- It consists of dynamically establishing mobile nodes having short-lived networks in the absence of fixed infrastructure,
- equipped with wireless transmitter and a receiver with an appropriate antenna, and.
- easy deployment in places where existing infrastructure is not capable enough to allow communication, for instance, in disaster zones, or infeasible to deploy [11].

ROUTING PROTOCOL

In MANET, a number of routing protocols exist and can be classified as the following diagram in Figure 1. The classification is either reactive or proactive basis.

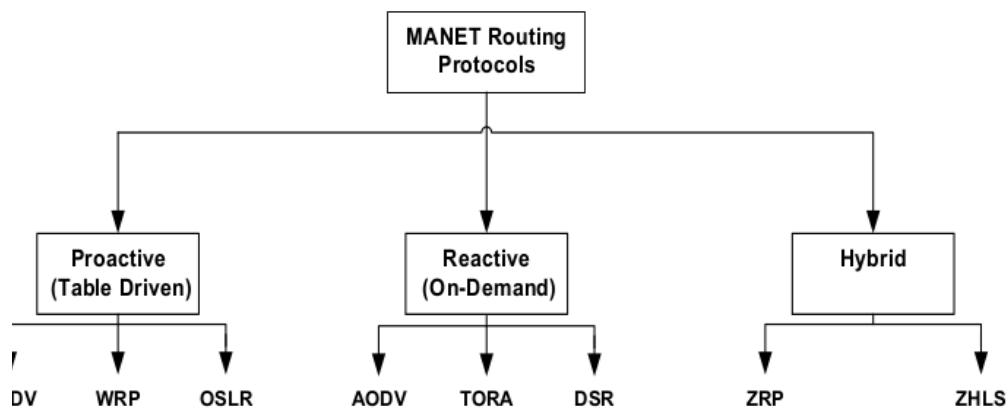


Figure 1. The classification of MANET routing protocol [12]

In a proactive routing protocol type, there exist a popular protocol, named DSDV (Destination-Sequenced Distance Vector) routing protocol. In this routing protocol, routing information is broadcast by mobile nodes to the neighbors. Each node must keep their routing table which contains the information of neighborhood nodes, reachable nodes and the number of hops. The routing table of each node is acquired by sending a broadcast message to the other nodes [13]. In case of DSDV, every node in the mobile network is required to send a sequence number, which is periodically increased by two and it is transmitted along with other routing update messages to all other neighboring nodes [10]. Consequently, this routing protocol requires more storage spaces as the nodes involved increase.

On the other hand, the reactive routing protocol type, there exist a popular protocol, named AODV (Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing). In AODV, route establishment takes place only when there is a demand for new route [12].

METHODOLOGY

Scenarios

This research is intended to discover the performance of routing protocols of AODV and DSDV when a number of nodes involved, packet size or maximum speed of nodes changed. The evaluation will be conducted using the software called NS (Network Simulator) version 2 running on the top of GNU Linux operating system.

First of all, some scenarios are provided. Then, performance factors to be discovered are calculated. Packet Delivery Fraction (PDF) is a fraction of received to transmitted packets. Packets are being considered are Constant Bit Rate (CBR) packet transmitted by CBR agent that embedded in a transmitted node. In NS-2 software, CBR is an application that uses UDP (User Datagram Protocol), the unreliable connection of a network layer. PDF is formulated as an equation (1). In equation (1), $CBR_{received}$ is a packet received, while $CBR_{generated}$ is a packet sent.

$$PDF = \frac{\sum CBR_{received}}{\sum CBR_{generated}} \times 100 \quad (1)$$

Average end-to-end delay (ETD) is a different time of packet received and sent divided by total number of packets being received. There is a possibility for a packet to lost or unable to reach a destination node. A sending packet that does not have a receiving one

will be omitted in a calculation. ETD is formulated as an equation (2). In equation (2), $CBR_{SentTime}$ is a time for a packet being sent, while $CBR_{ReceivedTime}$ is a time a packet being received.

$$ETD = \frac{\sum CBR_{SentTime} - CBR_{ReceivedTime}}{\sum CBR_{received}} \quad (2)$$

After that, each node will be defined as a part of NS code as depicted in Figure 2. Dimension of the simulated area was specified in line 9-10, while the packet size of bytes data can be varied in line 11. For configuring the interval between the consecutive packet sent can be made in line 12. Finally, varying the maximum of the speed of the nodes can be made in line 14.

```
1 set val(chan) Channel/WirelessChannel
2 set val(prop) Propagation/TwoRayGround
3 set val(ant) Antenna/OmniAntenna
4 set val(ll) LL
5 set val(ifq) Queue/DropTail/PriQueue
6 set val(ifqlen) 50
7 set val(netif) Phy/WirelessPhy
8 set val(mac) Mac/802_11
9 set val(x) 1000
10 set val(y) 1000
11 set val(cbrsize) 4096
12 set val(cbrinterval) 10
13 set val(stop) 500
14 set val(speed) 4
```

Figure 2. Node specification declaration

Each node will be located on a simulation area randomly using internal NS-2 tools called **cbrgen** and **setdest**. These tools can be used to specify the number of mobile nodes involved, maximum number of connection among them, maximum speed of the nodes, types of application used and also the dimension of the area where the nodes occupies. Each time the influencing variables changed, these tools will be re-executed. The distribution of mobile nodes in a simulation area of 1000m × 1000m is illustrated in Figure 3.

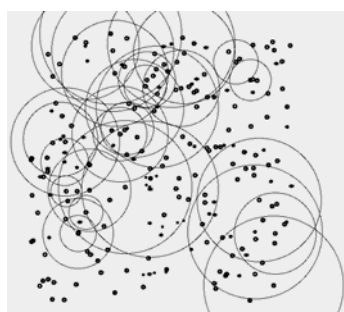


Figure 3. The distribution of the mobile nodes

Analysis tools

To calculate parameters PDF dan ETD, a simple tool is made in Python programming language. It is used to automatically calculate delay time between receiving and sending the same packet from a trace file. It uses the following two regular expressions to extract important information from a trace file, each of them are receiving and sending CBR packet activities. The following are that two regular expressions.

- $\text{^(s)(s)(\d)+\l.(\d)+(\s)(\d+)(\s)(AGT).$

- $\hat{r}(s)(d)+\backslash.(d)+\backslash(s)(_)(d+)(_)(s)(AGT)$.

Packet which is started by a character s is a sending packet, while packet started by a character r is a receiving packet.

After collecting sending and receiving packet, receiving packet time will be reduced by the sending packet time which has the same packet ID. With the library from Python for processing text, each line of information is read and separated by a delimiter of a whitespace character. After being separated, time for sending and receiving packet will be placed in second order, while packet ID will be placed in sixth order. These two variables will be placed in dictionary, a variable in Python for storing a pair information of key and value. Key information is a packet ID, while its value is time in sending and receiving packet. Each finding event of similar expression, either sending or receiving packet will be counted to determine PDF.

RESULT AND DISCUSSION

AODV Protocol

The first scenario is to perform simulation with increasing the packet size while the maximum speed of nodes is fixed. For PDF and ETD parameter, the result is shown in Figure 4 and Figure 5. The result showing that increasing packet size will increase packet loss. For a small number of nodes, the chart shows fluctuative result for every packet size. However, the larger number of nodes (above 50 nodes) shows consistent trend, which is around 50% to 90% of packets received. It is in line with the common sense that will be more packet lost for the larger size. From Figure 5, it shows that the larger the packet size the larger the delay time. Because of increasing packet size, time for delivering the packet is also increase. The largest ETD in the experiment is around 1.1 seconds.

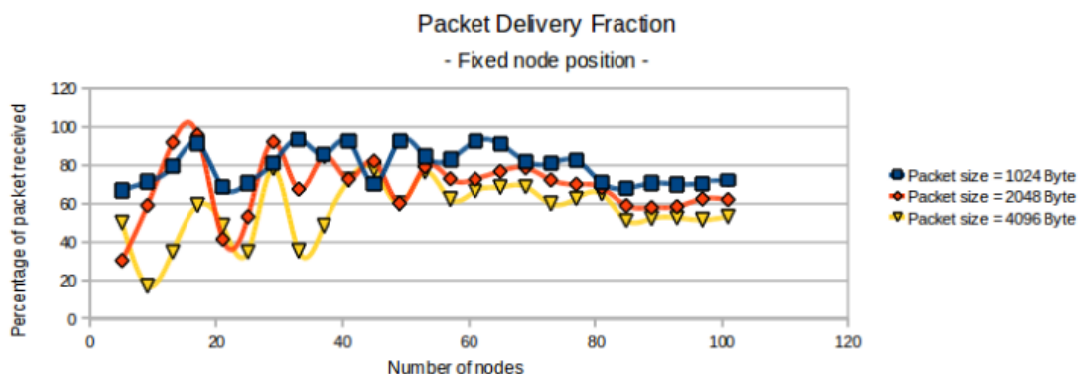


Figure 4. PDF for AODV protocol at the varying packet size and a fixed position of nodes

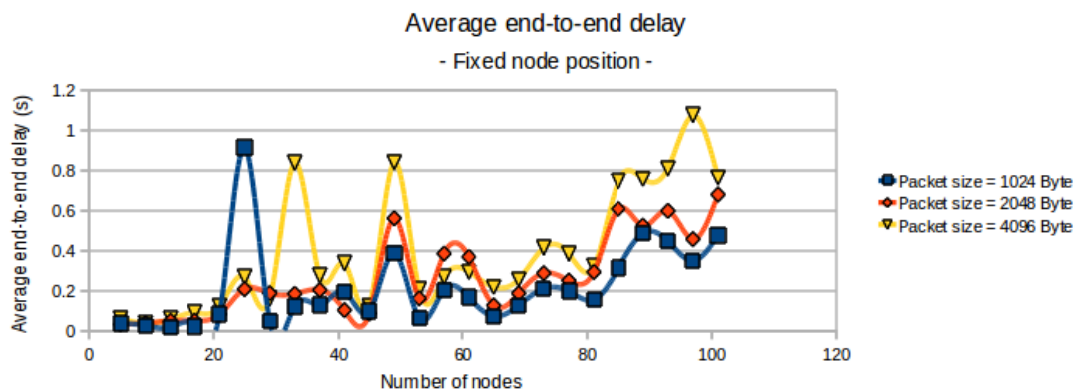


Figure 5. ETD for AODV protocol at the varying packet size and a fixed position of nodes

If a node is moved to a random position with the certain maximum speed, the result can be explained from a chart in Figure 6 and Figure 7, each are for PDF and ETD variables. The Figure 6 shows that more fast a node move, more packet will be received well. Only the first three data showing the maximum speed of 4 m/s produce the PDF less or equal to the PDF produced by the lower speed (2 m/s or fixed position).

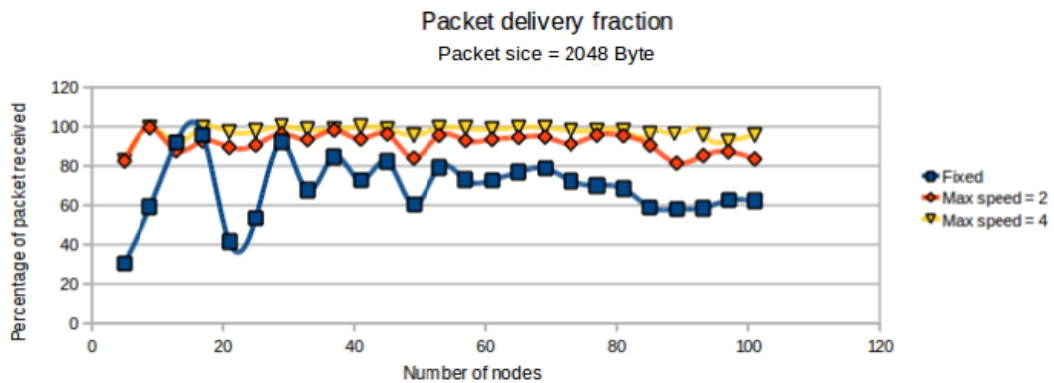


Figure 6. PDF for AODV protocol with varying speed and the fixed packet size of 2048 Byte

On the other hand, Figure 7 shows that the maximum average delay time for the experiment is 1 second.

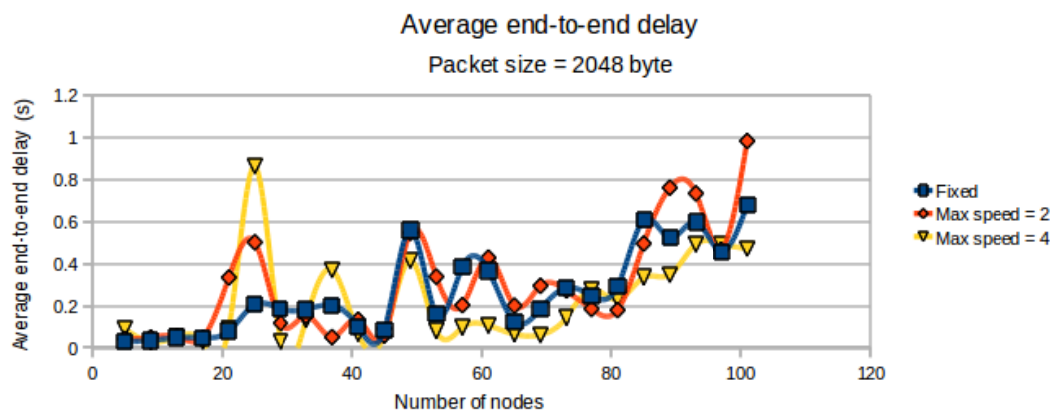


Figure 7. ETD for AODV protocol at varying speed and the fixed packet size of 2048 Byte

DSDV Protocol

For DSDV protocol, a chart that shows an effect of increasing number of nodes to the packet lost is shown in Figure 8. The same trend with AODV is shown in that chart with a packet lost is tend to be larger. For the number of nodes larger than 50, the PDF is about 30% - 90%. This value is less than the value produced by AODV protocol (Figure 4).

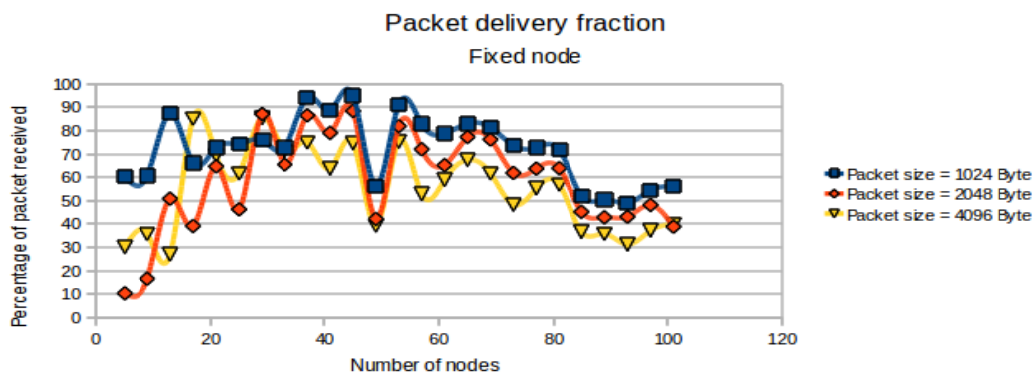


Figure 8. PDF for DSDV protocol at varying packet size and a fixed position of nodes

The next is a delay time for a fixed position of nodes. Figure 9 shows that the larger the packet size, the larger the delay time. However, this trend is clearly shown where the number of mobile nodes are larger than 60. The largest ETD in the experiment is around 1.8 seconds. This value is larger compare to the same experiment using the AODV protocol (Figure 5).

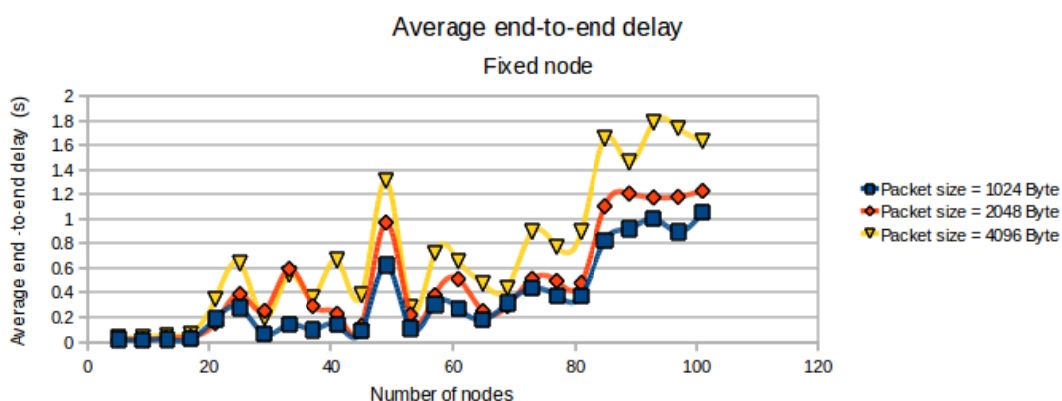


Figure 9. ETD for DSDV protocol at varying packet size and a fixed position of nodes

After that, the effects of node mobility with a certain of a maximum speed to the parameter PDF and ETD are shown in Figure 10 and Figure 11. For a PDF factor, Figure 10 shows that there are also three data from this experiment that produce packet fraction delivery of the maximum speed 4 m/s less or than the packet delivery fraction for the lower speed (2 m/s or fixed). However, from the maximum speed of 2 m/s produce the lower packet delivery fraction compared to the same experiment using the AODV protocol (Figure 6).

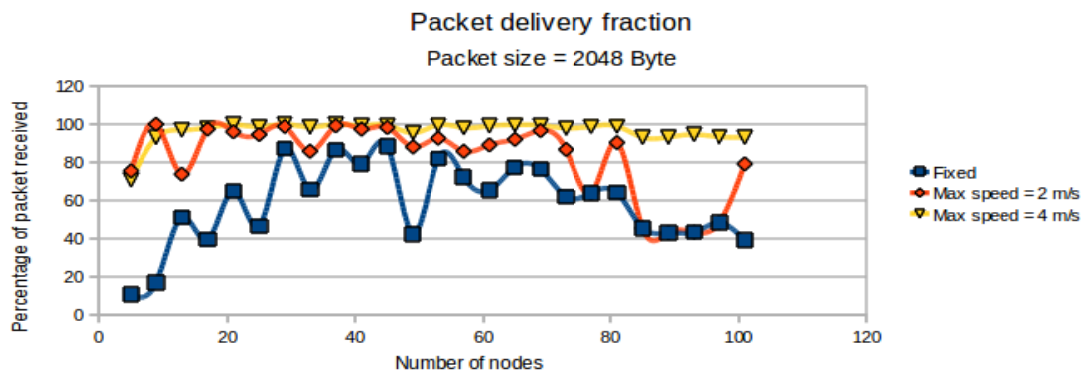


Figure 10. PDF for DSDV protocol at varying speed and a fixed packet size of 2048 Byte

Figure 11 shows that the maximum average delay time for this experiment is about 1.45 seconds, which is larger than the same experiment using the AODV protocol (Figure 7).

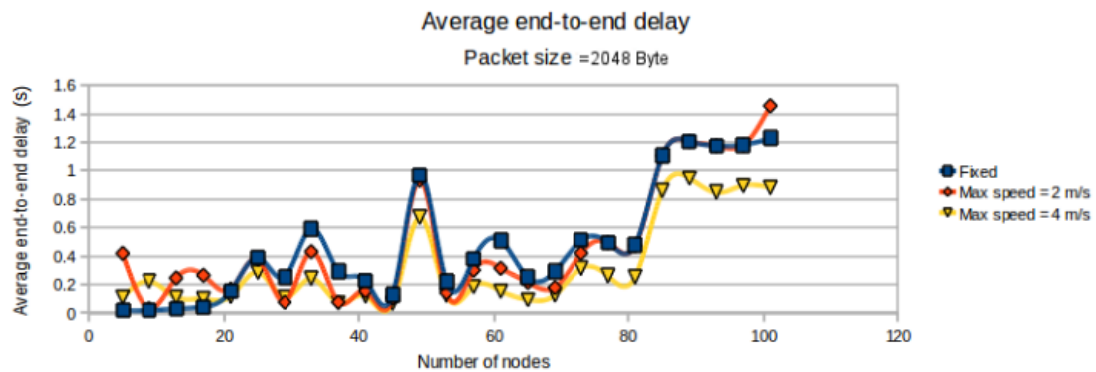


Figure 11. ETD for DSDV protocol at varying speed and a fixed packet size of 2048 Byte

CONCLUSION

From the previous section, we can conclude that AODV protocol shows better performance compared to DSDV protocol. From the perspective of Then, AODV should be preferred either in the fixed position scenario or even in the mobile nodes requirements.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank Mr. Setiadi Yazid from the faculty of computer sciences, Universitas Indonesia for discussing this research topic. The research has been funded by PTKRN – BATAN.

REFERENCES

1. J. MacFarlane, O. Payton, A. Keatley, G. Scott, H. Pullin, R. Crane, M. Smilion, I. Popescu, V. Curlea, and T. Scott, "Lightweight aerial vehicles for monitoring, assessment and mapping of radiation anomalies," *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 136, pp. 127 – 130, 2014.
2. L. E. Quispe and L. M. Galan, "Behavior of ad hoc routing protocols, analyzed for emergency and rescue scenarios, on a real urban area," *Expert Systems with Applications*, vol. 41, no. 5, pp. 2565 – 2573, 2014.
3. Ö. Kafalı, S. Bromuri, M. Sindlar, T. van der Weide, E. Aguilar Pelaez, U. Schaechtle, B. Alves, D. Zufferey, E. Rodriguez-Villegas, M. I. Schumacher, et al., "Commodity12: A smart e-health environment for diabetes management," *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, vol. 5, no. 5, pp. 479–502, 2013.

4. V. Vujović and M. Maksimović, "Raspberry pi as a sensor web node for home automation," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 44, pp. 153 – 171, 2015.
5. S. Mohapatra and P. Kanungo, "Performance analysis of aodv, dsr, olsr and dsdv routing protocols using ns2 simulator," *Procedia Engineering*, vol. 30, pp. 69 – 76, 2012.
6. S. Tyagi, S. Som, and Q. Rana, "A reliability based variant of aodv in manets: Proposal, analysis and comparison," *Procedia Computer Science*, vol. 79, pp. 903 – 911, 2016.
7. M. Rmayti, R. Khatoun, Y. Begriche, L. Khoukhi, and D. Gaiti, "A stochastic approach for packet dropping attacks detection in mobile ad hoc networks," *Computer Networks*, vol. 121, pp. 53 – 64, 2017.
8. B. K. Saraswat, M. Bhardwaj, and A. Pathak, "Optimum experimental results of aodv, dsdv & dsr routing protocol in grid environment," *Procedia Computer Science*, vol. 57, pp. 1359 – 1366, 2015.
9. M. B. Channappagoudar and P. Venkataram, "Performance evaluation of mobile agent based resource management protocol for MANETs," *Ad Hoc Networks*, vol. 36, Part 1, pp. 308 – 320, 2016.
10. B. Rashid and M. H. Rehmani, "Applications of wireless sensor networks for urban areas: A survey," *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 60, pp. 192 – 219, 2016.
11. A. Chavan, D. Kurule, and P. Dere, "Performance analysis of aodv and dsdv routing protocol in manet and modifications in aodv against black hole attack," *Procedia Computer Science*, vol. 79, pp. 835 – 844, 2016.
12. P. Patel, R. Bansode, and B. Nemade, "Performance evaluation of manet network parameters using aodv protocol for heaack enhancement," *Procedia Computer Science*, vol. 79, pp. 932 – 939, 2016.
13. M. Swathi, B. Pravalika, and N. Muralidhar, "Implementing and comparison of MANET routing protocols using ns2," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 4, no. 2, pp. 192-200, 2014.

PEMANTAUAN METEOROLOGI PADA CALON TAPAK PLTN DI DESA SEBAGIN PULAU BANGKA

Denissa Beauty Syahna, Kurnia Anzhar, Slamet Suryanto

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710

email: denissabs@batan.go.id

ABSTRAK

PEMANTAUAN METEOROLOGI PADA CALON TAPAK PLTN DI DESA SEBAGIN PULAU BANGKA. Dalam rangka penyiapan lokasi tapak PLTN telah dilakukan studi kelayakan tapak PLTN di Pulau Bangka. Kegiatan ini menghasilkan dua lokasi calon tapak yaitu, di Muntok Kabupaten Bangka Barat dan Sebagin Kabupaten Bangka Selatan. Salah satu aspek yang perlu dipantau dalam studi kelayakan tapak adalah aspek meteorologi. Pada makalah ini dibahas hasil pemantauan meteorologi di stasiun Sebagin. Pemantauan dilakukan secara terus-menerus selama 24 jam/hari dengan menggunakan peralatan *Automatic Weather Station* (AWS) yang terdiri dari data logger dan sensor. Data yang diperoleh diantaranya suhu, kelembapan relatif, radiasi matahari, curah hujan, arah angin dan kecepatan angin pada tahun 2016. Tujuan penulisan ini adalah menyajikan hasil dari pengolahan dan analisis data meteorologi di stasiun Sebagin pada tahun 2016. Metode yang digunakan meliputi pemantauan, pengolahan data dan analisis. Hasil pengolahan dan analisis data meteorologi memperoleh nilai maksimum suhu sebesar 32,9°C, radiasi matahari 1142 W/m², curah hujan 30,9 mm dan kecepatan angin 0,5 – 2,1 m/s. Nilai ini menunjukkan bahwa kondisi meteorologi di calon tapak Sebagin tidak terdapat nilai ekstrim parameter meteorologi.

Kata kunci: meteorologi, tapak PLTN, Pulau Bangka, pemantauan, nilai ekstrim

ABSTRACT

METEOROLOGICAL MONITORING FOR NPP CANDIDATE SITE AT SEBAGIN VILLAGE BANGKA ISLAND. In order to prepare the location of NPP site, a feasibility study of NPP in Bangka Island has been conducted. This activity has obtained two candidate site i.e. in Muntok, West Bangka and in Sebagin, South Bangka. One aspect that needs to be monitored in the site feasibility study is meteorological aspect. Monitoring is done continuously for 24 hours/days using *Automatic Weather Station* (AWS) consisting of data logger and sensor. It has obtained data of temperature, relative humidity, net radiation, rain fall, wind direction and wind speed in 2016. The objective of this paper is to provide a result of processing and analysis meteorological data at Sebagin station in 2016. The methods used include monitoring, data processing and analysis. The result of processing and analysis meteorological data have the maximum value of temperature 32,9°C, net radiation W/m², rain fall 30,9 mm and wind speed 0,5 – 2,1 m/s. It shows that meteorological condition in candidate site there is no extreme value.

Keywords: meteorological, NPP site, Bangka Island, monitoring, extreme value

PENDAHULUAN

Kegiatan studi kelayakan tapak dalam rangka penyiapan lokasi tapak Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) telah dilakukan di Pulau Bangka. Hasil kegiatan pada tahun 2013 diperoleh dua lokasi calon tapak PLTN di Pulau Bangka yaitu Pantai Tanah Merah-Teluk Menggris Desa Air Putih-Desa Tajung Mentok Kecamatan Mentok Kabupaten Bangka Barat dan Tanjung Berani-Tanjung Kerasak Desa Sebagin Kecamatan Simpang Rimba Kabupaten Bangka Selatan sebagai calon tapak PLTN [1].

Pemantauan dan pengumpulan data meteorologi dilakukan untuk memenuhi persyaratan Perka BAPETEN No. 6 tahun 2014 tentang evaluasi tapak instalasi nuklir untuk aspek meteorologi dan hidrologi, dimana data dan informasi meteorologi yang dipantau dan dikumpulkan mencakup nilai ekstrim parameter meteorologi dan fenomena cuaca ekstrim. Data dan informasi nilai ekstrim parameter meteorologi yang dipantau dan dikumpulkan meliputi parameter tekanan udara, suhu udara, curah hujan dan kelembapan udara, arah dan kecepatan angin dan densitas dan frekuensi petir [2].

Pemantauan meteorologi calon tapak PLTN Pulau Bangka dilakukan di dua lokasi yaitu Kecamatan Muntok, Bangka Barat dan Kecamatan Simpang Rimba, Bangka Selatan. Pemantauan dilakukan sejak tahun 2011 sampai dengan tahun 2016. Pemantauan dilakukan secara terus-menerus dengan menggunakan peralatan *Automatic Weather System* (AWS) yang terdiri dari data logger dan sensor parameter. Peralatan ini merupakan alat ukur yang dapat mencatat kondisi parameter meteorologi secara rinci. Pada makalah ini dibahas mengenai kondisi meteorologi hasil pemantauan di Desa Sebagian Kecamatan Simpang Rimba Kabupaten Bangka Selatan. Pada lokasi tersebut terdapat stasiun meteorologi dengan menara setinggi 80 meter yang dipasang sensor temperatur, arah angin dan kecepatan angin masing-masing pada ketinggian 10, 40, 60 dan 80 m, sedangkan sensor tekanan udara, kelembapan udara, radiasi matahari dan curah hujan dipasang di permukaan pada ketinggian 1 m [3].

TEORI

Penyiapan calon tapak PLTN diantaranya adalah dengan mempertimbangkan persyaratan aspek meteorologi di sekitar calon tapak PLTN. Meteorologi adalah gejala alam yang berkaitan dengan cuaca [2]. Kondisi meteorologi digunakan untuk desain reaktor dan aspek keselamatan yang disebabkan oleh kejadian atau bahaya eksternal. Setelah terpilihnya calon tapak PLTN, maka dilakukan pemantauan dan pengolahan data dan informasi meteorologi yang mencakup nilai ekstrim parameter meteorologi dan fenomena cuaca ekstrim. Ini bisa diperhitungkan dengan menganalisis riwayat data tapak dan wilayah geografis sekitarnya [4].

Pemantauan dan Pengumpulan Data Meteorologi

Pemantauan dan pengumpulan data dan informasi meteorologi dapat dilakukan melalui 2 (dua) cara, yaitu: [2]

1. Pengumpulan data dan informasi meteorologi dari luar tapak (*off site*)
Data dan informasi meteorologi dari luar tapak dikumpulkan dari stasiun meteorologi di wilayah sekitar tapak, dilakukan tanpa terputus pada interval yang tepat sepanjang periode waktu yang lama.
2. Pemantauan dan pengumpulan data meteorologi di tapak (*on site*)
Pemantauan dan pengumpulan data meteorologi di tapak dilakukan tanpa terputus pada interval yang tepat dalam jangka waktu paling singkat 2 tahun. Parameter mencakup suhu udara, arah dan kecepatan angin, curah hujan dan kelembapan udara, dan petir. Suhu udara, arah dan kecepatan angin, curah hujan dan kelembapan udara diukur pada ketinggian standar.

Pola Parameter Iklim di Indonesia

Kawasan Indonesia dikenal dengan istilah Benua Maritim Indonesia (BMI) karena posisi geografisnya diapit oleh 2 benua yaitu Benua Asia dan Australia serta diapit juga oleh 2 samudera yaitu Samudera Pasifik dan Hindia. Sifat monsoon Indonesia berbeda dengan kawasan monsoon lainnya [5]. Di daerah katulistiwa, penyinaran matahari terjadi selama siang hari rata-rata 12 jam. Perbedaan suhu maksimum dan minimum hanya sebesar 4 °C sehingga tidak dapat ditentukan pola musimannya. Pola suhu hanya terlihat pada pola harian dimana maksimum terjadi pada siang hari dan sebaliknya. Pola angin sangat didominasi oleh sirkulasi Hadley dimana udara naik di daerah katulistiwa kemudian bergerak ke arah lintang sedang dan turun kembali. Selanjutnya bergerak di permukaan ke arah katulistiwa sebagai angin pasat [6].

Berbagai parameter meteorologi (cuaca) yang diawali oleh radiasi matahari diteruskan dengan fluktuasi suhu sehingga mengakibatkan perbedaan tekanan di berbagai tempat menjadi pemicu pergerakan massa udara yang mengandung uap air dari siklus hidrologi, untuk kemudian mengalami proses-proses termodinamik sehingga dapat menjadi awan dan selanjutnya turun ke permukaan bumi sebagai hujan. Secara statistik curah hujan di wilayah beriklim tropis seperti Indonesia merupakan salah satu parameter yang dapat menggambarkan kondisi cuaca secara umum baik jangka pendek maupun jangka panjang.

Secara umum, pola curah hujan Indonesia selama setahun dapat dibagi menjadi 3 klasifikasi sebagai berikut:[6,7,8]

1. Curah Hujan Pola Monsunal

Pola ini dipengaruhi oleh monsun yang dicirikan dengan tipe curah hujan bersifat unimodial (satu puncak musim hujan) yaitu pada bulan Juni, Juli dan Agustus terjadi

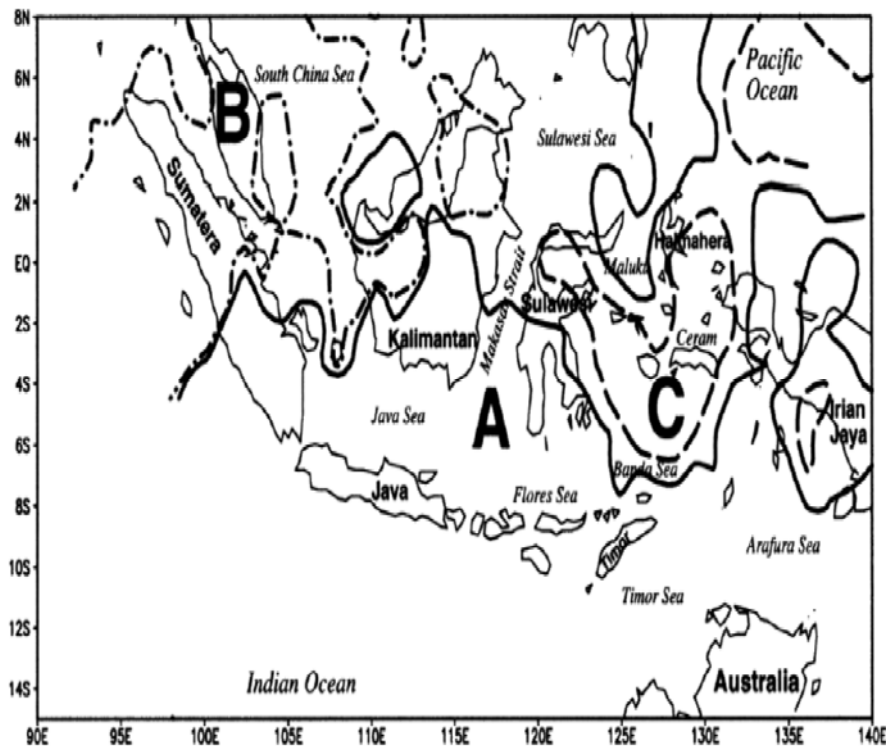
musim kering, sedangkan pada bulan Desember, Januari dan Februari terjadi musim basah. Sedangkan enam bulan sisanya merupakan periode peralihan atau pancaroba (tiga bulan peralihan musim kemarau ke musim hujan dan tiga bulan peralihan musim hujan ke musim kemarau). Daerah yang didominasi oleh pola monsun adalah Sumatra bagian Selatan, Kalimantan Tengah dan Selatan, Jawa, Bali, Nusa Tenggara dan sebagian Papua.

2. Curah Hujan Pola Ekuatorial

Pola ekuatorial dicirikan oleh tipe curah hujan dengan bentuk bimodial (dua puncak hujan) yang biasanya terjadi sekitar bulan Maret dan Oktober. Yang meliputi daerah pulau Sumatra bagian tengah dan Utara serta pulau Kalimantan bagian Utara.

3. Curah Hujan Pola Lokal

Pola lokal dicirikan oleh bentuk pola hujan unimodial (satu puncak hujan), tetapi bentuknya berlawanan dengan tipe hujan monsoon, yang meliputi daerah Maluku, Sulawesi dan sebagian Papua.



Gambar 1. Wilayah iklim Indonesia, Wilayah A (monsun), Wilayah B (ekuatorial) dan Wilayah C (lokal)

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada kegiatan pemantauan meteorologi daerah calon tapak PLTN di Sebagian Pulau Bangka meliputi pemantauan, pengolahan data serta analisis data.

Pemantauan

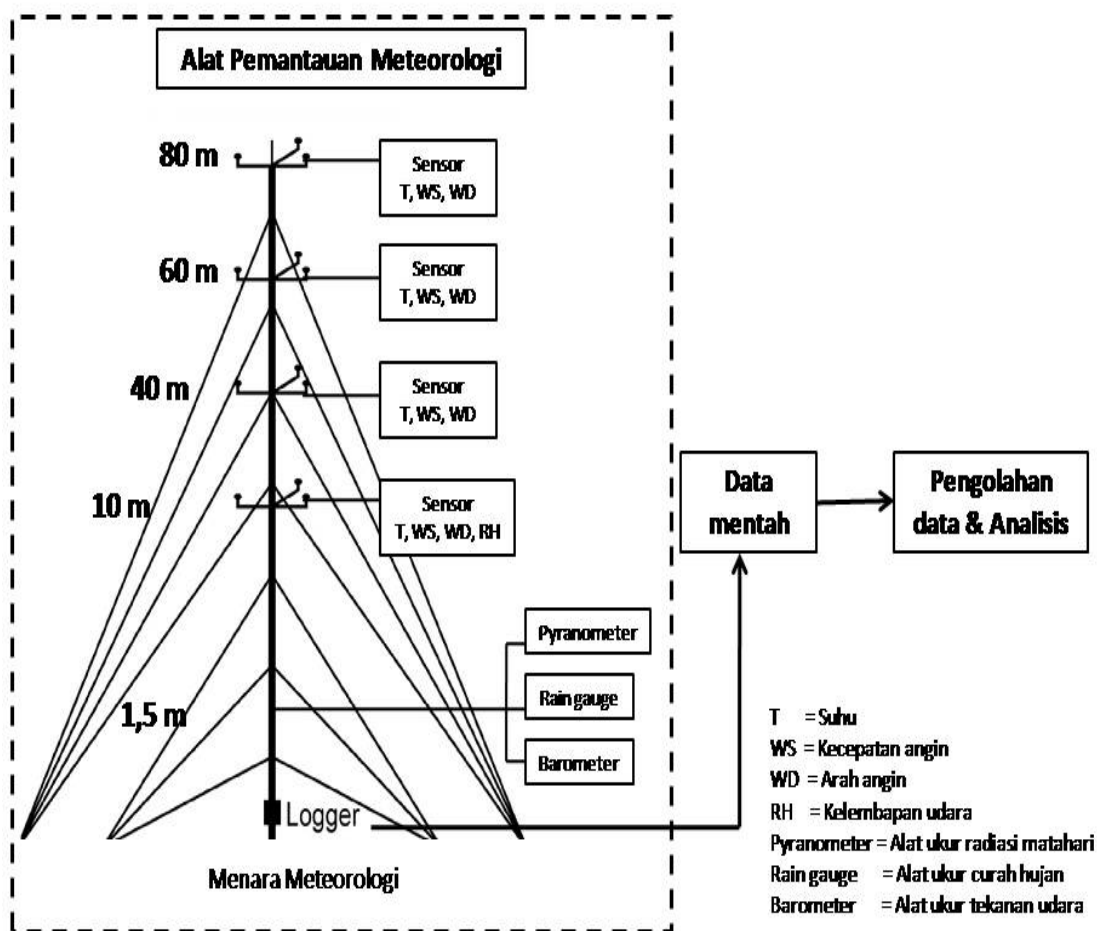
Pemantauan data meteorologi di tapak dilakukan secara terus-menerus. Peralatan yang dipakai adalah *Automatic Weather Station (AWS)* merk Ammonite yang terdiri dari data logger dan sensor. Sensor yang digunakan terdiri dari sensor suhu udara, arah angin, kecepatan angin, kelembapan, tekanan udara, curah hujan dan radiasi matahari. Peralatan dilengkapi dengan bangunan penyimpanan data logger, catu daya berupa aki dan panel matahari serta pagar pengaman [1].

Pengolahan Data

Proses pengolahan data dilakukan dengan membuat tabulasi dari data mentah yang berisi setiap jam setiap hari. Kemudian dilakukan perhitungan nilai maksimum, minimum dan

rata-rata dari parameter suhu udara, radiasi matahari dan curah hujan. Nilai maksimum adalah nilai terbesar yang tercatat oleh alat pemantau, nilai minimum adalah nilai terkecil yang tercatat oleh alat pemantau dan nilai rata-rata adalah hasil perata-rataan nilai yang tercatat oleh alat pemantau dalam periode tertentu [1].

Pada pengolahan data angin dilakukan dengan mengelompokkan frekuensi kejadian angin setiap jam dalam bentuk kombinasi arah dan kecepatan yang ditampilkan dalam kembang angin (*windrose*). Diagram kembang angin (*windrose*) adalah alat yang berguna dalam menganalisis data angin yang berkaitan dengan arah angin pada lokasi tertentu selama jangka waktu tertentu (tahunan, musiman, bulanan, mingguan, dll) [9]. Arah angin pada diagram angin merupakan arah dari mana angin bertiup. Klasifikasi untuk arah angin dibagi menjadi 16 klas arah yang masing-masing arah meliputi $22,5^\circ$ dimulai dari arah Utara berputar searah jarum jam. Sedangkan untuk kecepatan angin klasifikasi dibagi menjadi Calm ($<0,5$ m/s); $0,5 - 2,1$ m/s; $2,1 - 3,6$ m/s; $3,6 - 5,7$ m/s; $5,7 - 8,8$ m/s; $8,8 - 11,1$ m/s dan $\geq 11,1$ m/s.



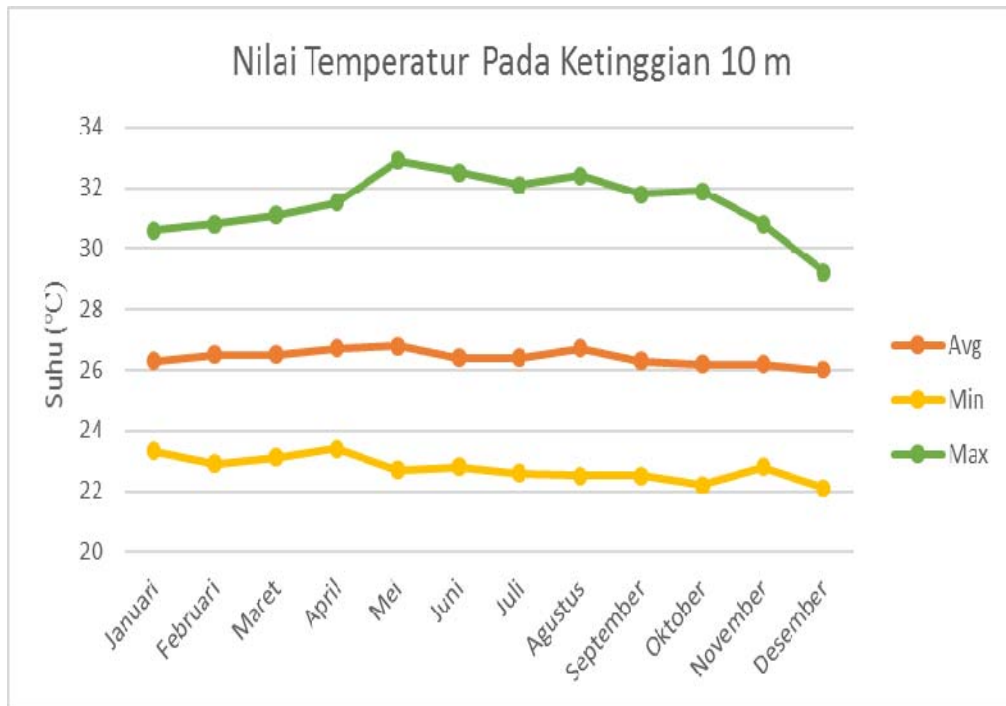
Gambar 2. Skema pemantauan dan pengolahan data meteorologi di Stasiun Sebagin

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemantauan meteorologi sebelumnya (2014-2015) menyatakan bahwa kondisi meteorologi tidak terdapat kejadian ekstrim [10,11]. Sedangkan hasil pemantauan meteorologi untuk tahun 2016 dibahas pada makalah ini sebagai berikut:

Suhu udara

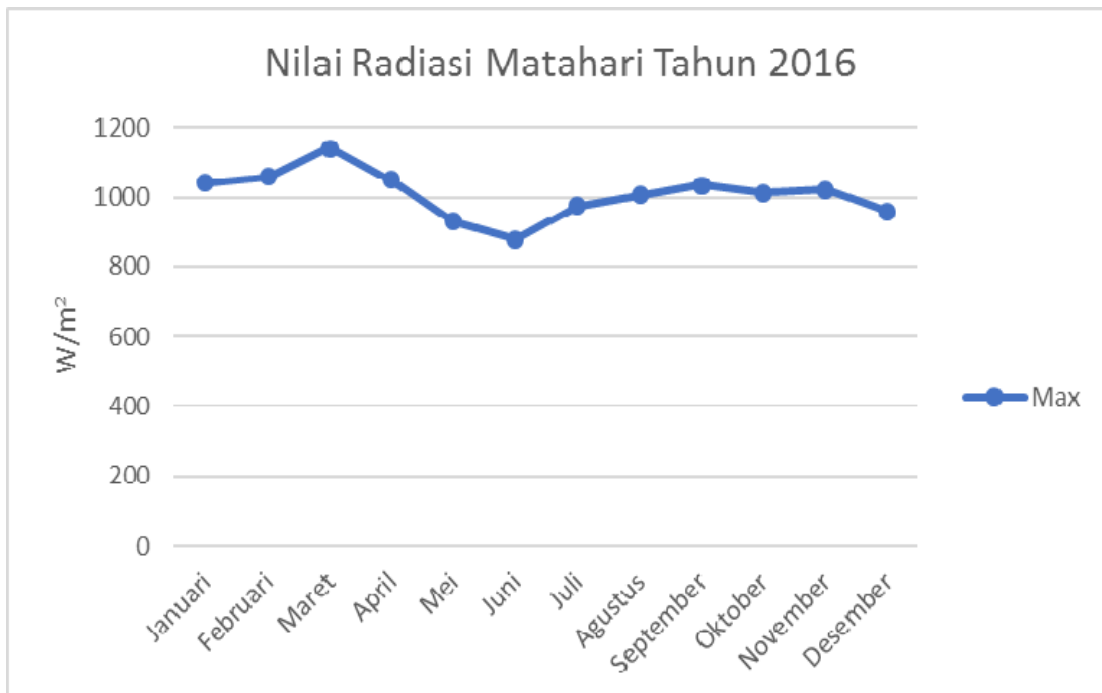
Nilai suhu udara pada ketinggian 10 m selama tahun 2016 ditunjukkan pada Gambar 2. Nilai suhu maksimum sebesar $32,9^\circ\text{C}$ pada bulan Mei dan suhu minimum sebesar $22,2^\circ\text{C}$ pada bulan Oktober. Sedangkan nilai suhu rata-rata dalam satu tahun adalah sebesar $26,42^\circ\text{C}$.



Gambar 3. Grafik nilai suhu pada ketinggian 10 m tahun 2016 di Stasiun Sebagin

Radiasi Matahari

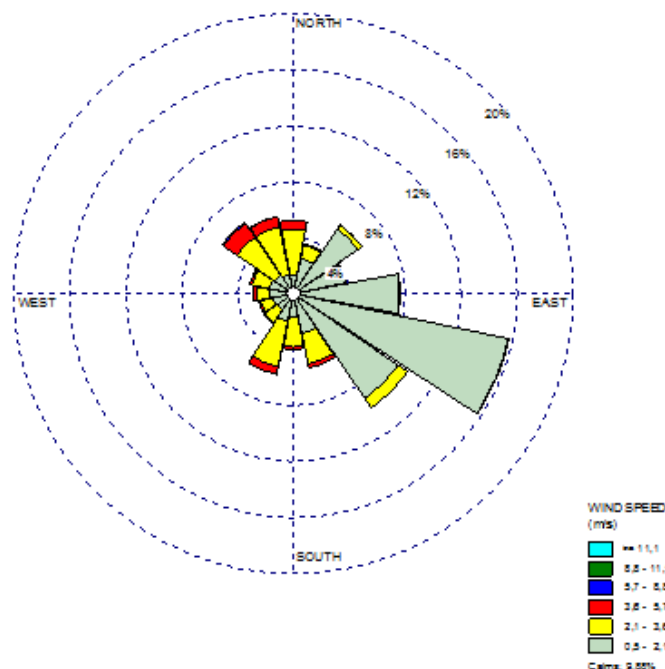
Secara umum wilayah Indonesia mempunyai tingkat radiasi matahari yang tinggi. Sesuai dengan matahari terbit dan tenggelam, maka kondisi radiasi matahari maksimum, minimum dan rata-rata selama satu hari mulai bertambah pada pukul 06.00 WIB dan mencapai maksimum pada pukul 11.00 WIB, kembali berkurang sampai pukul 17.00 WIB. Dari Gambar 3. dapat dilihat nilai radiasi matahari maksimum pada tahun 2016 adalah sebesar 1142 W/m^2 pada bulan Maret.



Gambar 4. Grafik nilai radiasi matahari tahun 2016 di Stasiun Sebagin

Arah dan Kecepatan Angin

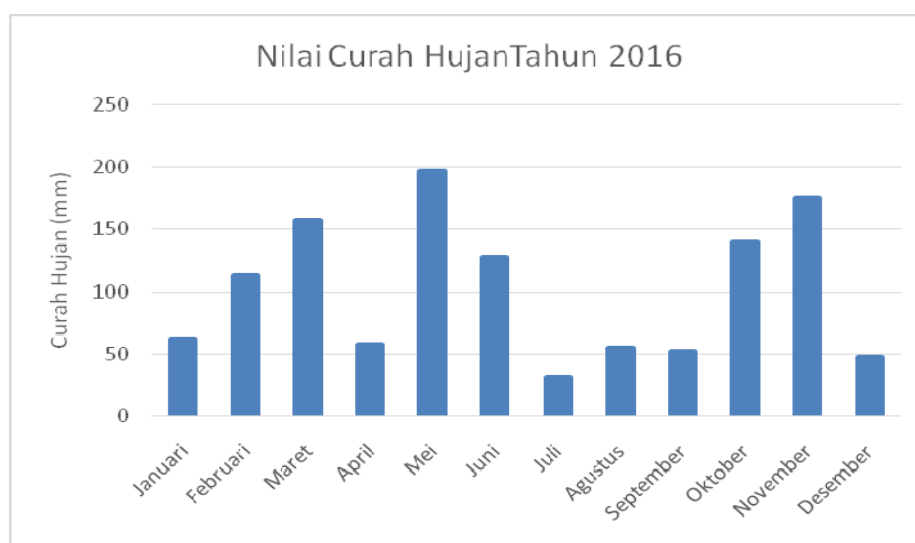
Pada Gambar 4. ditunjukkan gambar kembang angin (*wind rose*) ketinggian 10 m pada tahun 2016 di stasiun pemantauan Sebagin. Kondisi angin didominasi oleh angin dari arah Tenggara dengan klasifikasi kecepatan angin pada ketinggian 10 m pada kisaran 0,5 – 2,1 m/s. Sedangkan pada arah angin Barat Laut, kecepatan angin maksimum berada pada kisaran 2,1 – 3,6 m/s. Kecepatan maksimum terjadi pada bulan Oktober.



Gambar 5. Kembang angin pada ketinggian 10 m tahun 2016 di Stasiun Sebagin

Curah Hujan

Kejadian curah hujan di stasiun Sebagin pada tahun 2016 yang ditunjukkan pada Gambar 5. Diperoleh total curah hujan maksimum dalam satu bulan sebesar 196,8 mm pada bulan Mei. Sedangkan total curah hujan minimum dalam satu bulan sebesar 30,9 mm pada bulan Juli.



Gambar 6. Grafik nilai curah hujan tahun 2016 di Stasiun Sebagin

Berdasarkan pengolahan data, diperoleh suhu udara rata-rata maksimum pada tahun 2016 terjadi pada bulan Mei yaitu sebesar 26,8°C. Suhu ini merupakan suhu udara harian di daerah sekitar pantai Sebagian. Data radiasi matahari diperoleh nilai maksimum terjadi pada bulan Maret. Hal ini berkaitan dengan posisi matahari tepat berada di atas garis katulistiwa pada akhir bulan Maret dan akhir bulan September. Sehingga pada waktu tersebut suhu udara dan radiasi matahari mencapai nilai maksimum.

Kemudian untuk hasil pengolahan data curah hujan menunjukkan bahwa dengan semakin bertambahnya curah hujan pada bulan Maret, kemudian mencapai puncak pada bulan Mei dan mulai berkurang pada bulan Juni kemudian bertambah kembali mulai bulan Oktober dan terakhir berkurang kembali pada bulan Desember. Berdasarkan kondisi curah hujan pada stasiun Sebagian merupakan periode peralihan musim kemarau ke musim hujan. Maka curah hujan di Sebagian dapat dikategorikan mengikuti pola musonal, ini sesuai dengan gambar wilayah iklim 2 pada Gambar 1. terjadi dua puncak hujan yaitu pada bulan Mei dan Oktober atau November, maka dapat dikategorikan bahwa pola curah hujan di Sebagian adalah mengikuti pola musonal. Curah hujan mulai bertambah pada bulan Maret kemudian menurun pada bulan Desember. Nilai curah hujan maksimal dari hasil pemantauan sebesar 70 mm pada tahun 2016.

Perka BAPETEN No. 6 Tahun 2014 tentang evaluasi tapak instalasi nuklir untuk aspek meteorologi dan hidrologi menyebutkan bahwa tidak diperbolehkan adanya nilai ekstrem dalam parameter meteorologi. Dari hasil pengolahan data meteorologi tersebut menunjukkan bahwa nilai parameter meteorologi yang meliputi, suhu udara, radiasi matahari, curah hujan, arah angin dan kecepatan angin tidak terdapat nilai ekstrim, sehingga Sebagian masih layak sebagai calon tapak PLTN.

KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan data meteorologi di stasiun Sebagian Pulau Bangka, secara keseluruhan data tahun 2016 berada pada kategori baik. Nilai suhu maksimum sebesar 32,9°C, nilai radiasi matahari maksimum sebesar 1142 W/m² dan nilai curah hujan minimum sebesar 30,9 mm. Arah angin didominasi dari arah tenggara dengan nilai kecepatan angin pada kisaran 0,5 – 2,1 m/s. Pola curah hujan di Sebagian termasuk pola ekuatorial. Nilai-nilai parameter ini termasuk dalam kondisi normal dan mengikuti pola umum serta tidak terdapat nilai ekstrim.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional. Makalah ini merupakan bagian dari diseminasi hasil Pemantauan Tapak PLTN di Pulau Bangka pada kegiatan PKSEN-BATAN.

DAFTAR PUSTAKA

1. LAPORAN TEKNIS PKSEN, "Laporan Akhir: Pemantauan Tapak PLTN di Pulau Bangka", PKSEN-BATAN, Jakarta (2016).
2. Perka BAPETEN, "Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir Untuk Aspek Meteorologi dan Hidrologi", Perka BAPETEN no. 6 tahun 2014, BAPETEN.
3. LAPORAN TEKNIS PKSEN, "Laporan Teknis: Penyiapan dan Pemantauan Meteorologi Tapak PLTN di Pulau Bangka", Jakarta (2014).
4. IAEA-SSG-18, "Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations", IAEA, Vienna (2011).
5. RAMAGE, C.S., "Monsoon Meteorology", Academic Press, New York and London, (1971).
6. MCGREGOR, G.R., "Tropical Meteorology: An Introduction to The Climates of the Low Latitudes, John Wiley & Sons, England, (1998).
7. HERMAWAN E., "Pengelompokan Pola Curah Hujan Yang Terjadi Di Beberapa Kawasan P. Sumatera Berbasis Hasil Analisis Teknik Spektral", Jurnal Meteorologi dan Geofisika, Vol. 11, No. 2, Hal. 75-85 (2010).
8. BERLIAN S., dkk, "Analisis Pola Curah Hujan Indonesia Berbasis Luaran Model Sirkulasi Global (GCM)", Jurnal Sains Dirgantara, Vol. 4 No. 2, LAPAN, Bandung, (2007).
9. ALDRIAN E. and SUSANTO RD., "Identification of Three Dominant Rainfall Regions within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature, Int. J. Climatol. 23, hal 1435-1452, (2003).

10. LAPORAN TEKNIS PKSEN, "Penyiapan dan Pemantauan Tapak PLTN di Pulau Bangka: Pemantauan Meteorologi", PKSEN-BATAN, Jakarta (2014).
11. LAPORAN TEKNIS PKSEN, "Laporan Akhir: Pemantauan Tapak PLTN di Pulau Bangka", PKSEN-BATAN, Jakarta (2015).
12. TONG WEI., "Fundamentals of Wind Energy", WIT Transactions on State of The Art in Science and Engineering, Vol. 44, Virginia (2010).
13. Septiadi D., "Meteorological Measuring Methods Related to Nuclear Power Plant (NPP)", BMKG, Agustus, Serpong (2017).
14. Yuniarto A., "Insfrastucture of Ambient Radiation Monitoring Sytem in Serpong Nuclear Area", PPIKSN-BATAN, Agustus, Serpong (2017).

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: Sufiana Solihat (PKSEN–BATAN)

- Berdasarkan Perka BAPETEN No. 6 tahun 2016, tidak boleh ada nilai ekstrem pada parameter meteorologi. Jika suatu daerah selama ini parameter meteorologinya memenuhi syarat, akan tetapi pada suatu ketika terjadi suatu fenomena yang menyebabkan terjadinya nilai ekstrem, apakah masih layak menjadi calon tapak PLTN?

JAWABAN: Denissa Beauty Syahna (PKSEN - BATAN)

- *Sebenarnya aspek meteorologi bukan yang menentukan layak atau tidaknya suatu tapak PLTN, pemantauan meteorologi ini untuk memantau fenomena meteorologi yang dapat menyebabkan bahaya dan mempengaruhi keselamatan instalasi nuklir.*

DESAIN DASHBOARD UNTUK Mendukung Proses Pengambilan Keputusan Pemasangan Kapasitor Daya pada Saluran 20 kV di Sekitar Wilayah PLTN.

Rizki Firmansyah Setya Budi, Wiku Lulus Widodo
BATAN, Kuningan Barat, Jakarta Selatan 12710
rizkifirmansyah@batan.go.id

ABSTRAK

DESAIN DASHBOARD UNTUK Mendukung Proses Pengambilan Keputusan Pemasangan Kapasitor Daya pada Saluran 20 kV di Sekitar Wilayah PLTN. Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan optimasi penentuan letak dan ukuran kapasitor daya untuk perbaikan tegangan saluran 20 kV di sekitar PLTN. Hasil penelitian tersebut berupa tabel aliran daya. Penyajian hasil dalam bentuk tabel mengakibatkan pengguna sulit memahami dan menyebabkan kesalahan dalam pengambilan keputusan. Permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan menggunakan dashboard. Tujuan penelitian ini adalah membuat dashboard dengan menggunakan desain yang baik agar pengguna dapat mengambil keputusan yang tepat. Penelitian ini dilakukan dengan cara: studi literatur, analisis penentuan KPI, analisis desain dashboard, dan pembuatan dashboard. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dashboard telah di buat dengan menggunakan desain yang baik, dengan indikator telah mencakup key performance indicator dan prinsip visualisasi data. Penggunaan dashboard ini akan mempermudah pengguna dalam proses pengambilan keputusan pemasangan kapasitor daya pada saluran 20 kV di sekitar wilayah PLTN.

Kata kunci: dashboard, pengambilan keputusan, kapasitor daya, saluran 20 kV, PLTN

ABSTRACT

DASHBOARD DESIGN TO SUPPORT DECISION MAKING PROCESS OF POWER CAPACITORS INSTALLATION IN 20 KV LINES AROUND NUCLEAR POWER PLANT AREA. In the previous research, optimization has been done to determine the location and the size of the power capacitor to repair the voltage of 20 kV line around of Nuclear Power Plant. The result of the previous research is a table of load flow. The tabular form of the result will make the user difficult to understand and cause an error in decision making process. These problems can be solved by using the dashboard. The purpose of this research is to create a good design dashboard so the user can make the right decision. This research was conducted by literature study, KPI analysis, dashboard design analysis, dashboard making process. The results show that the dashboard has been created by using a good design. The good design indicators are the design include the KPI and data visualization principles. The use of this dashboard will facilitate the user in decision making process of power capacitor installation on a 20 kV lines around the Nuclear Power Plant area.

Keywords: dashboard, decision making, power capacitor, channel 20 kV, NPP

PENDAHULUAN

Pada penelitian sebelumnya oleh penulis, telah dilakukan optimasi penentuan letak dan ukuran kapasitor daya untuk perbaikan tegangan saluran 20 kV di sekitar wilayah PLTN[1]. Hasil dari penelitian tersebut adalah aliran daya setelah pemasangan kapasitor, ukuran dan letak kapasitor daya. Tabel 1 menunjukkan contoh hasil optimasi penempatan kapasitor.

Data yang ditampilkan pada Tabel 1 adalah daya aktif tiap bus, daya reaktif tiap bus, beban tiap bus baik aktif maupun reaktif, tegangan tiap bus, sudut fase tiap bus, dan injeksi daya reaktif tiap bus. Selain data yang terlalu banyak tersebut. Penampilan data dalam bentuk tabel kurang menarik untuk dilihat. Jumlah data yang terlalu banyak dan desain penampilan yang kurang menarik akan menyebabkan pengambil keputusan mendapatkan informasi yang kurang tepat sehingga dapat berpengaruh terhadap keputusan yang diambil[2]. Permasalahan tersebut dapat diselesaikan dengan membuat *dashboard* dengan desain yang baik.

Dashboard adalah sebuah mekanisme pelaporan yang menampilkan data-data penting secara menarik dan informatif serta disajikan secara utuh dalam satu layar monitor[3,4]. Penyajian data secara utuh dalam satu layar bertujuan agar pengambil keputusan dapat melihat seluruh hasil dalam waktu yang sekejap.

Penentuan data-data yang akan ditampilkan dalam *dashboard* dilakukan dengan menggunakan analisis *key performance indicators* (KPI). Analisis KPI adalah analisis terhadap data yang mempunyai pengaruh penting terhadap sistem[5]. Dengan menggunakan analisa KPI maka dapat ditentukan data yang akan ditampilkan di dalam *dashboard*.

Tabel 1. Hasil Optimasi Penempatan Kapasitor.

No. Bus	Pembangkit		Beban		V (pu)	Sudut (°)	Faktor Daya	Injeksi Q (KVAr)
	P (KW)	Q (KVAr)	P (KW)	Q (KVAr)				
1	7256,1	439,4	1187	629	1,02	0	0,99	0
2	0	0	1246	650	0,99	-3,90	0,99	1170
3	0	0	919	480	0,98	-5,75	0,99	0
4	0	0	1015	536	0,98	-5,79	0,98	1820
5	0	0	805	421	0,98	-6,04	0,99	350
6	0	0	878	465	0,98	-5,93	0,96	240
7	0	0	969	507	0,98	-6,03	0,98	330
Total Pembangkitan (KW+jKVAr)							7256,1	439,4
Total Pembebanan (KW+jKVAr)							7019	3688
Total Rugi-Rugi Saluran (KW+jKVAr)							238,06	559,38

Tidak adanya standar dalam pembuatan *dashboard* menyebabkan desain *dashboard* sangat bervariasi[2]. Pembuatan desain *dashboard* bergantung pada tujuan dan fungsi dari *dashboard*[6,7], matriks data yang ditampilkan[7,8], dan pengguna[9-11]. Meskipun dalam pembuatan *dashboard* tidak mempunyai standar, pembuatan *dashboard* yang baik tetap mengacu pada prinsip-prinsip visualisasi data[9,12-16] dan aspek psikologi pengguna[10,11,17].

Penelitian [18] menggunakan *dashboard* untuk memantau penggunaan energi sebuah kampus. Manfaat penggunaan *dashboard* tersebut adalah dapat dilakukan penghematan penggunaan energi berdasarkan pola konsumsi energi. Hasil menunjukkan bahwa penggunaan *dashboard* tersebut dapat mendorong perilaku hemat energi. Penghematan penggunaan energi listrik antara 7-10% dan 50% untuk penggunaan gas alam. Jenis *dashboard* ini dikategorikan sebagai *operational dashboard* yang mempunyai fungsi utama untuk pemantauan secara *real time*. Contoh lain penggunaan *operational dashboard* adalah penelitian yang dilakukan oleh Candra[19]. Penelitian tersebut menggunakan *dashboard* untuk memantau keadaan kesehatan lansia. Dengan menggunakan *dashboard* tersebut maka dapat diketahui kondisi kesehatan setiap lansia dan tipe pelayanan yang diperlukan oleh lansia.

Penelitian [20] menggunakan *dashboard* dalam proses analisa hasil peleburan plastik untuk dicetak menjadi sebuah produk. *Dashboard* jenis ini dikategorikan sebagai *analytical dashboard*. Untuk mendukung proses analisis produk tersebut maka *dashboard* dilengkapi dengan berbagai mode untuk proses analisa produk. Setiap mode terdapat data input yang dapat diganti sesuai dengan kebutuhan dan dapat dilihat perbedaannya (what if analysis). Contoh lain penggunaan *analytical dashboard* adalah penelitian [21]. Penelitian [21] menggunakan *dashboard* untuk mengatur putaran motor. Proses pengaturan tersebut menggunakan *adaptive control algorithm*.

Penelitian yang dilakukan oleh Jian menggunakan *dashboard* untuk memeriksa kondisi keuangan dan kelayakan strategi yang akan diambil[20]. Seorang manajer dengan menggunakan *dashboard* ini, dapat menentukan langkah strategis perusahaan dengan mempertimbangkan kondisi keuangan dan keuntungan yang diperoleh. *Dashboard* jenis ini dikategorikan *strategic dashboard*.

Pada penelitian ini akan dilakukan pembuatan desain *dashboard* berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan sebelumnya[1]. Penelitian tersebut bertujuan untuk memberikan gambaran perencanaan pemasangan kapasitor daya dalam rangka perbaikan tegangan kepada manajer pengambil keputusan. Berdasarkan hal tersebut, *dashboard* pada penelitian ini termasuk ke dalam *strategic dashboard*.

Tujuan penelitian ini adalah membuat *dashboard* hasil penelitian [1] dengan menggunakan desain yang baik agar manajer pengambil keputusan dapat melihat dan mempertimbangkan faktor-faktor penting dalam proses pengambilan keputusan. Dengan pertimbangan yang tepat, diharapkan manajer pengambil keputusan dapat mengambil keputusan yang tepat. Penelitian ini dilakukan dengan cara: studi literatur, analisis penentuan KPI, analisis desain *dashboard*, dan pembuatan *dashboard*.

TEORI DAN POKOK BAHASAN

Penentuan KPI

KPI adalah indikator yang berperan penting terhadap kesuksesan sebuah proyek atau aktifitas. Sebuah indikator dapat dijadikan sebagai KPI adalah apabila indikator tersebut dapat diukur (*measurable and quantifiable*), dapat disesuaikan (*adjustable*), dapat dikontrol (*controllable*), menyebabkan perubahan yang berarti terhadap hasil (*actionable*), dan berhubungan dengan kesuksesan proyek (*relevant*)[5].

Penentuan KPI memperhatikan faktor kepentingan dari *stakeholder* terkait[23-25]. *Stakeholder* dalam bisnis kelistrikan di Indonesia adalah masyarakat sebagai konsumen listrik dan PT. PLN (Pesero) sebagai produsen listrik. Kebutuhan masyarakat akan energi listrik adalah mendapatkan pasokan energi listrik dengan kualitas yang baik dan murah. Sedangkan PT. PLN (Pesero) sebagai produsen listrik mempunyai tujuan untuk menyelenggarakan usaha penyediaan tenaga listrik dengan kualitas yang memadai dan memupuk keuntungan[26].

Berdasarkan dua *stakeholder* tersebut dapat diperoleh indikator kunci yang berpengaruh terhadap unjuk kerja (KPI) dalam bisnis kelistrikan adalah kualitas sistem tenaga listrik dan keuntungan perusahaan. Sedangkan harga yang murah untuk kondisi sistem tarif subsidi saat ini, tidak dapat dijadikan KPI. Harga listrik dapat dijadikan KPI jika harga ditetapkan bebas tanpa ada subsidi pemerintah dan berubah mengikuti biaya pokok pembangkitan.

Aspek tegangan adalah salah satu indikator yang menunjukkan tingkat kualitas sistem tenaga listrik[27]. Standar tegangan untuk saluran 20 kV ke atas yang digunakan PT. PLN (Pesero) adalah $V_{operasi} \pm 5\%$ [28]. Nilai tegangan yang berada diluar rentang nilai tersebut adalah tegangan yang tidak sesuai standar. Tegangan yang di luar batas standar tersebut dibagi menjadi 2 macam, yaitu *marginal* dan *critical*. Tegangan *marginal* adalah tegangan yang berada di luar batas ideal akan tetapi masih bisa diterima. Tegangan *marginal* berada di rentang nilai $90-94.9\% V_{operasi}$.

Perbaikan mutu tegangan dapat dilakukan dengan pemasangan kapasitor daya [29,30]. Penelitian [1] telah melakukan optimasi penentuan letak dan ukuran kapasitor daya untuk perbaikan mutu tegangan. Proses optimasi dilakukan dengan metode algoritma genetik. Hasil utama dari penelitian tersebut adalah lokasi penempatan dan ukuran kapasitor yang akan dipasang.

Aspek ekonomi sangat menentukan sebuah proyek layak dikerjakan atau tidak[31-33]. Salah satu parameter kelayakan dari aspek ekonomi adalah *payback period*. *Payback period* adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan biaya investasi dengan cara biaya investasi dikurangi dengan pendapatan yang diperoleh. Semakin cepat *payback period*, semakin baik investasi proyek tersebut[34]. *Payback period* dipengaruhi oleh *net present value*(NPV), *interest rate*, dan *internal rate of return* (IRR).

Berdasarkan uraian di atas, dapat ditentukan KPI pada penelitian [1] adalah aspek kualitas sistem dan aspek ekonomi proyek. Matriks data yang mewakili aspek kualitas sistem adalah kondisi tegangan di dalam sistem (*ideal*, *marginal*, dan *critical*), dan ukuran serta lokasi pemasangan kapasitor. Matriks data yang mewakili aspek ekonomi proyek adalah neraca keuangan proyek untuk mengetahui *payback period*.

Pemodelan Dashboard

Tujuan pembuatan *dashboard* adalah untuk mengubah data mentah menjadi data yang mempunyai informasi yang berarti, mudah dipahami, dan berguna dalam proses pengambilan keputusan[5]. Pembuatan *dashboard* dengan desain yang baik merupakan faktor penting agar tujuan pembuatan *dashboard* tercapai.

Berdasarkan tujuan dan fungsi, *dashboard* dapat dibedakan menjadi 3 kategori: *strategic dashboard*, *analytical dashboard*, dan *operational dashboard*[2]. Tiap kategori tersebut akan mempunyai desain yang berbeda. Desain *strategic dashboard* mempunyai kriteria sebagai berikut: fokus pada indikator yang berpengaruh penting saja, menyajikan

tampilan data statis, terdapat perbandingan dengan target, evaluasi dari unjuk kerja, dan keuntungan yang didapatkan[2].

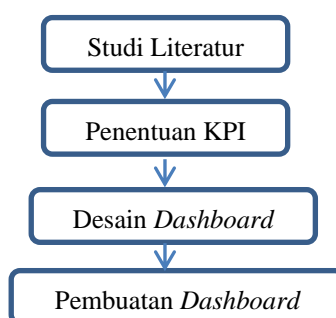
Selain mempertimbangkan tujuan dan fungsi, desain *dashboard* mempertimbangkan juga matriks data yang ditampilkan dan pengguna[7-11]. Penampilan matriks data dalam bentuk grafik memberikan manfaat dan informasi yang lebih dibandingkan dengan data tabel. Penampilan matriks data dalam data tabel akan lebih membingungkan pengambil keputusan[35,36]. Penggunaan grafik 3D sebaiknya dihindari dan lebih diutamakan grafik 2D. Penggunaan grafik 3D akan meningkatkan kompleksitas visualisasi. Grafik yang digunakan lebih baik yang sederhana sehingga akan mengurangi kompleksitas visualisasi. Kompleksitas visualisasi akan mengurangi efisiensi visualisasi. Efisiensi visualisasi adalah tingkat kemampuan memahami data dalam kurun waktu tertentu. Semakin kompleks grafik akan membutuhkan waktu yang lama untuk dipahamdi. Hal tersebut bertentangan dengan prinsip *dashboard* dapat dipahami dalam waktu singkat[37].

Penentuan data yang ditampilkan di dalam satu grafik berdasarkan keterkaitan informasi yang ditampilkan dalam data. Data yang mempunyai informasi saling berkaitan ditampilkan dalam satu grafik sehingga dapat diperoleh informasi yang diinginkan. Data yang tidak berkaitan ditampilkan dengan grafik yang berbeda sehingga tidak menimbulkan penafsiran yang menghasilkan informasi yang tidak tepat[3]. Penampilan data dalam satu grafik dapat dibedakan dengan bentuk, warna, posisi, dan keterangan[38]. Grafik ditampilkan dilengkapi dengan keterangan (unit, label, dan lain-lain) sehingga tidak membingungkan[2].

Pengguna *strategic dashboard* membutuhkan informasi singkat tentang kelayakan proyek, kondisi keuangan dan manfaat yang diperoleh. Beberapa hal tersebut akan lebih mudah dipahami jika ditampilkan dalam bentuk grafik[35-36]. Data-data yang bersifat kontinyu ditampilkan dalam bentuk grafik garis sehingga pengguna dapat melihat *trend line* nya. Sedangkan data yang bersifat diskret ditampilkan dengan diagram batang[3]. Selain membutuhkan kebutuhan informasi singkat, pengguna *strategic dashboard* juga membutuhkan analisis sensitivitas untuk mendapatkan alternatif solusi lainnya[2]. Pengguna *strategic dashboard* tidak hanya 1 pengambil keputusan. Pada penelitian ini pengguna *dashboard* adalah manajer keuangan, manajer teknik, dan manajer perencanaan. Untuk mendiskusikan hasil analisis sensitivitas yang dilakukan, maka dibutuhkan media *dashboard* yang dapat diakses kapanpun dan dimanapun. Permasalahan ini dapat diselesaikan dengan *dashboard* berbasis *web*.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan cara: studi literatur, analisis penentuan KPI, analisis desain dashboard, dan pembuatan dashboard. Gambar 1 menunjukkan *flowchart* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Studi literatur dilakukan untuk mendapatkan teori-teori tentang *dashboard* dan KPI. Dengan menggunakan teori tentang KPI, maka dapat dilakukan analisis KPI untuk mendapatkan data yang akan ditampilkan dalam *dashboard*. Penentuan KPI dilakukan berdasarkan analisis KPI sehingga didapatkan data-data yang penting untuk ditampilkan. Berdasarkan analisis KPI yang telah dilakukan, dapat ditentukan KPI pada penelitian [1] adalah aspek kualitas sistem dan aspek ekonomi proyek. Matriks data yang mewakili aspek kualitas sistem adalah kondisi tegangan di dalam sistem (*ideal*, *marginal*, dan *critical*), dan ukuran serta lokasi pemasangan kapasitor. Matriks data yang mewakili aspek ekonomi proyek adalah neraca keuangan proyek untuk mengetahui *payback period*.

Berdasarkan data-data yang akan ditampilkan tersebut, dilakukan analisis desain *dashboard*. Analisis desain *dashboard* dilakukan untuk menentukan desain yang baik dan cocok untuk data yang akan ditampilkan. Setelah diperoleh desain yang baik dan cocok tersebut, maka dilakukan pembuatan *dashboard*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

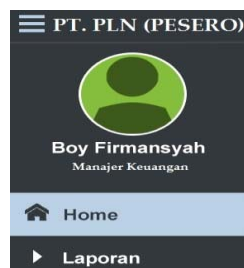
Berdasarkan analisis penentuan KPI dan pemodelan *dashboard*., diperoleh desain *dashboard* untuk optimasi pemasangan kapasitor daya. Desain *dashboard* tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.

Dashboard didesain berbasis *web* agar dapat diakses kapan pun dan dimana pun sehingga memudahkan koordinasi antar pengambil keputusan. Pemilihan warna dalam *dashboard* menggunakan variasi intensitas warna yang berpengaruh terhadap kenyamanan dan efisiensi visualisasi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian [3,38] tentang optimasi pemilihan warna *dashboard*.



Gambar 2. *Dashboard* Optimasi Pemasangan Kapasitor Daya

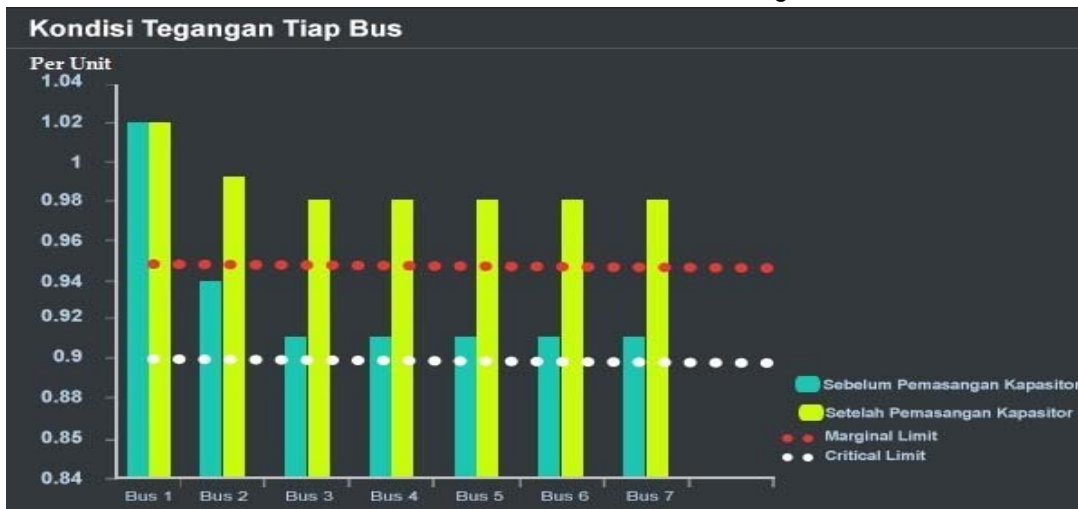
Gambar 3 menunjukkan pilihan menu dan identitas pengguna *dashboard*. *Strategic dashboard* hanya diperuntukkan kepada pengambil keputusan. Dalam penelitian ini, pengambil keputusan adalah manajer keuangan, manajer teknik, dan manajer perencanaan.



Gambar 3. Tampilan Pilihan Menu dan Pengguna

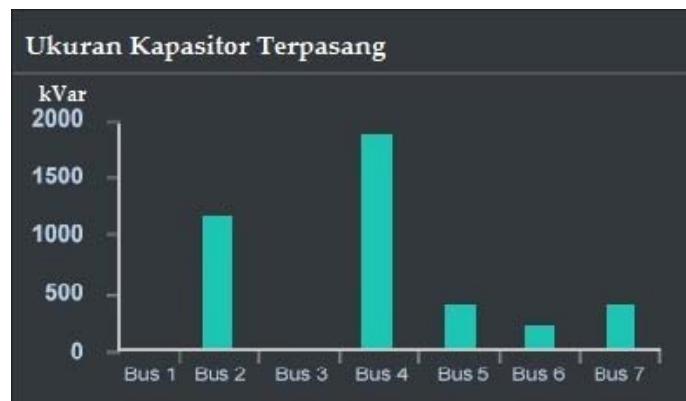


Gambar 4. Grafik Rencana Keuangan



Gambar 5. Kondisi Tegangan Tiap Bus

Oleh karena itu diperlukan identitas pengguna agar tidak semua orang dapat mengakses *dashboard* ini. Dengan kata lain pengguna diwajibkan *login* terlebih dahulu. Sedangkan pilihan menu diperlukan agar pengguna lebih mudah mencari lokasi *dashboard* yang diinginkan.



Gambar 6. Ukuran Kapasitor Terpasang

Gambar 4, 5, dan 6 menunjukkan grafik-grafik yang mewakili KPI optimasi pemasangan kapasitor. Tiap grafik tersebut mempunyai informasi masing-masing dan digunakan oleh masing-masing manajer.

Gambar 3 menunjukkan grafik neraca keuangan. Grafik neraca keuangan merupakan KPI aspek ekonomi proyek. Sumbu x mewakili bulan berjalan dan sumbu y mewakili nilai uang dalam juta rupiah. Tiga matriks data yang ditampilkan dalam grafik ini adalah biaya investasi kapasitor, keuntungan pemasangan kapasitor, dan saldo keuangan. Saldo keuangan diperoleh dengan menggunakan persamaan 1.

$$SK_i = BI - \sum_{j=1}^n KP \quad (1)$$

- Dengan : SK_i = Saldo keuangan bulan ke i
- BI = Biaya investasi kapasitor
- KP = Keuntungan pemasangan kapasitor bulan ke i
- n = Umur kapasitor

Ketiga data tersebut disajikan dengan warna yang berbeda agar dapat dibedakan. Pemilihan jenis grafik untuk masing-masing data disesuaikan dengan tipe data. Matriks data biaya investasi dan keuntungan pemasangan kapasitor menggunakan grafik diagram batang

karena datanya mempunyai tipe diskret. Sedangkan matriks data saldo keuangan mempunyai tipe kontinyu dari bulan satu ke bulan lainnya sehingga menggunakan grafik diagram garis. Penggunaan grafik diagram garis ini bertujuan agar dapat diamati trend nya.

Grafik neraca keuangan digunakan oleh manajer keuangan dan perencanaan untuk menentukan kelayakan proyek pemasangan kapasitor. Kelayakan dapat dilihat dari nilai *payback period*. Nilai *payback period* pemasangan kapasitor ini adalah 6 bulan (lebih kecil dari umur pemakaian kapasitor) sehingga layak secara ekonomi untuk dilakukan.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Budi, hasil neraca keuangan tidak ditampilkan[1]. Hal tersebut akan menyebabkan pengambil keputusan khususnya manajer keuangan dan perencanaan kesulitan untuk menentukan proyek pemasangan kapasitor daya tersebut layak atau tidak secara ekonomi.

Gambar 4 menunjukkan grafik kondisi tegangan tiap *bus*. Grafik kondisi tegangan merupakan KPI aspek kualitas sistem. Sumbu x mewakili lokasi *bus* sistem dan sumbu y mewakili nilai tegangan dalam satuan per unit (pu). Matriks data yang ditampilkan pada grafik ini adalah tegangan tiap *bus* sebelum pemasangan kapasitor, tegangan tiap *bus* setelah pemasangan kapasitor daya, batas tegangan *marginal*, dan batas tegangan *critical*. Setiap matriks data dibedakan warna nya berdasarkan prinsip variasi intensitas warna. Pemilihan jenis grafik ditentukan berdasarkan tipe data tersebut diskret atau kontinyu. Data tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor berjenis data diskret sehingga ditampilkan dengan menggunakan diagram batang sedangkan batas tegangan baik *marginal* maupun *critical* berjenis data kontinyu sehingga ditampilkan dengan menggunakan diagram garis.

Grafik tegangan tiap bus digunakan oleh manajer perencanaan dan manajer teknik untuk menentukan kelayakan proyek dari segi kualitas sistem. Proyek pemasangan kapasitor dikatakan layak jika dapat memperbaiki tegangan sehingga semua tegangan di semua *bus* sistem berada di daerah ideal. Selain itu informasi penting yang diperlukan adalah sebesar apa perbaikan yang dapat dilakukan dengan pemasangan kapasitor. Hal tersebut dapat dilihat dengan perbandingan kondisi tegangan sebelum dan sesudah pemasangan kapasitor.

Dengan menggunakan *dashboard* ini maka secara cepat dapat dilihat pada grafik 4, semua tegangan di *bus* sistem berada di kondisi ideal setelah pemasangan kapasitor. Selain itu dapat dilihat perbandingan kondisi sebelum dan sesudah pemasangan. Sebelum pemasangan kapasitor, terdapat 6 *bus* yang tegangannya berada di daerah *marginal*. Dengan pemasangan kapasitor, maka semua tegangan *bus* menjadi ideal sesuai standar yang telah ditetapkan. Berdasarkan hal tersebut maka proyek pemasangan kapasitor dinyatakan layak secara aspek kualitas sistem.

Pada penelitian sebelumnya hasil masih berupa tabel yang mengharuskan pengguna melihat secara teliti dan membutuhkan waktu yang lama. Tidak ada perbandingan dengan kondisi sebelum pemasangan kapasitor dan tidak ada nilai batasan tegangan baik *marginal* maupun *critical*. Hal tersebut menyebabkan manajer perencanaan dan teknik kesulitan dalam mengambil keputusan memasang kapasitor atau tidak[1].

Gambar 5 menunjukkan grafik ukuran kapasitor terpasang pada tiap *bus*. Grafik ukuran kapasitor terpasang tiap *bus* merupakan KPI aspek kualitas sistem. Sumbu x mewakili lokasi *bus* dan sumbu y mewakili ukuran kapasitor yang terpasang dalam satuan kVar. Matriks data yang ditampilkan pada grafik ini hanya ukuran kapasitor terpasang sehingga tidak ada perbedaan warna dan perbedaan jenis grafik. Grafik yang digunakan adalah diagram batang karena data berjenis data diskret.

Grafik ukuran kapasitor terpasang digunakan oleh manajer teknik untuk membuat rencana pemasangan kapasitor tersebut dan digunakan oleh manajer perencanaan sebagai dasar perencanaan selanjutnya. Dengan menggunakan *dashboard* ini maka dapat diketahui dengan mudah di lokasi mana saja yang akan dipasang kapasitor beserta ukurannya.

Pada penelitian [1], hasil penempatan kapasitor masih berupa tabel yang mengharuskan pengguna melihat secara teliti dan membutuhkan waktu yang lama. Hal tersebut akan berdampak pada kesalahan pengambilan keputusan dan perencanaan ke depannya.

Selain informasi singkat KPI di atas, manajer keuangan, teknik, dan perencanaan memerlukan analisis sensitivitas untuk dapat memperoleh alternatif solusi lainnya. Analisis sensitivitas tersebut dapat dilakukan dengan mengubah nilai NPV, IRR, atau *interest rate*. Perubahan nilai dapat dilakukan dengan menekan masing-masing tombol seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Analisis Sensitivitas

Dengan mengubah nilai-nilai tersebut maka pengguna dapat melihat perubahan nilai neraca keuangan, kondisi tegangan tiap bus dan ukuran kapasitor terpasang. Hasil analisis sensitivitas ini kemudian didiskusikan antara manajer keuangan, teknik, dan perencanaan sehingga didapatkan solusi yang paling ideal dengan mempertimbangkan kondisi di lapangan yang sebenarnya.

Perubahan nilai tersebut juga dapat mengakibatkan proyek tidak layak secara ekonomi. Hal tersebut ditandai dengan NPV kurang dari nol dan IIR negatif. Ketika hal tersebut terjadi maka lampu indikator di tombol IRR dan NPV akan berkedip menandakan proyek tidak menguntungkan.

Pada penelitian [1], tidak terdapat analisis sensitivitas sehingga hanya terdapat 1 solusi. Ketika kondisi di lapangan berubah, yang menyebabkan solusi ideal tersebut tidak dapat dilakukan, maka proyek tidak bisa dilaksanakan.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah mendapatkan desain *dashboard* yang baik untuk memperbaiki tampilan hasil optimasi pemasangan kapasitor. Desain *dashboard* dikatakan baik karena telah mencakup KPI dalam optimasi pemasangan kapasitor dan ditampilkan menggunakan prinsip visualisasi data. Berdasarkan hasil pada *dashboard*, manajer teknik, keuangan, dan perencanaan dapat menentukan dengan cepat bahwa proyek pemasangan kapasitor daya pada saluran 20 kV di sekitar PLTN layak untuk dilakukan. Kelayakan tersebut dilihat dari nilai *payback period* 6 bulan dan kondisi tegangan di semua bus setelah pemasangan kapasitor menjadi di atas 95% (berada di daerah ideal).

TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Dr. Suparman yang telah mendukung dalam program peningkatan SDM melalui training berbagai perangkat lunak untuk perencanaan energi dan analisis kelistrikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Budi, R. F. S., "Aplikasi Algoritma Genetik untuk Perbaikan Tegangan Saluran 20 kV di sekitar Wilayah PLTN", Proseding Lokakarya Komputasi dalam Sains dan Teknologi Nuklir (2012) hal 353-366.
- [2]. Yigitbasioglu, O. M., and Velcu, O., "A review of dashboards performance management: Implications for design and research", International Journal of Accounting Information Systems 13 (2012) pp. 41-59.
- [3]. Stephen Few, "Dashboard Confusion," *Intelligent Enterprise*, March 20, 2004
- [4]. Q&A: Important Integration Considerations for Scorecards, Dashboards and Portals," Gartner, Publication Date: 9 July 2007
- [5]. Kerzner, H., "Project Management Metrics, KPIs and Dashboards", 2015 International Institute for Learning, Inc
- [6]. Wind Y. Marketing as an engine of business growth: a cross-functional perspective. *J Bus Res* 2005;58(7):863-73.
- [7]. Pauwels K, Ambler T, Bruce HC, LaPointe P, Reibstein D, Skiera B, et al. Dashboards as a service: why, what, how, and what research is needed? *J Serv Res* 2009;12:175-89.
- [8]. DeBusk GK, Brown RM, Killough LN. Components and relative weights in utilization of dashboard measurement systems like the Balanced Scorecard. *Br Account Rev* 2003;35:214-31.

- [9]. Dilla WN, Steinbart PJ. The effect of alternative supplementary display formats on balanced scorecard judgements. *Int J Account InfSyst* 2005;6:159–76.
- [10]. Cardinaels E. The interplay between cost accounting knowledge and presentation formats in cost-based decision-making. *Account Org Soc* 2008;33:582–602.
- [11]. Kostov V, Fukuda S. Development of Man-Machine Interfaces based on User Preferences. *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Control Applications* September 5–7. Mexico City, Mexico; 2001.
- [12]. Few S. *Information dashboard design, the effective visual communication of data*. First Edition. O'Reilly Media, Inc.; 2006
- [13]. Tufte ER. *Visual display of quantitative information*. Graphics Press; 2006.
- [14]. Amer TS, Ravindran S. The effect of visual illusions on the graphical display of information. *J InfSyst* 2010;24(1):23–42.
- [15]. Cardinaels E, van Veen-Dirks PMG. Financial versus non-financial information: the impact of information organization and presentation in a Balanced Scorecard. *Account Org Soc* 2010;35:565–78.
- [16]. Anderson JC, Mueller JM. The effects of experience and data presentation format on an auditing judgement. *J Appl Bus Res* 2005;21(1):53–63.
- [17]. Boon WT, Tak WL. The impact of interface customization on the effect of cognitive style on information system success. *BehavInfTechnol* 1991;10(4):297–310.
- [18]. Timm, S. N., and Deal, B. M., “Effective or ephemeral? The role of energy information dashboards in changing occupant energy behaviors”, *Energy Research and Social Science* 19 (2016) 11-20.
- [19]. Gong, Y., and Chandra, A., “Design of a Holistic Dashboard for Technologies Enhancing Aging in Place”, *IEEE 13th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services* (2011) pp 254-257.
- [20]. Jian, Z., Et Al., “Dashboard-cover Mold Design Based on CAE Technology”, *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation* (2010) pp. 1085-1088.
- [21]. Jian-Hui, M., Et Al., “Design of Adaptive Control Algorithm for Automotive Dashboard Stepper Motor Pointer”, *Proceeding of the 2013 International Conference on Advance Mechatronic Systems* (2013) pp. 219-223.
- [22]. Korczak, J., Et Al., “Design of Financial Knowledge in Dashboard for SME Managers”, *Proceeding of the 2013 Federated Conference on Computer Science and Information Systems* (2013) pp. 1123-1130.
- [23]. Ren, Q., and Tao, J., “KPI Corporate Management and Business Intelligence Analysis on The Application of Electric Power Enterprises”, *International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering* (2012) pp. 1466-1469.
- [24]. Liu, D., and Chen, S., “Optimization Methodology of Bus Network along Metro Corridors Based on Key Performance Indicators Analysis”, *The Seventh Advanced Forum on Transportation of China* pp. 79-85.
- [25]. Juarez, L. E., and Landryova, L., “Analysis of a Model for Key Performance Indicators in an SME Assembly Line”, *13th International Carpathian Control Conference* (2012) pp. 418-421.
- [26]. <http://www.pln.co.id/blog/profil-perusahaan/>, diakses 20 mei 2016.
- [27]. Budi, R.F.S., dan Suparman, “Analisis Kualitas Pelayanan Sistem Kelistrikan Bangka Belitung Opsi Nuklir”, *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* Vol. 14 No. 1, Juni 2011 hal. 11-22.
- [28]. PT. PLN (Persero), “Standar PLN 14:1979 Kriteria Dasar Bagi Perencanaan Saluran Udara Tegangan Menengah 20 KV serta Tegangan Tinggi 66 KV dan 150 KV”, PT. PLN (Persero), Jakarta, 1979.
- [29]. Stephen, O. O., Et Al., “Application of Switched Capacitor Banks for Power Factor Improvement and Harmonics Reduction on the Nigerian Distribution Electric Network”, *International Journal of Electrical and Computer Sciences IJECS-IJENS* Vol 11 No. 06 (2011) pp. 58-68
- [30]. Mehanna, M. M., and Abdullah, M. H., “Practical Capacitor Bank Location Optimization Based on Genetic Algorithm”, *International Journal of Engineering and Advanced Technology Studies* Vol. 3 No. 3 (2015) pp 23-31.
- [31]. Ismail dan Supriono, “Analisis Ekonomi Energi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Meragun”, *Jurnal ELKHA* Vol. 5 No. 1 Hal. 31-39, Pontianak (2013).

-
- [32]. Nasrullah, M., "Analisis Komparasi Ekonomi PLTN dan PLTU Batubara untuk Bangka Belitung", Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir 2011 Hal 206-2015, Jakarta (2011).
- [33]. Budi, R. F. S., dan Widodo, W. L., "Analisis Sensitivitas Biaya Investasi PLTN dalam Perencanaan Kelistrikan Kalimantan Barat", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir (2015) hal. 1-9.
- [34]. Amitayani, E. S., dkk., "Studi Pendanaan PLTN Kelas 1000 MWe menggunakan Program FINPLAN", Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir (2012) hal. 46-57.
- [35]. Vessey I., "Cognitive fit: a theory-based analysis of the graphs versus tables literature", *Decis Sci* 1991;22(2):219-40.
- [36]. Hasbun A., "An Empirical Investigation: Do Animated Graphs Improve the Quality of Sales Forecasting Decisions in Comparison to Tables?", Master Thesis 2009, Hanken School of Economics.
- [37]. Olivia. Gist of the scene. In: Itti L, Rees G, Tsotsos JK, editors. *The encyclopedia of neurobiology of attention*. San Diego, CA: Elsevier; 2005. p. 251-6.

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: Elok Satiti Amitayani (PKSEN-BATAN)

- Apakah desain dashboard yang baik mempunyai standard tertentu?

JAWABAN: Rizki Firmansyah Setya Budi (PKSEN - BATAN)

- *Iya, desain dashboard yang baik mempunyai kriteria-kriteria yang harus terpenuhi seperti yang telah disebutkan dalam makalah. Akan tetapi implementasi kriteria-kriteria tersebut dipengaruhi oleh tujuan dan fungsi dari aplikasi atau program yang digunakan sehingga membuat desain dashboard bervariasi*

FAKTOR PENYEBAB PENUNDAAN KONSTRUKSI PLTN DI DUNIA SEBAGAI PEMBELAJARAN UNTUK PEMBANGUNAN PLTN DI INDONESIA

Dharu Dewi

PKSEN BATAN, Jalan Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan
email: dharu_dewi@batan.go.id

ABSTRAK

FAKTOR PENYEBAB PENUNDAAN KONSTRUKSI PLTN DI DUNIA SEBAGAI PEMBELAJARAN UNTUK PEMBANGUNAN PLTN DI INDONESIA. Sebagai pembelajaran untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di Indonesia, maka sangat penting dipelajari berbagai faktor penyebab penundaan konstruksi PLTN yang terjadi di beberapa negara sehingga jika Indonesia jadi membangun, pemilik PLTN dapat melakukan antisipasi dalam pelaksanaan proyek konstruksi PLTN. Banyak negara seperti Argentina, Brasil, Cina, Korea, Bulgaria, Rumania, dan lain-lain telah mengalami risiko penundaan konstruksi. Tujuan studi adalah mengidentifikasi faktor – faktor penyebab utama penundaan proyek konstruksi PLTN. Faktor penyebab tersebut perlu dikaji dengan baik sehingga dapat menjadi pembelajaran bagi Indonesia dalam membangun PLTN. Metodologi yang digunakan adalah kajian literatur/pustaka dari beberapa negara yang diperoleh dari dokumen IAEA, dan jurnal terkait dengan penundaan konstruksi PLTN. Hasil studi menyimpulkan bahwa faktor penyebab penundaan konstruksi PLTN pada prinsipnya serupa di setiap negara tergantung pada kondisi negara/pemerintah.. Faktor penyebab tersebut berupa risiko akibat kinerja yang buruk dari kontraktor, owner, badan regulasi, masalah pendanaan, faktor cuaca dan kondisi negara/pemerintah. Jika Indonesia membangun PLTN, maka faktor – faktor penyebab penundaan konstruksi PLTN perlu dipertimbangkan, diidentifikasi dan diantisipasi serta panduan manajemen risiko konstruksi perlu disusun secara rinci agar tidak terjadi penundaan konstruksi PLTN.

Kata kunci: penundaan, PLTN, pembelajaran, faktor penyebab, konstruksi, dunia

ABSTRACT

CAUSAL FACTORS OF DELAY IN NPP CONSTRUCTION IN THE WORLD AS LESSON LEARNED TO NPP CONSTRUCTION IN INDONESIA. *As lesson learned to prepare Nuclear Power Plant Program in Indonesia, it is very important to study various causal factors of delays in the world NPP construction. So that if Indonesia will construct the NPP, owner can anticipate in the implementation of NPP construction. Many countries such as Argentina, Brazil, China, Korea, Bulgaria, Rumania et al have delayed construction. The purpose of study was identified the main causal factors of NPP construction delay. The causal factors should be examined and can be lesson learned for NPP construction in Indonesia. This Metodology was some literature study from IAEA document, and related journal which is related with NPP construction delays. This study concluded that the causal factors of NPP construction delay was lead by poor performance risk of main contractors, owner, regulatory body, financing matters, weather effect, and country/government condition. If Indonesia will build NPP, the causal factors of the NPP construction delay to be considered, identified and anticipated and guideline of construction risk management need to detailed arrangement so that the NPP construction delay can not take place.*

Keywords: delay, NPP, Lesson learned, causal factors, construction, world

PENDAHULUAN

Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) merupakan proyek yang padat modal dan teknologi sehingga memiliki risiko konstruksi yang cukup besar. Beberapa risiko yang dapat dan sering terjadi adalah penyelesaian proyek tertunda, biaya proyek melampaui anggaran, ketidakpuasan pemilik pekerjaan dan lain – lain. Penundaan proyek merupakan hal umum dalam industri konstruksi dan dapat meningkatkan biaya dan memperpanjang jadwal proyek [1]. Jika diasumsikan bahwa penundaan jadwal terdeteksi, sumber daya tambahan diperlukan jika memungkinkan. Risiko pemulihan jadwal

dimasukkan untuk mempertimbangkan konsekuensi biaya proyek atau perubahan jadwal proyek [2]. Faktor penyebab penundaan proyek konstruksi PLTN perlu diidentifikasi dan dianalisis sehingga kejadian penundaan konstruksi PLTN dapat diantisipasi sebelumnya. Faktor – faktor penyebab penundaan konstruksi PLTN diperoleh dari beberapa negara dan kajian literatur mengenai penyebab penundaan proyek konstruksi yang dapat menjadi pembelajaran yang sangat baik bagi Indonesia jika ingin membangun PLTN. Pengkajian manajemen risiko sangat berperan penting dalam mengelola proyek konstruksi PLTN dan sangat diperlukan sebelumnya agar seluruh kegiatan proyek dapat berjalan lancar, tepat waktu dan tidak mengalami kendala. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor – faktor penyebab penundaan suatu konstruksi PLTN sehingga dapat menjadi bahan pembelajaran bagi Indonesia dalam membangun PLTN agar tepat waktu dan biaya sesuai sudah ditentukan. Metodologi studi ini adalah mengkaji dan menganalisis beberapa literatur/pustaka beberapa negara, yang diperoleh dari dokumen Badan Tenaga Nuklir Internasional (IAEA), dan beberapa jurnal terkait dengan penyebab penundaan konstruksi PLTN di dunia sehingga dapat menjadi pembelajaran bagi Indonesia jika membangun PLTN. Tujuan studi adalah mengidentifikasi faktor – faktor penyebab penundaan suatu konstruksi PLTN sehingga dapat menjadi bahan pembelajaran bagi Indonesia dalam membangun PLTN agar tepat waktu sesuai dengan jadwal/peta jalan yang sudah ditentukan. Hasil studi ini diharapkan dapat mengantisipasi risiko keterlambatan jadwal dan pembengkakan biaya.

TEORI

PLTN memiliki persyaratan keselamatan yang ketat sehingga risiko dan faktor-faktor penyebab penundaan konstruksi harus dapat diidentifikasi, dianalisis dan diantisipasi sebelumnya agar tidak terjadi penundaan jadwal dan pembengkakan biaya. Pengambil keputusan hendaknya mengetahui dampak penyebab penundaan sehingga dapat memperkirakan pembuatan jadwal dan biaya yang realistis. Pengkajian terhadap risiko konstruksi sangat penting khususnya risiko penundaan jadwal.

Risiko proyek merupakan kejadian atau kondisi ketidakpastian. Jika suatu risiko benar – benar terjadi, maka dapat memberikan pengaruh negatif atau positif pada salah satu atau lebih sasaran proyek, yakni ruang lingkup, waktu, biaya dan mutu [3,4,5]. Identifikasi risiko konstruksi dilakukan berdasarkan pada pengalaman risiko sebelumnya yang telah terjadi pada fase konstruksi PLTN. Identifikasi risiko dilakukan agar dapat diantisipasi untuk mencegah terjadinya kejadian berulang. Penundaan mempunyai arti tidak selesainya proyek dengan durasi yang telah disetujui dalam kontrak. Penundaan proyek konstruksi menyebabkan ketidakpuasan seluruh pihak yang terlibat [6]. Penundaan proyek didefinisikan sebagai suatu tindakan atau kejadian yang memperpanjang waktu yang diperlukan untuk melakukan atau menyelesaikan pekerjaan kontrak sebagai waktu tambahan pekerjaan [7]. Penundaan proyek merupakan sumber utama risiko dapat menyebabkan ketidaktepatan jadwal dan pembengkakan biaya [8]. Pembengkakan biaya didefinisikan sebagai perbedaan antara biaya aktual dengan biaya yang diestimasikan sebagai suatu prosentase dari biaya yang diestimasikan dengan seluruh biaya dihitung dalam harga yang konstan [9].

Hampir seluruh reaktor nuklir mengalami pembengkakan biaya konstruksi. Pembengkakan biaya sangat dipengaruhi oleh biaya bunga pinjaman (*interest cost*) dan bertambah lamanya waktu konstruksi [10]. Penundaan mengakibatkan biaya konstruksi menjadi lebih tinggi karena periode kerja yang lebih lama, adanya biaya material tambahan, dan ekstra biaya tenaga kerja. Penundaan proyek juga memiliki pengaruh terhadap lisensi pembangkit. Kunci sukses manajemen proyek yang berhasil yaitu telah melakukan identifikasi dan evaluasi faktor faktor yang menyebabkan penundaan. Kontraktor utama, utiliti, dan badan regulasi merupakan tiga faktor utama dalam proyek PLTN yang memainkan peranan penting dalam fase konstruksi PLTN [10]. Selain itu faktor lainnya yang menyebabkan penundaan waktu konstruksi tergantung juga pada tipe pendekatan kontrak yang dipilih. Secara umum, pendekatan kontrak terdiri dari pendekatan kontrakputar kunci (*turnkey*), pendekatan paket terpisah (*split package contract*), pendekatan paket terpisah jamak (*multi package contract*). Khusus untuk pendekatan kontrak *turnkey*, koordinasi antar organisasi yang terlibat menjadi lebih sederhana, risiko keterlambatan jadwal dapat diantisipasi, pengendalian manajemen proyek konstruksi PLTN lebih sederhana. Namun pada kenyataannya dalam proses konstruksi PLTN, risiko yang terjadi kemungkinannya menjadi lebih besar daripada yang diperkirakan sebelumnya [11, 12].

Penundaan jadwal didefinisikan sebagai pembengkakan waktu yang melebihi waktu penyelesaian yang dispesifikasikan dalam kontrak [13]. Penundaan jadwal dapat menyebabkan berbagai pengaruh yang tidak diinginkan pada proyek dan pihak – pihak yang berpartisipasi seperti utiliti, kontraktor, dan para pemangku kepentingan yang terlibat. Banyak studi/kajian telah dilakukan di dunia tentang risiko penundaan proyek konstruksi. Namun hal tersebut jarang mendapatkan hasil studi penelitian yang spesifik dan mendalam untuk mengevaluasi penundaan konstruksi.

Saat ini BATAN sedang melakukan kajian tentang rencana Pembangunan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) di Daerah PUSPIPTEK Serpong Tangerang. Hasil studi ini diharapkan dapat menjadi bahan masukan bagi pengambil keputusan dalam melaksanakan proyek konstruksi RDE jika jadi dibangun, sehingga konstruksi RDE dapat dilaksanakan sesuai jadwal, biaya dan mutu yang dispesifikasikan.

METODOLOGI

Metodologi studi ini adalah mengkaji dan menganalisis faktor-faktor penyebab penundaan konstruksi PLTN dari beberapa literatur/pustaka terkait penundaan konstruksi PLTN dari beberapa negara, yang diperoleh dari dokumen Badan Tenaga Nuklir Internasional (IAEA) dan jurnal terkait. Adapun langkah – langkah yang dilakukan adalah:

- Mengumpulkan dokumen IAEA dan jurnal terkait dengan penyebab penundaan konstruksi PLTN.
- Mengkaji faktor – faktor penyebab penundaan PLTN dari beberapa negara sebagai pembelajaran bagi Indonesia.
- Menganalisis dan mengelompokkan risiko penundaan konstruksi PLTN dalam 6 kategori yaitu risiko akibat kinerja yang buruk dari pihak kontraktor, owner, badan regulasi, masalah pendanaan, cuaca, kondisi pemerintah/negara.
- Mengidentifikasi langkah-langkah atau tahapan yang diperlukan agar dapat mengantisipasi risiko penundaan konstruksi PLTN.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari dokumen Badan Tenaga Atom Internasional IAEA mengenai Manajemen Penundaan Proyek PLTN, terlihat bahwa terdapat beberapa contoh alasan penundaan konstruksi PLTN dari berbagai negara seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Data ini sebagai pembelajaran bagaimana suatu negara mengalami risiko penundaan konstruksi yang memberikan dampak yang cukup signifikan.

Tabel 1. Alasan Penundaan Konstruksi PLTN di Beberapa Negara [14]

No	Negara	Unit	Kemajuan fisik proyek (%)	Alasan Penundaan
1.	Argentina	Central Nuclear Attucha II	80	1. Kurangnya dana 2. Keputusan privatisasi secara politis 3. Perubahan institusional pada tanggungjawab konstruksi PLTN
2.	Brasil	Angra 2	78	1. Perubahan institusional pada tanggungjawab konstruksi PLTN 2. Kurangnya dana 3. Keputusan politis yang terkait dengan kondisi pendanaan
3.	Bulgaria	Belene	52	1. Kurangnya dana 2. Perubahan politik
4.	Canada	Darlington (4 unit)	100	1. Turunnya permintaan energi 2. Kurangnya tenaga kerja 3. Kesulitan pendanaan
5.	Cuba	Juragua #1	Sipil 25 Erection 20 Listrik 16	1. Faktor Ekonomi

No	Negara	Unit	Kemajuan fisik proyek (%)	Alasan Penundaan
6.	Republik Czech	Temelin #1 & #2	85	1. Prinsip-prinsip modernisasi re-konstruksi 2. Perubahan politik dan ekonomi
7.	India	Kaiga #1 & 2	92	1. Masalah penyelesaian pekerjaan Teknik Sipil 2. Analisis kegempaan dan kualifikasi struktur, peralatan dan komponen yang terkait keselamatan 3. Ketidacukupan "performance" dalam paket kontraktor
		Rajasthan #3 dan #4	88	Seluruh permasalahan serupa dengan yang dialami Kaiga #1 dan #2
8.	Iran	Bushehr #1	Sipil 85 Mesin Listrik 65	1. Pemberian sanksi dan penyelesaian oleh kontraktor utama 2. Keseganan kontraktor utama untuk menyelesaikan proyek #1 dan #2
		Bushehr #2	Sipil 70 Mesin Listrik 50	
9.	Romania	Cernavoda #1	100	1. Keterlibatan politik dalam manajemen proyek (sebelum tahun 1990) 2. Perencanaan dan jadwal manajemen 3. Kurangnya pengawasan di beberapa area 4. Kurangnya dana 5. Pekerjaan dilakukan secara paralel untuk 5 unit
		Cernavoda #2	40	1. Sebelum tahun 1990, alasan sama seperti pada cernavoda #1 2. Kurangnya biaya dan pendanaan 3. Pemeliharaan
		Cernavoda #3	25	1. Sebelum tahun 1990, alasan sama seperti pada cernavoda #1
		Cernavoda #4	15	2. Cernavoda #3, #4, #5, ditangguhkan pada tahun 1991 dan menuju pemeliharaan.
10	Rusia	Cernavoda #5	10	1. Penurunan secara drastis volume investasi
		Rostov N1	90	2. Persyaratan keselamatan yang lebih tinggi, proyek-proyek untuk memenuhi standar dan persyaratan baru
		WVER-100		
		Kalinin N5	70	
		WVER-1000		
		Kursk N5	70	
		RBMK-1000		
		Voronezh	50	
11	Slovakia	Mochovce #1	Pengopera-	kurangnya sumber pendanaan

No	Negara	Unit	Kemajuan fisik proyek (%)	Alasan Penundaan
.			sian	
		Mochovce #2	start up 12, 1999	
		Mochovce #3	40	kurangnya sumber pendanaan
12	Spanyol	Mochovce #4 Valdecaballeros #1 dan #2	30 55	adanya evaluasi baru dari proyek 1. oposisi politik regional 2. penurunan konsumsi beban 3. Hutang utilitas yang cukup besar dalam kaitannya dengan investasi awal PLTN
13	Ukraina	Rovno-4	93	1. Penundaan konstruksi unit energi di Ukraina
		Kmheinitzki #2	92	2. Perubahan politik dan ekonomi 3. penurunan permintaan listrik 4. Tidak adanya investasi
		Kmheinitzki #3	30-40	
		Kmheinitzki #4	30-40	

Dari data diatas, menunjukkan bahwa sebagian besar terjadinya penundaan proyek konstruksi PLTN pada saat proyek telah mengalami kemajuan fisik melebihi 50 persen, seperti yang terjadi pada negara Argentina, Brasil, Kanada, Rumania, Rusia, dan Ukraina. Penyebab utama penundaan konstruksi pada beberapa negara adalah kurangnya sumber pendanaan, adanya perubahan politik dan ekonomi, kebijakan pemerintah dalam mendanai proyek PLTN harus jelas dan berkelanjutan serta perlu adanya komitmen bersama dari berbagai pihak yang berkepentingan sehingga jika terjadi perubahan politik tidak mengganggu stabilitas proyek konstruksi yang sedang berjalan.

Shamer Alsharif et al, telah melakukan identifikasi faktor – faktor penyebab penundaan dalam proyek PLTN. Terdapat 13 kategori faktor – faktor penyebab penundaan proyek PLTN yakni ketidakterediaan pemutakhiran jadwal, kesalahan/kurangnya desain, perubahan ruang lingkup, unjuk kerja (*performance*) kontraktor yang buruk, penundaan order dan pengiriman ke tapak, pendanaan, produktifitas/estimasi jadwal yang tidak akurat, produktivitas/estimasi sumber daya manusia yang tidak akurat, review dan pengesahan desain/*Plant Support Engineering*, pekerjaan ulang (*rework*)/kesalahan desain, keputusan owner, cuaca, peralatan dan koordinasi yang buruk [15]. Mohammed Mufazzal Hossen et al [16], telah menganalisis dan membedakan faktor – faktor utama penyebab penundaan dalam 3 level yakni level 1 faktor utama, level 2 adalah sub-faktor, dan level 3 adalah sub – sub faktor. Pada level 1 (faktor utama) terdiri dari 4 kategori yakni Kontraktor Utama, Utiliti, Badan Regulasi, Pendanaan/faktor negara. Pada level ke 2 terdapat 12 sub faktor (4 dari kontraktor utama, 4 dari utiliti, 2 dari badan regulasi dan 2 dari pendanaan/faktor negara). dan level ke 3 terdiri dari 32 sub-sub faktor.(10 dari grup kontraktor utama, 11 dari grup utiliti, 4 dari grup badan regulasi, dan 7 dari grup pendanaan/faktor negara. Dari hasil studi mereka, didapatkan bahwa kontraktor utama memberikan kontribusi risiko tertinggi dari penundaan proyek konstruksi PLTN, diikuti oleh utiliti sebagai tempat kedua, badan regulasi sebagai tempat ketiga dan pendanaan/faktor negara menempati tempat ke empat. Hasilnya juga memperlihatkan ada 6 sub-faktor yang paling penting dalam zona risiko tinggi berdasarkan matrik risiko level 2 yakni pengesahan badan regulasi yang tertunda, faktor negara, ketidakcukupan penyempurnaan desain sebelum dimulainya konstruksi, pengadaan yang lambat, manufakturing peralatan dan pengiriman ke tapak untuk instalasi yang tertunda, kemajuan konstruksi dan komisioning yang tertunda, dan masalah pendanaan. Sedangkan dalam sub-sub faktor terdapat 10 risiko tertinggi yakni perubahan kebijakan, ketidakstabilan politik dan intervensi publik, kriteria badan regulasi yang tidak sesuai dan dokumen perizinan yang konflik dengan regulasi yang ada, prosedur review dokumen desain yang hebat, re-desain terkait dengan kesalahan desain dan perubahan desain, kurangnya

industri manufaktur peralatan khusus nuklir yang berpengalaman dan trampil, kontrak pengadaan tertunda, pengesahan dokumen desain yang tertunda, kurangnya komunikasi dan koordinasi diantara berbagai pihak yang berkepentingan, pengadaan peralatan dan material yang tertunda terkait tidak tersedianya di pasaran global, pekerjaan ulang/rework yang terkait dengan kesalahan dan kendali mutu selama fabrikasi dan konstruksi, Diantara 5 besar faktor pada level 2 dan level 3, disini tidak terdapat faktor penundaan yang berasal dari grup utiliti [16]. Menurut Ambituuni, terdapat 5 penyebab penundaan proyek dan pembengkakan biaya di dalam sistem manajemen proyek, yakni perubahan ruang lingkup yang buruk, pengadaan yang tidak sesuai/tidak mencukupi, kesalahan dalam sistem manajemen kontrak, seleksi kontraktor yang buruk, kompleksitas proyek, inflasi, perubahan harga material, perubahan nilai tukar (*exchange rate*) [17]. Selain itu faktor penundaan lainnya yang mungkin dapat terjadi di dalam proyek konstruksi adalah kondisi cuaca, kurangnya material konstruksi, lambatnya proses pembuatan keputusan owner, manajemen dan supervisi tapak yang buruk oleh kontraktor, kurangnya tenaga kerja, kecelakaan/kesalahan selama konstruksi, pengiriman material yang lambat, kurangnya jumlah peralatan, perencanaan dan penjadwalan proyek yang tidak efektif oleh kontraktor, penundaan pembayaran kemajuan proyek kontraktor oleh *owner*. perubahan order dari pihak owner, lambatnya pembayaran subkontraktor oleh kontraktor utama, waktu kontrak dan persyaratan yang tidak realistis dan lain – lain [18].

Dampak utama dari penundaan dapat berupa peningkatan biaya proyek, peningkatan risiko pasar, penurunan efisiensi, peningkatan jumlah jam kerja, penurunan keselamatan individu, penundaan produksi, penurunan kepercayaan masyarakat, penundaan pengembangan lokal dan regional, peningkatan biaya akuisisi tanah, peningkatan biaya material, peningkatan tekanan terhadap seluruh tim proyek [19].

Dari berbagai hasil kajian literatur, faktor – faktor penyebab penundaan proyek konstruksi PLTN dapat dirinci pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor Penyebab Penundaan Konstruksi PLTN

No.	Penyebab Penundaan	Faktor-Faktor Penyebab Utama Penundaan Proyek Konstruksi PLTN
1.	Kontraktor Utama	<ul style="list-style-type: none"> - Kurangnya waktu dalam penyelesaian desain sebelum dimulainya konstruksi. - Kurangnya item - item pekerjaan secara rinci dalam paket kontraktor. - Kesalahan dalam dokumen kontrak [20]. - Perubahan order [20]. - Koordinasi dan komunikasi yang buruk antara kontraktor dan <i>owner</i>. - Kesulitan dalam mengelola pasokan sub-kontraktor. - Pengadaan manufaktur peralatan dan pengiriman ke tapak terlambat. - <i>Re-desain</i> yang berkaitan dengan kesalahan desain dan perubahan desain. - Ketidakcukupan <i>drawing</i> dan spesifikasinya. - Desainer yang kurang berpengalaman. - Sub-kontraktor yang tidak berpengalaman terkait dengan kurangnya pengalaman praktek-praktek spesifik nuklir. - Perubahan yang sering terjadi pada subkontraktor karena pekerjaan yang tidak efisien. - Penundaan dalam pekerjaan sub-kontraktor [21]. - Penundaan fabrikasi material [21]. - Manufaktur peralatan khusus nuklir yang kurang berpengalaman dan cakap. - Pengadaan peralatan dan material terkait dengan ketersediaan dalam pasar global tertunda. - Kurangnya jumlah para profesional teknis terkait dengan pensiunnya tenaga ahli yang berpengalaman dan kurangnya kompetensi baru. - Tim manajemen konstruksi yang tidak berpengalaman.

No.	Penyebab Penundaan	Faktor-Faktor Penyebab Utama Penundaan Proyek Konstruksi PLTN
2.	Utiliti	<ul style="list-style-type: none"> - Pekerjaan ulang (<i>rework</i>) terkait dengan kesalahan dan kendali mutu selama manufaktur dan konstruksi. - Tidak ada pemutakhiran jadwal yang diterima oleh utiliti - Kesalahan desain. - <i>Drawing</i> dan spesifikasi yang kurang akurat. - Tidak adanya permohonan perubahan enjiniring. - Material tidak sesuai dengan spesifikasi. - material rusak. - Material diorder tidak sesuai. - Fluktuasi harga material. - Keterlambatan pengiriman material ke tapak. - Milestone yang tidak sesuai. - Peralatan yang datang terlambat. - Ketidakcukupan peralatan. - Efisiensi peralatan yang rendah. - Mobilisasi peralatan yang rendah. - Order pembelian tidak ditulis. - Penundaan pengesahan dokumen desain. - Penundaan pengajuan aplikasi perizinan. - Desain, material, dan urutan pekerjaan diubah oleh Utiliti. - Kurangnya koordinasi antara kantor pusat utiliti dengan kantor utiliti di tapak. - Prosedur kendali mutu kurang. - Penundaan rantai pasok yang terkait dengan tidak tersedianya material di pasar lokal. - Kurangnya pekerja tenaga ahli khusus nuklir. - Kontrak pengadaan barang dan jasa tertunda. - Pembuatan keputusan yang lambat terkait dengan sistem manajemen proyek yang buruk. - Ketidakcukupan perencanaan dan jadwal. - Tim manajemen proyek yang kurang berpengalaman. - Pembayaran yang tertunda oleh <i>owner</i> terkait dengan kesulitan pendanaan.
3.	Badan Regulasi	<ul style="list-style-type: none"> - Perubahan ruang lingkup. - Kriteria badan regulasi tidak sesuai dengan dokumen perizinan konflik dengan regulasi yang ada. - Prosedur review dokumen desain yang ketat. - Pengesahan regulasi yang tertunda. - Kelompok inspeksi regulasi kurang berpengalaman. - Perubahan yang terlambat pada kriteria regulasi.
4.	Pendanaan	<ul style="list-style-type: none"> - Kondisi ekonomi yang buruk. - Kelayakan dan analisis ekonomi yang tidak sesuai [22]. - Krisis ekonomi. - Perubahan kebijakan pemerintah masalah pendanaan. - Perubahan <i>interest rate</i>. - Perubahan nilai tukar (<i>exchange rate</i>). - Inflasi.
5.	Negara/pemerintah	<ul style="list-style-type: none"> - Perubahan kebijakan yang terkait dengan ketidakstabilan politik dan intervensi publik. - Keterlibatan politik dalam manajemen proyek. - Perubahan institusional pada tanggungjawab konstruksi PLTN. - Kurangnya komunikasi dan koordinasi diantara berbagai pihak yang berkepentingan. - Gap budaya dan penghalang bahasa diantara para pekerja - Kondisi tanah yang tidak dapat diduga terkait dengan iklim/cuaca yang tidak diharapkan.

No.	Penyebab Penundaan	Faktor-Faktor Penyebab Utama Penundaan Proyek Konstruksi PLTN
6.	Cuaca	- Kondisi cuaca yang buruk di lokasi tapak

Catatan: Data/informasi diolah

Estimasi biaya yang handal merupakan dasar untuk kendali proyek yang efektif [23]. Alasan penyebab peningkatan biaya juga menjadi alasan penyebab perpanjangan waktu proyek. Hal tersebut sulit untuk memisahkan keduanya [24]. Dengan adanya penundaan jadwal, banyak PLTN mengalami pembengkakan biaya sehingga sistem kendali proyek tidak lagi menjadi efektif serta estimasi biaya tidak akurat. Pembengkakan biaya rata-rata yang dialami pada proyek pembangkit listrik di Eropa dan Amerika Utara sekitar 200%. Evaluasi risiko potensial sangat penting untuk mengontrol pembengkakan biaya proyek. Menurut Muhammad Saiful Islam, et al, (2016), ada 5 level hirarki risiko yang ditunjukkan dengan menggunakan Model Fuzzy Bayesian untuk pengkajian risiko. Level 1) Risiko mutu yang buruk dari konsultan, 2) Kelemahan manajerial, perubahan ruang lingkup, studi kelayakan yang salah/tidak layak, kepemilikan ganda. 3) Kurangnya dana *owner*, Interest rate bank, resesi ekonomi, 4) Kurangnya dana kontraktor, kurangnya pengalaman kontraktor, keahlian manajerial kontraktor yang buruk, 5) Level risiko proyek kontraktor [25].

Beberapa contoh pembengkakan biaya di Amerika Serikat pada era tahun 1980 an, secara signifikan dipengaruhi oleh adanya kecelakaan PLTN Three Mile Island dan Chernobyl seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Hal ini disebabkan karena adanya isu *engineering* dan oposisi publik [26]. Beberapa contoh pembengkakan biaya lainnya dari beberapa negara juga dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Beberapa Contoh PLTN dengan Pembengkakan Biaya Terbesar [26]

Rangking	Tahun	Nama PLTN	Lokasi	Tipe	Pembengkakan biaya (Juta US\$)
1	1993	Darlington	Kanada	CANDU	16.589
2	1988	Nine Mile Point 2	Amerika Serikat	BWR	7392
3	1985	Shoreham	Amerika Serikat	BWR	6641
4	1986	River Bend 1	Amerika Serikat	BWR	5835
5	1987	Clinton	Amerika Serikat	BWR	5792
6	1985	Diablo Canyon 1	Amerika Serikat	PWR	5718
7	1984	Washington Public Power Supply System 2 (PPSS 2)	Amerika Serikat	BWR	5574
8	1988	Fermi 2	Amerika Serikat	BWR	5514
9	1987	Beaver Valley 2	Amerika Serikat	PWR	5512
10	1987	Shearon Harris 2	Amerika Serikat	PWR	5365
11	1986	Limerick 1	Amerika Serikat	BWR	5292
12	1986	Hope Creek	Amerika Serikat	BWR	5200
13	1986	Millstone 3	Amerika Serikat	PWR	5107
14	1986	Palo Verde 1	Amerika Serikat	PWR	5105
15	1982	Angra 2*	Argentina	PWR	4000
16	1990	Belene*	Bulgaria	PWR	1000
17	1992	Juragua*	Cuba	WWER	600

Catatan: * sumber dari dokumen IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T.3.4 [27].

Dari Tabel 3 di atas, menunjukkan bahwa PLTN Darlington tipe CANDU mengalami pembengkakan biaya yang sangat tinggi yakni sebesar 16.589.000.000 US\$. Sedangkan pembengkakan biaya lainnya didominasi oleh PLTN tipe BWR dengan rata-rata pembengkakan biaya berkisar antara 5 – 6 miliar US\$. Penundaan konstruksi dapat mengakibatkan hal yang cukup fatal dalam masalah pendanaan. Pengkajian mengenai besarnya pembengkakan biaya konstruksi, U.S. Energy Information Administration menyatakan bahwa pembengkakan biaya untuk proyek konstruksi nuklir tidak berkorelasi dengan ukuran, faktor regional, tanggal mulai konstruksi atau pengalaman [28]. Biaya penundaan konstruksi suatu PLTN sekitar 2 juta dollar per hari [29, 30].

Indonesia telah melakukan studi kelayakan PLTN di Provinsi Bangka Belitung dan juga melakukan pengkajian untuk Program Pembangunan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) di PUSPIPTEK Serpong - Tangerang. Diharapkan dengan telah diidentifikasinya faktor - faktor penyebab penundaan konstruksi PLTN yang dapat menyebabkan pembengkakan waktu dan biaya, maka diharapkan dapat diantisipasi sebelumnya. Jika PLTN atau RDE jadi dibangun, maka sangat diperlukan langkah – langkah antisipasi agar pembangunan PLTN ataupun RDE dapat berjalan lancar, tepat waktu dan sesuai dengan biaya yang telah ditentukan. Beberapa langkah atau tahapan untuk dapat mengantisipasi risiko penundaan konstruksi PLTN adalah:

1. Perhitungan dan perencanaan jadwal konstruksi harus benar-benar matang dan realistis sebelum pekerjaan konstruksi PLTN dilaksanakan.
2. Kerangka Acuan Kerja (KAK) dalam proses penawaran pengadaan barang dan jasa PLTN harus jelas dan rinci.
3. Hasil Studi Kelayakan oleh Konsultan harus dievaluasi secara cermat dan teliti sehingga lokasi tapak, pengkajian pendanaan, kajian risiko proyek, proses perizinan, teknologi, benar benar layak.
4. Sistem kendali proyek yakni kendali jadwal dan kendali biaya harus benar benar dipantau secara ketat.
5. Alokasi sumber pendanaan dan antisipasi terhadap kurangnya dana sebaiknya telah tersedia dan disetujui oleh Pemerintah.
6. Perlunya komitmen dan kebijakan pemerintah atas keberlangsungan dan keberlanjutan konstruksi PLTN.
7. Sistem dokumentasi manajemen proyek dan manajemen konstruksi PLTN harus terkendali dengan baik.
8. Sistem manajemen risiko dan sistem manajemen mutu untuk konstruksi PLTN harus disiapkan sejak awal sebelum konstruksi, serta dilaksanakan dan dikendalikan dengan baik dan efektif.
9. Standardisasi desain harus sudah matang, lengkap dan telah teruji.
10. Pemilihan kontraktor utama/vendor maupun sub kontraktor dalam proses pengadaan barang dan jasa harus benar-benar cakap dan terampil serta telah memiliki pengalaman dalam membangun PLTN yang sejenis dengan yang akan dibangun.
11. Item – item dan termin pembayaran dalam kontrak dengan kontraktor/vendor harus lengkap, jelas dan rinci.
12. Dalam pelaksanaan proyek konstruksi, sistem komunikasi dan koordinasi antara kontraktor dan owner harus secara terus menerus dapat dilaksanakan dalam bentuk rapat harian, mingguan, bulanan dan dituangkan dalam notula rapat sebagai dokumen rekaman jaminan mutu.
13. Evaluasi kemajuan pekerjaan harus dilaksanakan dan dipantau secara terus menerus.
14. Tenaga ahli dan pekerja konstruksi harus sesuai dengan keahlian dan kompetensinya.
15. Jadwal manufaktur material dan komponen PLTN harus tepat waktu sesuai jadwal.
16. Sistem rantai pasok material dan komponen dari sub kontraktor ke kontraktor utama harus terkendali sesuai dengan jadwal pengiriman.
17. Pagu-pagu penting (*milestone*) proyek harus ditaati dengan seksama agar tidak terjadi keterlambatan.

KESIMPULAN

Faktor – faktor penyebab penundaan konstruksi PLTN dikelompokkan dalam 5 kategori yakni faktor yang disebabkan oleh risiko unjuk kerja yang buruk dari kontraktor utama, *owner*, badan regulasi, negara/pemerintah dan cuaca di lokasi tapak. Beberapa faktor paling utama penyebab penundaan antara lain kurangnya sumber pendanaan, masalah politik, unjuk kerja yang buruk dari kontraktor utama/vendor PLTN, utiliti, dan badan regulasi, kurangnya pengawasan di beberapa area PLTN, kurangnya keahlian dan kompetensi tenaga ahli dan tenaga kerja konstruksi, kurangnya item - item pekerjaan secara rinci dalam paket kontraktor, perencanaan dan jadwal manajemen konstruksi yang tidak

sesuai, Jika Indonesia ingin membangun PLTN atau RDE, maka faktor – faktor penyebab penundaan konstruksi PLTN tersebut di atas harus dipertimbangkan, diidentifikasi dan dianalisis serta panduan manajemen risiko konstruksi PLTN perlu disusun secara rinci. Langkah – langkah antisipasi perlu disiapkan pada fase pra-proyek sebelum dilaksanakannya konstruksi PLTN sangat diperlukan agar pembangunan PLTN ataupun RDE dapat berjalan lancar, tepat waktu dan sesuai dengan biaya yang telah ditentukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Bapak Dr. Suparman selaku Kepala Bidang Kajian Infrastruktur, tim KPTF – PKSEN dan tim editor SENTEN yang telah mereview dan memeriksa makalah ini sehingga menjadi lebih baik dan sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

1. GONZÁLEZ, P., GONZÁLEZ, V., MOLENAAR, K., & OROZCO, F. (2013). Analysis of Causes of Delay and Time Performance in Construction Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(1).
2. DF. COOPER, DH MACDONALD, CB CHAPMAN, "Risk Analysis of a Construction Cost Estimation", *International Journal of Project Management*, Volume 3 Nomor 3 August 1985, Page 141 - 149.
3. PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*, fifth edition, 2013.
4. MUHAMMAD MUFAZZAL HOSSEN, SUNKOO KANG, ONGHYUN KIM, "Construction Schedule Delay Risk Assessment by Using Combined AHP – RII Methodology for AN International NPP Project, *Journal of Nuclear Engineering Technology*, 47 (2015)362 – 379, (2015)
5. KILL YOUNG JUNG, MYUNG SUB ROH, "A Study for an Appropriate risk Managment of New Technology Deployment in Nuclear Power Plants, " *Annals of Nuclear Energy*, 99, (2017), 157 – 164, (2017).
6. REMON FAYEK AZIZ, "Rangking of Delays Factors in Construction Projects after Egyptian Revolution", *Alexandria Engineering Journal* (2013) 52, 387–406, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aej.2013.03.002>. (2016). PHIL JOHNSTONE, ANDY STIRLING
7. MOHAMED M. MARZOUK *, TAREK I. EL-RASAS," Analyzing delay causes in Egyptian construction Projects:, *Journal of Advanced Research* (2014) 5, 49–55, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jare.2012.11.005>
8. BYUNG CHEOL KIM, (2007). "Forecasting Project and Early Warning of Project Overruns with Probabilistic Methods", *Disertation, Texas A&M University*, December 2007.
9. T.SUBRAMANI , P S SRUTHI, M.KAVITHA, "Causes of Cost Overrun In Construction", *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) Vol. 04, Issue 06 (June. 2014)*, ||V3|| PP 01-07, ISSN (e): 2250-3021, ISSN (p): 2278-8719.
10. BENYAMIN K. SOVACOO, ALEXANDER GILBERT, " Cost overruns and financial risk in the construction of nuclear power reactors", *Energy Policy* 102 (2017) 644–649, (2017)..
11. DHARU DEWI , "Kajian Risiko Konstruksi PLTN", *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2014, Pontianak, 19 Juni 2014*, ISSN: 2355 – 7524
12. DHARU DEWI, SRIYANA, NURLAILA, dkk, " Laporan Teknis Studi Manajemen Risiko PLTN untuk Pembangunan PLTN di Indonesia, *Pusat Pengembangan Energi Nuklir*, 2008.
13. S.A. ASSAF, S. ALL HEJI, "Cause of Delay in Large Constuction Projects, *International ournal of Project Management*, 24, (2006), 349 – 357).
14. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, " Management of Delayed Nuclear Power Plants Project", *IAEA TECDOC No. 1110, September, Vienna*, (1999).

15. SAMER ALSHARIF, ASLIHAN KARATAS, "A Framework for Identifying Causal Factors of Delay in Nuclear Power Plant Projects, International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction, Procedia Engineering 145 (2016), 1486 – 1492., doi:10.1016/j.proeng.201.04.187, (2016).
16. MUHAMMAD MUFAZZAL HOSSEN, SUNKOO KANG, ONGHYUN KIM, "Construction Schedule Delay Risk Assessment by Using Combined AHP – RII Methodology for AN International NPP Project, Journal of Nuclear Engineering Technology, 47 (2015) 362 – 379.
17. AMBSISI AMBITUUNI, "Five Causes of Project Delay and Cost Overrun, and Their Mitigation Measures", <http://academia.edu>.
18. REMON F AZIZ, ASMAA A, ABDEL HAKAM,"Exploring Delay Causes of Road Construction Project in Egypt", Alexandria Engineering Journal, (2016), volume 55, 1515 – 1539.
19. SUBHAM VYAS, "Causes Of Delay In Project Construction in Developing Countries", Indian Journal of Commerce and Management Studies, Volume IV Issue 2 (1), May 2013, ISSN 2240 – 0310, https://www.academia.edu/3724795/Causes_of_delay_in_project_construction_in_developing_countries_
20. Abdalla M. Odeh, Hussien T. Battaineh," Causes of construction delay: traditional contracts" International Journal of Project Management 20 (2002) 67 – 73.
21. N. HAMZAH, M.A. KHOIRY, I. ARSHAD, N. M. TAWIL AND A. I. CHE ANI, "Cause of Construction Delay – Theoretical Framework, The 2nd International Building Control Conference 2011, Procedia Engineering 20 (2011) 490 – 495, doi:10.1016/j.proeng.2011.11.192, (2016).
22. ALI AHMAD, "Economic Risks of Jordan's Nuclear Program", Energy for Sustainable Development 29 (2015) 32–37, <http://dx.doi.org/10.1016/j.esd.2015.09.001>
23. BYUNG CHEOL KIM, KENNETH F. REINSCHMIDT, "Combination of Project Cost Forecasts in Earned Value Management", Journal of Construction Engineering and Management, Volume 137, issue 11, November 2011. [http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000352](http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000352).
24. YAKUBU OLAWALE, MING SUN, "Construction project control in the UK: Current Practice, Existing Problems and Recommendations for Future Improvement", International Journal of Project Management 33 (2015) 623–637, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.10.003>.
25. MUHAMMAD SAIFUL ISLAM, MADHAV NEPAL, "A Fuzzy – Bayesian Model for Risk Management in Power Plant Project", Procedia Computer Science 100 (2016) 963 – 970, doi: 10.1016/j.procs.2016.09.259.
26. BENYAMIN K. SOVACOOOL, ALEX GILBERT, DANIEL NUGENT,' An International Comparative Assessment of Construction Cost Overruns for Electricity Infrastructure", Energy Research & Social Science 3 (2014) 152–160, <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2014.07.016>, (2014).
27. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-3.4, "Restarting Delayed Nuclear Power Plant Projects", Vienna, 2008.
28. BENJAMIN K. SOVACOOOL , ALEX GILBERT , DANIEL NUGENT, "Risk, innovation, electricity infrastructure and construction cost overruns: Testing six hypotheses, Energy 74 (2014), 906 – 917, <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.07.070>, (2014).
29. HENRY RAY, August 2014. Delays for new nuclear power plant pressure industry, <http://www.pennenergy.com/articles/pennenergy/2014/08/delays-for-new-nuclear-power-plant-pressure-industry.html>).
30. MICHAEL D. SHERWIN, HUGH MEDAL, STEVEN A. LAPP, "Pro active cost-effective identification and mitigation of supply delay Risks in low volume high value supply chain using fault-tree analysis", International Journal of Production Economics 175 (2016) 153–163, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.02.001>.

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: Elok Satiti Amitayani (PKSEN–BATAN)

- Beberapa konstruksi PLTN di dunia mengalami penundaan jadwal yang berakibat pada risiko finansial yaitu pembengkakan biaya. Jika hal ini terjadi di Indonesia khususnya dalam Pembangunan Reaktor Daya Eksperimental, prioritas utama apakah yang harus dilakukan untuk mengantisipasi agar tidak terjadi penundaan jadwal konstruksi tersebut?

JAWABAN: Dharu Dewi (PKSEN - BATAN)

- Beberapa prioritas utama yang harus dilakukan untuk mengantisipasi agar tidak terjadi penundaan jadwal konstruksi adalah:
 - perencanaan jadwal konstruksi harus benar-benar realistis sesuai dengan kondisi di Indonesia;
 - Kerangka Acuan Kerja (KAK) dalam proses penawaran pengadaan barang dan jasa PLTN harus jelas dan rinci sehingga tidak menimbulkan pertanyaan maupun pekerjaan tambah – kurang;
 - Sistem kendali proyek yakni kendali jadwal dan kendali biaya harus benar benar dipantau secara ketat dan dikomunikasikan secara terus menerus antara vendor dengan owner;
 - Hasil Studi Kelayakan oleh Konsultan harus dievaluasi secara cermat dan teliti sehingga lokasi tapak, pengkajian pendanaan, kajian risiko proyek, proses perizinan, dan teknologi yang dipilih, benar benar layak;
 - Perlu dilakukan kajian sistem manajemen risiko sebelum pelaksanaan konstruksi PLTN untuk mengidentifikasi kemungkinan risiko terbesar yang dapat terjadi.

2. PERTANYAAN: R. Arum Rijanti (PKSEN–BATAN)

- Risiko terjadinya penundaan jadwal konstruksi tergantung pada tipe pendekatan kontrak yang dipilih saat mau membangun PLTN. Secara umum, jenis pendekatan kontrak terdiri dari pendekatan kontrak putar kunci (*turnkey*), pendekatan paket terpisah (*split package contract*), pendekatan paket terpisah jamak (*multi package contract*). Apakah ada perbedaan yang lebih kompleks terhadap kemungkinan terjadinya keterlambatan jadwal pada ketiga tipe pendekatan kontrak tersebut?

JAWABAN: Dharu Dewi (PKSEN - BATAN)

- Dari ketiga jenis pendekatan kontrak PLTN, untuk pendekatan kontrak putar kunci (*turnkey*), koordinasi antar organisasi yang terlibat dalam kegiatan konstruksi menjadi lebih sederhana, risiko keterlambatan jadwal dapat diantisipasi, pengendalian manajemen proyek konstruksi PLTN lebih sederhana. Sedangkan jenis pendekatan kontrak paket terpisah (*split package*) dan pendekatan paket terpisah jamak (*multi package*), koordinasi antar organisasi yang terlibat semakin rumit, risiko keterlambatan jadwal menjadi sangat besar akibat koordinasi yang lebih banyak antara vendor, owner, subkontraktor, maupun industri manufaktur yang menyediakan material konstruksi.

3. PERTANYAAN: Nuryanti (PKSEN–BATAN)

- Jika pada saat konstruksi PLTN atau pembangunan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) telah terjadi penundaan jadwal dan pembengkakan biaya, maka langkah-langkah strategis apa yang diperlukan untuk mengantisipasi pekerjaan tersebut agar tetap berjalan sampai selesainya konstruksi?

JAWABAN: Dharu Dewii (PKSEN - BATAN)

- Komitmen dan kebijakan pemerintah harus kuat sejak awal atas keberlangsungan konstruksi PLTN walaupun ada pergantian pemimpin pemerintahan. Sumber pendanaan dan antisipasi terhadap kurangnya dana saat pekerjaan konstruksi berlangsung hendaknya telah tersedia dan disetujui oleh Pemerintah sejak awal sebelum masa konstruksi.

PEMANTAUAN GEMPA MIKRO DI CALON TAPAK PLTN MURIA JAWA TENGAH TAHUN 2015

Hajar Nimpuno Adi, Kurnia Anzhar

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir – BATAN,
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan 12710
Telp./Fax.: 021 - 5204243
email: hajar@batan.go.id

ABSTRAK

PEMANTAUAN GEMPA MIKRO DI CALON TAPAK PLTN MURIA JAWA TENGAH TAHUN 2015. Penyiapan data tapak merupakan kegiatan yang sangat penting dalam rangka persiapan pembangunan PLTN. Keakuratan data tapak merupakan faktor yang sangat penting sebagai masukan rancang bangun (dasar desain) PLTN yang berbasis keselamatan yang spesifik untuk setiap tapak. Data gempa mikro harus didukung oleh perangkat keras dan perangkat lunak dalam menangani akuisisi, pengolahan dan analisis. Tujuan kajian ini adalah untuk mengetahui kondisi kejadian gempa khususnya gempa mikro di sekitar calon tapak PLTN di wilayah Semenanjung Muria tahun 2015. Jaringan pemantauan gempa mikro di Semenanjung Muria terdapat di 8 (delapan) lokasi stasiun dan merekam data secara kontinyu. Pengolahan data hasil pemantauan gempa dilakukan dengan menggunakan software SEISAN. Hasilnya diperoleh bahwa selama tahun 2015 terekam sebanyak 690 kejadian gempa, dimana 50 kejadian gempa terletak dalam radius 150 Km dari tapak Ujung Blitar, 151 kejadian gempa dalam radius 150 Km – 500 Km, sedangkan gempa lainnya di luar radius 500 km. Kejadian gempa dalam radius 150 km memiliki rentang magnitudo antara 1,9 – 4,9 SR. Nilai percepatan tanah maksimum dari gempa terdekat pada tanggal 23 Oktober 2015 pukul 02:10:19 diperoleh sebesar 128,9 gal (0,129 G).

Kata kunci: Gempa mikro, Tapak PLTN, Muria.

ABSTRACT

MICROEARTHQUAKE MONITORING AT NPP CANDIDATE SITE MURIA CENTRAL JAVA IN 2015. Preparing site data is the most important activity in NPP programme. The accuracy of site data is importance as input in design basis engineering. Micro earthquake data must be supported by the good hardware and software in acquisition, processing and analyzing. The objective of this paper is to determine the condition of the earthquake event especially micro earthquake near NPP candidate site at Muria Peninsula in 2015. Micro earthquake monitoring network at Muria Peninsula located at 8 locations and record data continously. The data processing performed by using SEISAN Software. The result is during 2015 there are 690 earthquake events, consist of 50 events in radius 150 km from Ujung Blitar site, 151 events in radius between 150 – 500 km, and the remain more than 500km radius. The magnitude of the earthquake in 150 km radius is between 1,9 – 4,9 SR. The peak ground acceleration value from the nearest earthquake on October 23 2015 at 02:10:19 is 128.9 gal (0.129 G).

Keywords: Micro earthquake, NPP Site, Muria

PENDAHULUAN

Penyediaan data tapak dan lingkungan merupakan kegiatan yang sangat penting dalam rangka persiapan pembangunan PLTN. Keakuratan data tapak dan lingkungan merupakan faktor yang sangat penting sebagai masukan rancang bangun (dasar desain) PLTN yang berbasis keselamatan yang spesifik untuk setiap tapak. Pengembangan akuisisi data seismologi dimaksudkan sebagai pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak, sehingga dapat menangani akuisisi, pengolahan, analisis dan evaluasi data tapak terkait aspek seismologi.

Pemantauan gempa dilakukan untuk mengetahui kemungkinan resiko gempa terhadap bangunan. Makin besar resiko gempa maka akan makin mahal biaya pembangunan [1]. Kondisi kegempaan akan mempengaruhi bentuk dan struktur suatu bangunan. Dalam SNI tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur

Bangunan Gedung Dan Non-Gedung, pembangkit listrik biasa termasuk dalam kategori risiko IV [2]. Kajian probabilistik kegempaan didasarkan pada ilmu kebumiharian dan teknik kegempaan serta tingkat desain kegempaan bangunan berdasarkan magnitudo, lokasi dan percepatan tanah permukaan dari sumber gempa [3].

Tim ahli IAEA merekomendasikan untuk membuat jaringan pemantau gempa mikro yang melingkupi daerah Semenanjung Muria Jawa Tengah. Jaringan ini minimal mempunyai 8 (delapan) titik pemantauan [4,5]. Pemasangan alat pemantau gempa perlu dilakukan di beberapa lokasi di sekitar calon tapak Fasilitas nuklir [6,7].

Dalam akuisisi data dan analisis data gempa mikro, maka untuk memperoleh kemudahan dan efisiensi diperlukan perangkat lunak dan perangkat keras. Pemantauan gempa mikro merupakan persyaratan mutlak dalam studi tapak PLTN, sehingga harus dilakukan secara kontinyu untuk mendapatkan data yang lengkap. Saat ini pemantauan gempa mikro di Semenanjung Muria telah digunakan alat digital menggantikan alat analog. Dengan alat digital ini, hasil pengumpulan dan pengolahan data menjadi lebih akurat. Pengolahan data dilakukan dengan software SEISAN yang merupakan software yang berfungsi juga sebagai penyusun database gempa [8].

Tujuan kajian ini adalah untuk mengetahui kondisi kejadian gempa khususnya gempa mikro di sekitar calon tapak PLTN di wilayah Semenanjung Muria tahun 2015. Hasil yang diperoleh dapat digunakan sebagai bahan masukan bagi pemerintah daerah Kabupaten Jepara untuk menganalisis dan mengevaluasi gempa yang terjadi pada tahun 2015 di sekitar wilayah semenanjung Muria.

TEORI

Pengertian Gempa

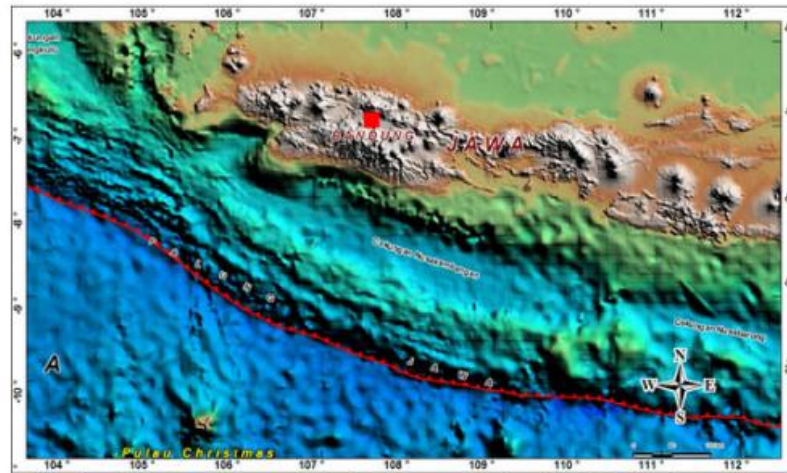
Gempa merupakan sebuah gerakan pada sumber yang menjalar ke permukaan bumi yang disebabkan oleh gangguan di dalam litosfir (lapisan kulit bumi). Mekanisme gangguan ini terjadi karena di dalam litosfer dengan ketebalan 100 km terjadi akumulasi energi akibat dari pergeseran kulit bumi itu sendiri. Litosfer mempunyai temperatur relatif jauh lebih rendah dibandingkan lapisan di bawahnya (mantel dan inti bumi) sehingga terjadi aliran konvektif. Massa bersuhu tinggi yang berada di lapisan astenosfir bersifat sangat kental yang mengalir secara perlahan. Akibat gerakan ini, maka kulit bumi terpecah-pecah menjadi bagian-bagian berupa lempengan yang saling bergerak satu sama lain, yang dikenal dengan lempeng tektonik. Umumnya gempa disebabkan dari pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan yang dilakukan oleh lempengan yang bergerak. Semakin lama tekanan itu kian membesar dan akhirnya mencapai suatu keadaan dimana tekanan tersebut tidak dapat ditahan lagi oleh pinggiran lempengan. Pada saat itulah gempa akan terjadi, yang energinya menjalar ke berbagai arah.

Gempa biasanya terjadi di perbatasan lempeng tektonik tersebut. Gempa yang paling kuat biasanya terjadi di perbatasan lempengan kompresional dan translasional. Gempa bumi yang pusatnya dalam kemungkinan besar terjadi karena materi lapisan litosfer yang terjepit ke dalam mengalami transisi fase pada kedalaman lebih dari 600 km [9].

Kondisi Geologi

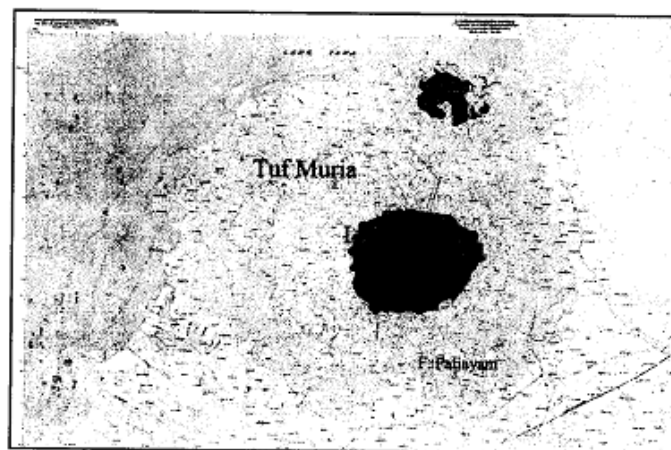
Berdasarkan karakteristik geologi dan kedudukan fisiografi regional, wilayah laut Indonesia dibagi menjadi zona dalam (*inboard*) dan luar (*outboard*) yang menempati regim zona tambahan (*contiguous*), Zona Ekonomi Eksklusif dan Landan Kontinen. Bagian barat zona dalam ditempati oleh Paparan Sunda (*Sunda Shelf*) yang merupakan sub-sistem dari lempeng benua Eurasia, dicirikan oleh kedalaman dasar laut maksimum 200 m yang terletak pada bagian dalam gugusan pulau-pulau utama yaitu Sumatera, Jawa, dan Kalimantan.

Lempeng samudera bergerak menunjam lempeng benua membentuk zona penunjaman aktif, sehingga wilayah perairan Indonesia di bagian barat Sumatera dan selatan Jawa disamping mempunyai potensi aspek geologi dan sumberdaya mineral juga berpotensi terjadinya bencana geologi (gempa, tsunami, longsor pantai dan gawir laut). Lempeng Samudera India merupakan kerak yang tipis yang ditutupi laut dengan kedalaman antara 1.000 – 5.000 meter. Lempeng Samudera (*Oceanic Crust*) dan lempeng benua (*Continental Crust*) dipisahkan oleh Zona Penunjaman (*Subduction Zone*) dengan kedalaman antara 6.000-7.000 meter yang membujur dari barat Sumatera, selatan Jawa hingga Laut Banda bagian barat yang disebut Java Trench (Parit Jawa). Beberapa patahan yang muncul di sekitar palung laut ini dapat reaktif kembali [10]. (Gambar 1).



Gambar 1. Geomorfologi palung samudra di sebelah selatan Jawa [10]

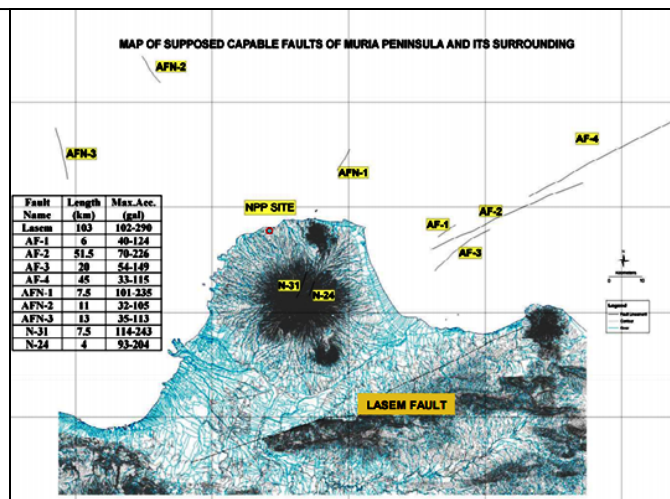
Sebelah utara daerah Semenanjung Muria berbatasan dengan Laut Jawa. Keadaan geografi lokasi pemantauan, berada di sekitar Gunung Muria yang merupakan gunung api strato dengan ketinggian puncak 1596 mdpl, yang terletak di Kabuten Jepara, Kabupaten Kudus, dan Kabupaten Pati propinsi Jawa Tengah. Geomorfologi lokasi pemantauan merupakan daerah perbukitan dengan kemiringan landai sampai curam. Gunung Muria termasuk zona gunung api kuartar [11]. Litologi Gunung Muria terdiri dari lava basal yang termasuk ke dalam Lava Muria sedangkan tuf pasiran dan lahar termasuk dalam Tuf Muria. Lava Muria dan Tuf Muria merupakan produk dari Gunung Muria. Batu gamping dan batu gamping pasiran termasuk dalam Formasi Ngrayong dan Formasi Bulu (Gambar 2). Pemantauan kegempaan diperlukan untuk melihat kondisi aktivitas Gunung Maar di wilayah Semenanjung Muria [12]. Pemantauan gempa dapat digunakan untuk mendeteksi aktivitas magma dan hidrothermal di sekitar gunung api [13].



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Semenanjung Muria

Kondisi Patahan

Berdasarkan gambaran citra satelit, di wilayah Semenanjung Muria terdapat beberapa struktur patahan yaitu patahan Tempur di bagian utara, patahan Rahtawu di bagian Selatan Gunung Muria dan patahan Lasem yang berada di bagian tenggara wilayah Semenanjung Muria [14] (Gambar 3). Kondisi tersebut dapat mengakibatkan terjadinya gempa lokal yang berasal dari aktivitas Gunung Muria maupun patahan-patahan di sekitarnya. Pemantauan gempa mikro dilakukan untuk memantau kejadian gempa kecil yang terjadi akibat gerakan pada patahan [15]



Gambar 3. Peta patahan-patahan di sekitar Semenanjung Muria [14]

Rekomendasi IAEA

Dalam rekomendasi IAEA (2006) dinyatakan bahwa data penting yang dikumpulkan diantaranya adalah data gempa yang diperoleh menggunakan jaringan gempa mikro lokal di sekitar tapak PLTN [4]. Pada rekomendasi IAEA (1997) disebutkan bahwa untuk memasang jaringan pemantau gempa mikro disyaratkan sebanyak 8 (delapan) stasiun yang melingkupi daerah Semenanjung Muria [5]. Sejak tahun 2011 terpasang sebanyak 8 (delapan) stasiun dalam jaringan pemantau gempa mikro Semenanjung Muria.

Percepatan Tanah Maksimum

Gempa menghasilkan nilai percepatan tanah akibat percepatan gelombang yang sampai ke permukaan bumi. Percepatan tanah maksimum (PGA) adalah parameter penting dalam menggambarkan kekuatan getaran gempa. Pengukuran dan perhitungan percepatan tanah yang diakibatkan oleh gempa sangat dibutuhkan, dengan diketahuinya nilai percepatan tanah maksimum, maka dapat diketahui daerah mana yang rawan terhadap gempa bumi [16]. Percepatan tanah maksimum merupakan salah satu metoda analisis dalam perencanaan infrastruktur tahan gempa. [17]. Hasil kajian sebelumnya, nilai percepatan tanah maksimum di permukaan pada calon tapak PLTN di Semenanjung Muria sebesar 281 gal [18].

METODOLOGI

Peralatan

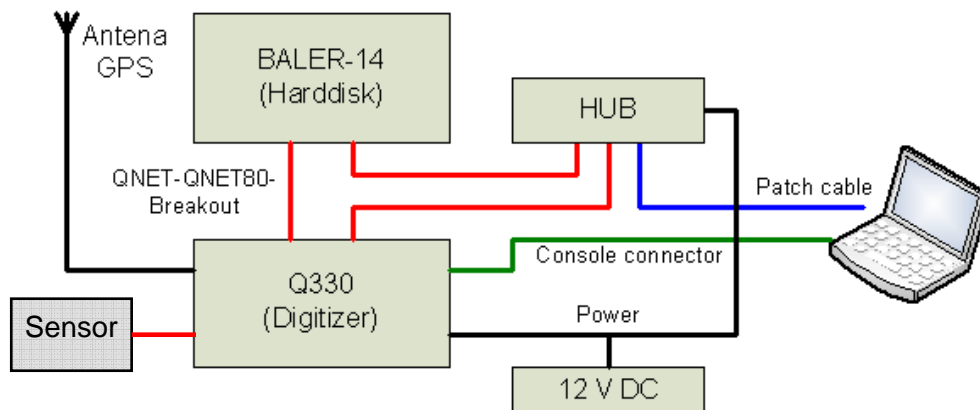
Peralatan yang digunakan dalam pemantauan gempa seperti terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Peralatan setiap Stasiun Gempa

No.	Nama	Spesifikasi
1.	Baller	Quanterra (PB 14F)
2.	Data Logger	Quanterra Q330 (110900-03-PL)
3.	Sensor Triaxial	Lennnartz (LE-3D / 1s lite)
4.	HUB	Lynksys (SD 205)
5.	GPS Antena	Trimble
6.	Automatic Charger	SHINYOKU SC 990 (12V – 10A)
7.	Solar Cell	80W
8.	Battery	Delkor Calcium Battery 75D26R NS70MF

Konfigurasi peralatan pemantauan gempa pada setiap stasiun gempa mikro di Semenanjung Muria diperlihatkan pada Gambar 4. Sensor berfungsi sebagai penangkap getaran akibat gempa, terhubung ke data logger yang berfungsi sebagai digitizer. Baler

berfungsi sebagai penyimpan data juga terhubung ke data logger. Hub berfungsi sebagai penghubung ketika dilakukan pengambilan data.



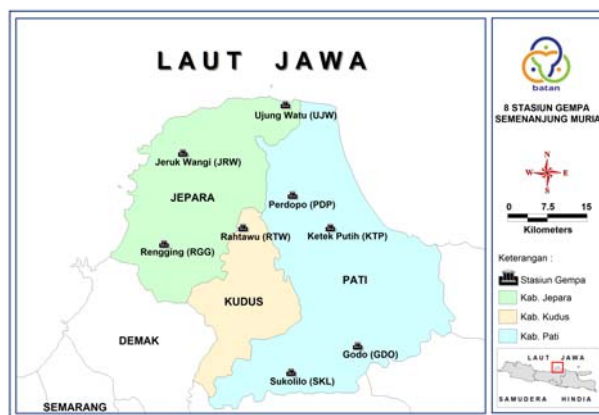
Gambar 4. Konfigurasi peralatan di setiap stasiun gempa

Lokasi

Lokasi pemantauan gempa mikro di Semenanjung Muria terpasang pada 8 (delapan) lokasi yang terlihat pada Gambar 5. dan Tabel 2.

Tabel 2. Lokasi Stasiun Gempa Mikro di Semenanjung Muria

No	Stasiun	Kabupaten	Latitude	Longitude	Elevasi	Kode
1	Ujungwatu	Jepara	6°25'08.6" S	110°56'50.5"E	12 m	UJW
2	Karanggondang	Jepara	6°30'49.0" S	110°42'48.0"E	75 m	KRG
3	Perdopo	Pati	6°34'51.9" S	110°58'25.1"E	226 m	PDP
4	Rengging	Jepara	6°41'01.5" S	110°42'48.9"E	34 m	RGG
5	Ketek Putih	Pati	6°29'10.9" S	111°01'56.5"E	79 m	KTP
6	Godo	Pati	6°52'46.7" S	111°05'01.3"E	82 m	GDO
7	Rahtawu	Kudus	6°39'09.4" S	110°51'55.6"E	489 m	RTW
8	Sukolilo	Pati	6°55'43.3" S	110°57'28.1"E	53 m	SKL



Gambar 5. Peta Jaringan Stasiun Gempa Mikro di Semenanjung Muria

Pengolahan Data Gempa

Pada tulisan ini, data yang diolah merupakan data hasil pemantauan gempa mikro tahun 2015. Untuk mengolah data gempa digunakan perangkat lunak SEISAN. SEISAN merupakan salah satu perangkat lunak dan penyusun database data gempa baik analog maupun digital yang dapat dipakai secara terbuka dan masih berkembang. SEISAN dikembangkan oleh para ahli seismologi pada jurusan Fisika Bumi Universitas Bergen Norwegia [8].

Penentuan gempa dilakukan dengan masukan waktu tiba gelombang P dan S di lokasi masing-masing stasiun. Kemudian ditentukan parameter gempa antara lain waktu kejadian gempa, lokasi (lintang, bujur dan kedalaman) serta magnitudo gempa [8,19,20,21]. Dalam penentuan parameter tersebut dipersyaratkan nilai RMS hasil pengolahan lebih kecil dari 1 [22].

Selain itu juga dilakukan perhitungan percepatan tanah maksimum (*Peak Ground Acceleration*) untuk mengetahui pengaruh gempa di lokasi calon tapak. Perhitungan percepatan tanah maksimum digunakan persamaan yang diturunkan oleh Mc Guire [23,24] yang merupakan fungsi dari magnitudo gempa dan jarak sumber gempa ke lokasi tapak. Persamaan percepatan tanah maksimum metode Mc Guire sebagai berikut :

$$E(v) = a10^{bM} (R + 25)^{-c} \quad (1)$$

dimana:

E = Percepatan tanah maksimum (gal)

M = Magnitudo gempa

R = Jarak (km)

a = 472

b = 0,278

c = 1,301

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data gempa yang terekam dari stasiun gempa mikro BATAN Muria Jawa Tengah selama tahun 2015 diperoleh hasil sebanyak 690 kejadian gempa. Tidak semua kejadian gempa diolah, hanya gempa dalam radius 500 km dengan rekaman baik dan minimal terekam pada 4 stasiun yang dapat diolah. Data rekaman yang dapat diolah sebanyak 201 kejadian gempa.

Hasil pengolahan kejadian gempa diklasifikasi berdasarkan kedalaman gempa diperoleh kejadian gempa dangkal (0 - 60 km) terdapat 186 kejadian, gempa menengah (60 - 300 km) terdapat 15 kejadian dan gempa dalam (> 300 km) tidak ditemukan (Tabel 3). Sedangkan hasil klasifikasi kejadian gempa berdasarkan magnitudo diperoleh gempa ultra mikro ($M < 1,0$) tidak ada, gempa mikro ($1,0 < M < 3,0$) sebanyak 115 kejadian, gempa kecil ($3,1 < M < 4,0$) sebanyak 75 kejadian dan gempa sedang ($M > 4$) sebanyak 11 kejadian (Tabel 4).

Tabel 3. Distribusi gempa berdasarkan kedalaman

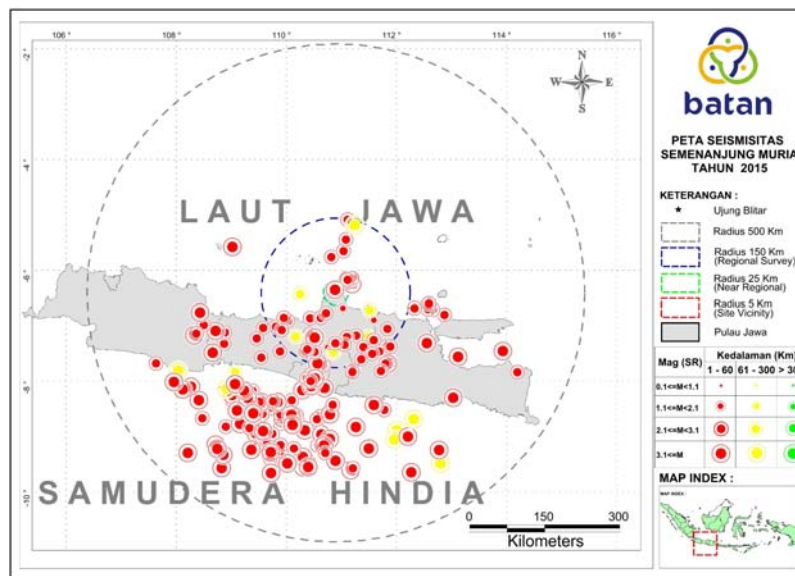
No	Gempa	Kedalaman (km)	Jumlah	Prosentase
1	Dangkal	≤ 60	186	92.54%
2	Menengah	60 - 300	15	7.46%
3	Dalam	> 300	0	0.00%

Tabel 4. Distribusi gempa berdasarkan magnitudo

No	Magnitudo (SR)	Jumlah	Prosentase
1	0.1 - 1.0	0	0.0%
2	1.1 - 3.0	115	57.2%
3	3.1 - 4.0	75	37.3%
4	> 4.0	11	5.5%

Hasil pengeplotan distribusi kejadian gempa dapat dilihat pada Gambar 6. Terlihat bahwa sebagian besar gempa terjadi di sebelah selatan Pulau Jawa, ini menunjukkan kejadian gempa di jalur subduksi selatan Jawa. Kemudian juga terdapat kejadian gempa di Pulau Jawa yang berhubungan dengan adanya patahan yang sudah teridentifikasi di sepanjang Pulau Jawa. Kejadian gempa di utara Pulau Jawa terkait dengan adanya patahan di dasar Laut Jawa. Kejadian di utara Pulau Jawa ini banyak terjadi di sekitar kepulauan Karimun Jawa. Secara umum jika dibandingkan dengan sebaran gempa dari USGS terlihat hampir sama (Gambar 7).

Hasil pengolahan data gempa menunjukkan bahwa kejadian gempa dengan magnitudo terendah dengan nilai 1,9 SR terjadi pada tanggal 21 Juni 2015 pukul 19:42:11 UTC atau pada tanggal 22 Juni 2015 pukul 03:42:11 waktu lokal, dengan episenter gempa di Boyolali. Gempa dengan magnitudo tertinggi terjadi pada tanggal 11 Nopember 2015 pukul 11:45:25 UTC atau 18:45:25 waktu lokal, dengan nilai 5,2 SR dan episenter gempa di Laut Selatan Bantul. Berdasarkan jarak dari calon tapak PLTN di Ujung Blitar, maka jumlah kejadian gempa dalam radius kurang dari 25 km hanya terdapat 1 kejadian sedangkan dalam radius 150 km sebanyak 50 kejadian.



Gambar 6. Peta Sebaran Gempa di Sekitar Semenanjung Muria Radius 500 Km.



Gambar 7. Peta Sebaran Gempa di Sekitar Semenanjung Muria Radius 500 Km dari USGS [25].

Hasil perhitungan nilai percepatan tanah maksimum dilakukan hanya pada gempa terdekat yaitu kejadian gempa pada tanggal 22 Oktober 2015 pukul 18:10:19 UTC atau

tanggal 23 Oktober 2015 pukul 02:10:19, dengan magnitudo 4,9 SR, dengan episenter gempa di Barat Laut Pulau Mandalika, Jepara, Jawa Tengah diperoleh nilai percepatan tanah 128,9 gal (0,129 G). Nilai percepatan tanah maksimum ini menunjukkan bahwa lokasi calon tapak PLTN akibat gempa terdekat masih tidak terganggu jika bangunan PLTN dibangun dengan nilai percepatan tanah maksimum 0,3 G.

KESIMPULAN

Selama tahun 2015, pemantauan gempa mikro Muria Jawa Tengah telah terekam sebanyak 690 kejadian gempa. Jumlah kejadian gempa dalam radius kurang dari 25 km hanya terdapat 1 kejadian sedangkan dalam radius 150 km sebanyak 50 kejadian. Nilai percepatan tanah maksimum dari gempa terdekat pada tanggal 23 Oktober 2015 pukul 02:10:19 diperoleh sebesar 128,9 gal (0,129 G).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional atas data dan kerjasama dalam penyusunan tulisan ini. Makalah ini merupakan bagian dari diseminasi hasil kegiatan Pemantauan Kegempaan, Meteorologi dan Lingkungan di Wilayah Tapak Muria di PKSEN-BATAN.

DAFTAR PUSTAKA

1. PETER FOLGER, "Earthquakes: Risk, Detection, Warning, and Research", Congressional Research Service, (2013).
2. SNI 1726:2012, "Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non-gedung", Badan Standardisasi Nasional, (2012).
3. ROBIN K. MCGUIRE, "Probabilistic seismic hazard analysis: Early history", Earthquake Engineering And Structural Dynamics, (2008).
4. IAEA, "Report Engineering Safety Review Services Site Safety Review Mission: Review of Status of Site Evaluation Studies at Muria Peninsula NPP Site", Jakarta, (2006).
5. IAEA, "Report of the Site Safety Review Mission: Final Review of the Site Studies at Muria Peninsula (Indonesia)", Jakarta, (1997).
6. PERKA BAPETEN No. 8 Tahun 2013, "Evaluasi Tapak Instalasi Nuklir Untuk Aspek Kegempaan", BAPETEN, Jakarta, (2013).
7. IAEA Safety Standards Series No. SSG-9, "Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations", IAEA, Vienna, (2010).
8. A. V. KONOVALOV, A. A. STEPNOV, AND V. N. PATRIKEEV, "SEISAN Software Application for Developing an Automated Seismological Data Analysis Workstation", Seismic Instruments, Vol. 48, No. 3, pp. 270–281., (2012).
9. BADRUL MUSTAFA, Analisis Gempa Nias Dan Gempa Sumatera Barat Dan Kesamaannya Yang Tidak Menimbulkan Tsunami", Jurnal Ilmu Fisika (JIF), Vol 2 No 1, (2010)
10. SUBAKTIAN LUBIS, "Bentuk Geomorfologi Dasar Laut Pada Tepian Lempeng Aktif Di Lepas Pantai Barat Sumatera Dan Selatan Jawa, Indonesia", Puslitbang Geologi Kelautan (PPPGL), Bandung, (2016)
11. VAN BEMMELEN, "The Geology of Indonesia" Martinus Nighoff The Hague, Netherland, (1949).
12. SUTIKNO BRONTO dan SRI MULYANINGSIH, "Gunung api maar di Semenanjung Muria", Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 2 No. 1, hal. 43-54, (2007).
13. MATTHEW WILKS DKK, "Seismicity associated with magmatism, faulting and hydrothermal circulation at Aluto Volcano, Main Ethiopian Rift", Journal of Volcanology and Geothermal Research, 340, 52-67, (2017).
14. NTT, Feasibility Study of Nuclear Power Plant at Muria Peninsula, Central Java, Indonesia, National Technical Team, Jakarta, (1998).
15. PAUL SAVA, "Micro-earthquake Monitoring with Sparsely Sampled Data", J. Petrol Explor Prod Technol, 1:43-49, (2011).
16. MARLISA DKK, "Analisis Percepatan Tanah Maksimum Wilayah Sumatera Barat (Studi Kasus Gempa Bumi 8 Maret 1977 dan 11 September 2014)", Jurnal Fisika Unand, Vol. 5, No. 1, (2016).
17. MASYHUR IRSYAM DKK, "Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010", Tim Revisi Peta Gempa Indonesia, (2010).

-
18. MASYHUR IRSYAM DKK, "Analisis Seismisitas Untuk Semenanjung Muria", *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, Vol. 2 No. 1, Hal 73-92, (2000)
 19. JENS HAVSKOV, LARS OTTEMÖLLER, "Routine Data Processing in Earthquake Seismology", Springer, (2010).
 20. JENS HAVSKOV, LARS OTTEMÖLLER, PETER VOSS, "Introduction to SEISAN and Computer Exercise in Processing Earthquake Data with SEISAN", (2015).
 21. OTTEMÖLLER, LARS and HAVSKOV, "SEISAN Earthquake Analysis Software for Windows, Solaris, Linux and Macosx, 2016, (2016).
 22. BMG. Laporan Penyelidikan Gempa Mikro di daerah Muria untuk keperluan Proyek PLTN di daerah Muria Jawa Tengah, Jakarta, (1981).
 23. NEWJEC, Final Report on Seismology, (1997).
 24. DOUGLAS, J., "Ground-motion prediction equations 1964–2010", BRGM/RP-59356-FR, 444 pages, 9 illustrations, (2011).
 25. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> di akses tanggal 12 Desember 2016.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

KAJIAN IMPLEMENTASI PLTN DI INDONESIA: PEMBELAJARAN DARI NEGARA PENDATANG BARU

Sahala Maruli Lumbanraja, Rr. Arum Puni Rijanti

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir-BATAN
Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan-Jakarta
Telp./Fax: 021-5204243
e-mail: sahalal@batan.go.id

ABSTRAK

KAJIAN IMPLEMENTASI PLTN DI INDONESIA: PEMBELAJARAN DARI NEGARA PENDATANG BARU. Pertumbuhan penduduk dan peningkatan gaya hidup masyarakat Indonesia berimplikasi pada pertumbuhan kebutuhan energi listrik. Ketersediaan dan keamanan energi listrik merupakan prasyarat pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan penduduk. PLTN merupakan sumber energi yang telah banyak dimanfaatkan beberapa negara di dunia dan telah berkontribusi hingga 11,5 % dari kebutuhan energi primer di dunia. Tujuan dari studi ini adalah untuk mempelajari berbagai kendala dari aspek politik, sosial, ekonomi, pendanaan, sumber daya manusia, dan perijinan yang timbul selama implementasi pra proyek hingga pembangunan PLTN. Kajian dilakukan dengan studi pustaka dari beberapa kasus kegagalan dan keterlambatan proyek pembangunan PLTN di dunia dan beberapa proyek infrastruktur di Indonesia. Keterlambatan penyelesaian proyek dan kegagalan implementasi PLTN umumnya disebabkan oleh perubahan politik, penolakan masyarakat, krisis ekonomi, keterbatasan pendanaan, kendala perijinan, ketersediaan dan kemampuan SDM yang kurang, juga keterlambatan dan/atau ketidakjujuran vendor dan supplier untuk memasok kebutuhan proyek sesuai kontrak. Kegagalan implementasi PLTN di Indonesia disebabkan oleh kurangnya dukungan politik, sedangkan keterlambatan penyelesaian proyek terutama disebabkan oleh keterlambatan penyelesaian perijinan, dan pembebasan lahan. PLTN yang akan dipilih sebaiknya dari vendor dan supplier yang dapat dipercaya dan masih aktif beroperasi. Indonesia harus mempersiapkan semua infrastruktur secara baik dan cermat untuk mengurangi resiko yang mungkin timbul.

Kata kunci: SDM, *vendor*, *supplier*, teknologi, resiko

ABSTRACT

IMPLEMENTATION STUDY OF NPP IN INDONESIA: LEARNING FROM NEWCOMERS COUNTRY. Population growth and improving the lifestyles of Indonesians have implications for the growing demand for electrical energy. The availability and security supply of electrical energy is a prerequisite for economic growth and the well-being of the population. Nuclear power plant is a source of energy that has been used by many countries in the world and has contributed up to 11.5% of the primary energy needs in the world. The purpose of this study is to assess the various constraints from the political, social, economic, funding, human resources, and regulation aspects that arise during the pre-project implementation to the construction of the nuclear power plant. The study was conducted by literature study of several cases of failure and delay in the construction of nuclear power plants in the world and some infrastructure projects in Indonesia. The delay in project completion and the failure of the NPP implementation is largely due to political changes, community resistance, economic crisis, limited funding, licensing constraints, lack of availability and capacity of human resources, as well as delays and / or dishonesty of vendors and suppliers to supply project needs according to contract. The failure of the implementation of nuclear power plants in Indonesia is caused by the lack of political support, while the delay in the completion of the project is mainly due to delays in the completion of permits, and land acquisition. The NPP to be selected should be from vendors and suppliers that have been trusted and still actively operating. Indonesia must prepare all infrastructure well and carefully to reduce the risk that may arise.

Keywords: human resources, *vendor*, *supplier*, NPP, risk

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk, ekonomi, serta perkembangan gaya hidup masyarakat suatu negara akan berimplikasi pada pertumbuhan permintaan akan energi. Dalam Peraturan Presiden Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional dinyatakan bahwa pemanfaatan listrik per kapita 2500 kWh (kapasitas terpasang 115 GWe) pada tahun 2025 hingga mencapai 7000 kWh (430 GWe) pada tahun 2050[1]. Peningkatan kebutuhan ini akan dipasok dari energi baru terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 hingga mencapai 31% pada tahun 2050. PLTN merupakan salah satu energi baru yang diamanatkan pada kebijakan ini, tetapi hanya sebagai opsi terakhir.

Implementasi pemanfaatan PLTN mempunyai implikasi kontroversial di masyarakat khususnya pada keselamatan operasionalnya. Hal ini terjadi karena dampak kecelakaan dari PLTN Chernobyl dan PLTN Fukushima Daiichi sangat luas diberitakan di media massa, juga karena ketakutan terhadap limbah nuklir dan kemungkinan penyalahgunaan bahan nuklir untuk tujuan negatif, seperti terorisme.

Alasan pemanfaatan PLTN sebagai salah satu alternatif sumber energi disebabkan berbagai pertimbangan, seperti keamanan energi (*energy security*), keandalan pasokan, ramah lingkungan, dan lain-lain. PLTN merupakan sumber energi yang sangat efisien dan telah berkontribusi sebesar 11,5% dari total kebutuhan energi dunia, bahkan ada 3 besar negara yang telah memanfaatkan PLTN untuk mensuplai lebih dari 50% dari total kebutuhan energinya, seperti Perancis sebesar 72,3%, Slovakia sebesar 54,1%, dan Hongaria sebesar 51,3%[2,3].

Proyek pembangunan PLTN merupakan kasus unik/khusus bagi suatu negara karena beresiko tinggi baik dari segi investasi maupun keselamatan operasionalnya. Penolakan masyarakat terhadap PLTN juga akan meningkatkan resiko terhadap kenyamanan investor untuk menanamkan modalnya. Peran media sangat mempengaruhi kerangka berpikir masyarakat terhadap suatu teknologi pembangkit listrik. Investor sangat sensitif dan sangat hati-hati terhadap kondisi ekonomi dan politik suatu negara ketika hendak menanamkan modalnya. Umumnya, prinsip yang dianut sebagian besar negara/investor untuk menginvestasikan modalnya pada satu proyek adalah "*low risk and high gain*", sementara investasi di sektor PLTN adalah "*high risk and high gain*".

Kajian ini bertujuan untuk mempelajari berbagai kendala akibat dari aspek politik, sosial, ekonomi, pendanaan, sumber daya manusia, dan perijinan yang timbul selama implementasi pra proyek hingga operasional PLTN.

TEORI

Implementasi PLTN membutuhkan persiapan dan waktu yang cukup panjang. Oleh karena itu, pada tahun 1972, pemerintah Indonesia membentuk Komisi Persiapan Pembangunan PLTN (KP2-PLTN) dan pada tahun 1985 Batan-Sofratome menandatangani perjanjian kerjasama untuk mengkaji strategi energi nuklir Indonesia. Pada tahun 1992 mulai dilakukan studi kelayakan PLTN pertama yang akan dibangun di tapak Semenanjung Muria oleh Framatome-GEC Alstom Perancis[4] dan perusahaan Newjtec-Jepang pada tahun 1993[5]. Beberapa provinsi seperti provinsi Banten, Bangka Belitung, Kepulauan Riau, Kalimantan Barat dan Kalimantan Timur sangat tertarik agar di wilayahnya dibangun PLTN. Pro-kontra pemanfaatan PLTN sebagai sumber energi listrik masih menjadi perdebatan tiada habisnya di dunia, khususnya di Indonesia dengan berbagai faktor yang melatarbelakanginya.

Status PLTN di Dunia[2,3]

Jumlah PLTN yang dioperasikan oleh 30 negara di dunia hingga 1 Mei 2017 sebanyak 447 unit dengan daya pembangkitan sebesar 392.080 MWe, sedangkan dalam tahap pembangunan sebanyak 59 unit dengan daya sebesar 63.440 MWe di 14 negara di dunia yang didominasi oleh Cina (21 unit), Rusia (7unit), India (5 unit), Uni Emirat Arab (4 unit), Korea Selatan & Pakistan (masing masing 3 unit), Belarus, Sloakia & Jepang (masing-masing 2), serta Argentina, Brazil, Finlandia & Perancis (masing-masing 1 unit). Sementara dalam tahap perencanaan sebanyak 170 PLTN dengan daya 177.817 MWe yang tersebar di 25 negara, yang didominasi oleh Cina (41 unit), Rusia (26 unit), India (20 unit), Amerika Serikat (16 unit), Jepang (9 unit), dan negara-negara lain masing-masing ≤ 4 unit.

Implementasi PLTN untuk Negara Pendetang Baru

Menurut IAEA Nuclear Energy Series No. NG-G-3.1 dan NG-G-3.1 tentang pengembangan infrastruktur PLTN menyatakan bahwa ada 3 fase program pengembangan PLTN pertama di suatu Negara[6,7], yaitu:

Fase 1: Pertimbangan sebelum diambil keputusan meluncur program PLTN

Fase 2: Persiapan konstruksi PLTN setelah keputusan diambil

Fase 3: Aktivitas untuk mewujudkan PLTN pertama

Fase 1 merupakan tahap kaji diri (seft assessment) terhadap 19 aspek di suatu negara yang terdiri dari posisi nasional, keselamatan nuklir, manajemen, pendanaan, kerangka kerja legeislasi, kerangka kerja regulasi, proteksi radiasi, jaringan listrik, sumber daya manusia, keterlibatan pemangku kepentingan, tapak & fasilitas pendukung, proteksi lingkungan, perencanaan kedaruratan, pengamanan, siklus bahan bakar nuklir, limbah radioaktif, keterlibatan industri, dan pengadaan.

Menurut Farrel (2003) sukses tidaknya implementasi sebuah proyek sangat tergantung pada pertimbangan semua resiko yang akan terjadi selama umur ekonomis proyek tersebut[8]. Resiko merupakan faktor paling kritis dari konsep pendanaan proyek tersebut. Sedangkan menurut Yescombe (2006), resiko dibagi atas tiga grup, yaitu resiko komersial, resiko pendanaan dan resiko politik[9]. Risiko yang sering muncul pada setiap proyek pembangunan adalah risiko sosial, risiko teknis, risiko ekonomi, risiko lingkungan dan risiko politik[10-12]. Menurut *International Construction Risk Assesment Model* (ICRAM) ada tiga kategori utama dari risiko, yaitu risiko pada level makro risiko operasional, risiko politik, dan risiko pendanaan), risiko yang termasuk dalam pasar konstruksi (risiko teknologi, risiko hukum, risiko budaya, dan risiko perubahan pasar), dan risiko dalam level proyek risiko manajemen proyek, risiko eknologi, risiko bencana alam, risiko pendanaan, risiko kontrak, risiko kualitas, dan risiko cuaca[10,13]. Risiko pada level makro terdiri dari risiko operasional, risiko politik, dan risiko pendanaan. Resiko komersial disebabkan oleh proyek itu sendiri, misalnya faktor kapasitas pembangkit saat operasi lebih rendah daripada spesifikasi teknis yang ditawarkan.

Aspek yang perlu dipertimbangkan pada resiko komersial proyek adalah resiko kontrak, resiko kegagalan, resiko operasi, resiko pendapatan, resiko lingkungan, dan lain-lain. Resiko pendanaan sangat dipengaruhi oleh faktor ekonomi global ketika proyek tersebut direalisasikan, misalnya faktor resiko inflasi, resiko bunga, dan nilai tukar mata uang.

Suatu proyek pembangkit harus direncanakan secara detil dalam database yang terdiri dari tahun proyek dimulai, lokasi proyek, nama, ukuran daya, estimasi biaya konstruksi, biaya konstruksi aktual, dan jika tersedia estimasi waktu konstruksi dan waktu konstruksi aktual[10,14-16]. Manajemen proyek dibutuhkan untuk menangani dan mengelola risiko sehingga keberhasilan proyek dapat dicapai dan dijamin. Manajemen risiko merupakan komponen penting dari manajemen proyek[10,17]

Pemangku kepentingan merupakan faktor utama yang menentukan keberhasilan dan kegagalan sebuah proyek pembangunan PLTN. Faktor utama dari pemangku kepentingan terdiri dari kontraktor utama, pemilik, regulator, pemberi dana dan negara[12]. Menurut PT Perusahaan Listrik Negara (Persero), secara umum ada empat hal yang menghambat dan membuat pembangunan proyek sulit berjalan. Empat hal tersebut adalah masalah pembebasan lahan, perizinan, tuntutan hukum, dan kerjasama dengan pihak ketiga[18].

PLTN merupakan pembangkit listrik beresiko tinggi, baik dari segi investasi maupun dari segi operasionalnya. Pembangunan PLTN membutuhkan *overnight cost* yang sangat besar, terendah di Korea Selatan sebesar US\$ 2021/kWe dan tertinggi di Hongaria sebesar 6215/kWe[19]. Biaya ini sangat tergantung pada jenis teknologi yang digunakan dan kondisi lokasi tapaknya. Resiko investasi semakin besar jika waktu konstruksi bertambah panjang yang disebabkan berbagai kendala, seperti keterlambatan perizinan, kemampuan SDM, banyaknya sub-kontraktor yang terlibat, dan lain lain. Kegagalan operasi dapat mengakibatkan kecelakaan nuklir dan lepasnya bahan radioaktif ke lingkungan. Kecelakaan nuklir yang paling umum terjadi diakibatkan oleh bencana alam, cacat teknologi dan kesalahan manusia (*human error*).

METODOLOGI

Mendefinisikan ruang lingkup kajian, pertama: membatasi bidang kajian pada aspek, politik, sosial, ekonomi, sumber daya manusia, perijinan, dan pendanaan; kedua: menentukan beberapa kasus yang pernah terjadi (kajian dan diskusi acuan), seleksi acuan, ekstraksi (penilaian kualitas baik secara kualitas maupun perbandingan), dan eksekusi permasalahan (baik secara kualitatif maupun perbandingan, dan penulisan kajian) tentang resiko dan keuntungan implementasi PLTN di Indonesia berdasarkan pengalaman beberapa negara di dunia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

PLTN merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan, aman, dan ekonomis. PLTN telah berperan cukup besar untuk mensuplai energi listrik yang dibutuhkan, yaitu sebesar 392.080 MWe yang disuplai dari 447 unit. PLTN mempunyai kelebihan dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya. Untuk membangkitkan daya yang sama besar, PLTN membutuhkan lahan lebih sedikit, bahan bakar lebih sedikit, biaya operasi dan perawatan lebih kecil. Biaya operasional dari pembangkit listrik sangat dipengaruhi oleh biaya bahan bakar pembangkit tersebut. Pembangkit listrik berbahan bakar fosil sangat rentan terhadap perubahan harga bahan bakar, sedangkan PLTN hanya sedikit dipengaruhi kenaikan bahan bakarnya. Tetapi PLTN merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan dan hemat bahan bakar. Untuk membangkitkan daya listrik sebesar 1000 MWe, PLTN hanya membutuhkan 27 ton uranium diperkaya, sedangkan PLTU membutuhkan sekitar 2,6 juta ton batubara, atau dengan kata lain 1 kg uranium diperkaya setara dengan 100.000 kg batubara[2].

Pada dekade 1970 dan 1980-an, umumnya jarak waktu pembangunan PLTN di dunia satu dengan lainnya berjalan relatif homogen, tetapi pada dua dekade terakhir ini, waktu konstruksi antara satu dengan yang lain semakin lebar jaraknya. Pada tahun 2014, ada dua reaktor yang mulai beroperasi (*start-up*), yaitu di Cina dan di Argentina yang masing-masing dibangun dengan waktu 5,2 tahun dan 32,9 tahun. PLTN Athucha 2 Argentina yang paling terakhir mulai beroperasi (*start up*) yaitu pada 27 Juni 2014, seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Waktu Konstruksi PLTN yang *Start-up* mulai 2005 hingga Juli 2015 [10,20]

Negara	Unit	Waktu Rerata (Tahun)	Minimum (Tahun)	Maksimum (Tahun)
Cina	13	5,9	4,4	11,2
India	7	7,4	5,1	11,6
Jepang	4	4,4	3,8	5,1
Korea Selatan	4	4,5	4,0	5,3
Rusia	3	23,8	19,2	26,8
Ukraina	2	18,8	18,2	19,5
Argentina	1	32,9	32,9	32,9
Iran	1	36,3	36,3	36,3
Pakistan	1	5,3	5,3	5,3
Rumania	1	24,1	24,1	24,1
Total	37	10	3,8	36,3

Implementasi program dan pembangunan PLTN di negara-negara baru dalam industri nuklir mengalami beberapa masalah [20,21], seperti negara-negara berikut:

- Uni Emirat Arab (*Emirates Nuclear Energy Corp*, ENEC) menandatangani kontrak (*fixed price*) dengan Korea Selatan (*Korean Electric Power Corp.*) untuk membangun 4 unit PLTN pada tahun 2009 dengan nilai US\$ 20 milyar untuk konstruksi, komisioning dan bahan bakar pertama. Barakah unit 1 mulai dibangun tahun 2015 dan diperkirakan beroperasi tahun 2017, selanjutnya unit 2 sampai unit 4 dibangun secara berturut-turut sehingga diperkirakan unit 4 akan beroperasi tahun 2020. *Federal Authority for Nuclear Regulation* (FANR) menemukan komponen resiko rendah yang kurang memenuhi persyaratan ketika dipasang. Biaya pembangunan PLTN ini meningkatkan menjadi US\$ 32 milyar, tetapi tidak jelas sumber pembiayaan yang menyebabkannya.
- Pada tahun 2010, Rusia menyepakati pinjaman kepada Belarus untuk pembangunan dan pengoperasian 2 unit PLTN baik untuk konstruksi, suplai bahan bakar dan reprivasi bahan bakar bekas. Rusia akan membiayai 90% dari total biaya yang

- dibutuhkan dan Belarus sebesar 10%. Konstruksi unit 1 dimulai Nov. 2013 kemudian dilanjutkan unit 2, dan komisioning unit 1 diperkirakan tahun 2016 dan unit 2 tahun 2018. Pada tahun 2015, nilai tukar mata uang Rubel mengalami pelemahan hingga mencapai 50% dari nilai tukar tahun 2014, hal ini menyebabkan keterlambatan penyelesaian konstruksi dan komisioning menjadi tahun 2018 dan 2020. Total biaya yang diperkirakan sebesar US\$ 13 milyar membengkak menjadi US\$22,9 milyar.
- Pemerintah Turki menandatangani kontrak BOO dengan Rosatom Rusia untuk membangun 4 unit PLTN Akkuyu pada tahun 2010. Konstruksi direncanakan mulai tahun 2015 mundur menjadi tahun 2016 dengan biaya US\$ 20-25 milyar. Dalam kontrak disebutkan bahwa 70% daya unit 1 dan 2 dan 30 % dari unit 3 dan 4 akan dibeli dengan sistem *Power Purchase Agreement* (PPA) selama 15 tahun dengan harga US\$123.5/MWh, dan dimungkinkan naik menjadi US\$153.3/MWh untuk menjamin pengembalian modal. Turki juga menandatangani kontrak BOO dengan konsorsium Mitsubishi, AREVA, GDF-Suez, and Itochu untuk membangun PLTN jenis ATMEA dengan total daya 4,4 GW, dimana komposisi pembiayaan terdiri dari 51% konsorsium dan 49% pemerintah Turki dari total biaya sebesar US\$ 22 milyar. Kesulitan finansial yang dialami oleh AREVA menyebabkan rencana pembangunan proyek ini menjadi terganggu.
 - Pada tahun 2012 pemerintah Lithuania bekerjasama dengan pemerintah Latvia dan Estonia untuk membangun PLTN. Mereka sepakat memilih Hitachi sebagai investor strategis yang akan membangun 2 unit ABWR 1350 berteknologi *Hitachi-GE Nuclear Energy Ltd* diakhir tahun 2020 dengan estimasi biaya US\$ 4 milyar. Komposisi kepemilikan sebagai berikut: Hitachi sebesar 20%, Lithuania 38%, Estonia 22% dan Latvia 20%. Pada Oktober 2012, pemerintah melakukan referendum tentang program PLTN ini, ternyata 76% menolak pembangunan PLTN.
 - Polandia telah merencanakan pembangunan PLTN sejak tahun 1980 dan telah menandatangani kerjasama dengan beberapa Negara tetapi hingga saat ini belum ada kejelasan tindak lanjutnya.
 - Jordania telah menandatangani kontrak dengan Rosatom-Rusia untuk membangun 1 unit PLTN dengan komposisi pembiayaan 50,1% oleh Jordania dan 49,9% oleh Rosatom-Rusia. Ada yang tidak pasti yaitu masalah lokasi tapak, dimana rencana awal di tapak reaktor Ar-Amra.
 - Mesir telah merencanakan membangun 10 PLTN sejak tahun 1979, kerangka regulasi telah disetujui tahun 2010, dan proses penawaran yang telah direncanakan sebelumnya ditunda tahun 2011 karena kondisi politik. Tahun 2015, Mesir dan Rosatom-Rusia menandatangani kerjasama untuk membangun dan membiayai 2 unit PLTN.
 - *The King Abdullah City for Atomic and Renewable Energy (KA-CARE)*-Arab Saudi merencanakan membangun 16 unit PLTN dengan biaya lebih dari US\$80 billion pada tahun 2011 untuk memenuhi kebutuhan listrik dan air bersih. Proyek ini ditunda dengan alasan yang tidak jelas.
 - Pemerintah Bangladesh dan Rusia menandatangani kesepakatan untuk membangun 2 unit PLTN 1000 MW dengan total harga US\$ 2 milyar pada tahun 2011, dan ketika hendak dibangun tahun 2015 biaya membengkak menjadi US\$1,5-2 milyar per unit, sehingga pemerintah Bangladesh menunda operasi unit pertama tahun 2022 dan unit kedua tahun 2030.
 - Pemerintah Vietnam telah menandatangani kerjasama dengan Rusia dan Jepang pada tahun 2011. Proyek ini ditunda dengan alasan yang tidak jelas.

Pada kasus proyek Vogtle di Negara bagian Georgia-Amerika Serikat, 2 unit AP-1000 dibangun dengan estimasi biaya modal US\$6100/kWe, juga estimasi biaya untuk membangun EPR-1000 di Eropa Barat dan Amerika Utara sekitar US\$5000 hingga 7000/kWe, atau rata-rata US\$6100/kWe.

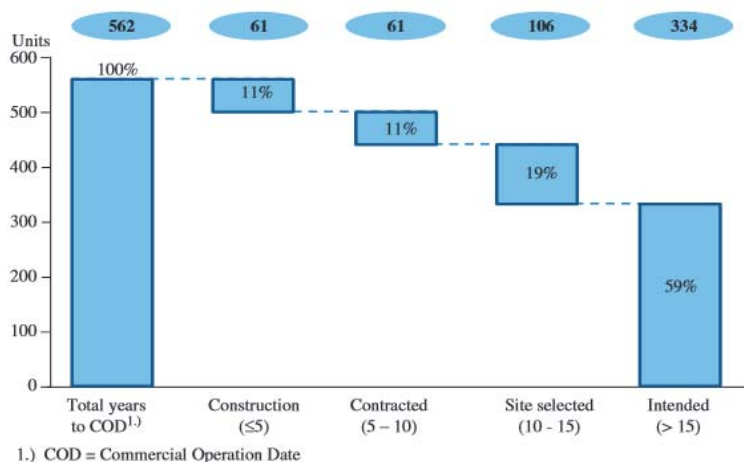
Teollisuuden Voima Oy(TVO) Finlandia menandatangani kontrak putar kunci dengan Areva Perancis untuk membangun EPR-1600 Olkiluoto dengan biaya US\$3,6 milyar (€3 milyar) termasuk bunga selama konstruksi (*interest during construction*, IDC) dan biaya bahan bakar 2 kali *loading*). Keterlambatan operasi reaktor menyebabkan estimasi biaya sekitar US\$9,5 milyar (€8 milyar) atau meningkat hamper 3 kali lipat). Kasus EPR-1600 *Flamanville*-Perancis juga hamper sama, walaupun hanya terlambat 4 tahun. *Scana Corp.*, pemilik 2 PLTN yang sedang dibangun di Carolina Selatan-Amerika Serikat mengalami

keterlambatan operasi dimana PLTN pertama direncanakan beroperasi Maret 2017 menjadi awal 2018, sedangkan PLTN kedua direncanakan beroperasi Mei 2018 tertunda hingga waktu tidak tentu. Keterlambatan ini menyebabkan peningkatan biaya US\$200 juta. Keterlambatan ini disebabkan perombakan manajemen di *Chicago Bridge & Iron Co. NV* sebagai subkontraktor diambil alih oleh *Shaw Corp. Inc.* Sedangkan PLTN Vogtle tertunda 18 bulan akibat penundaan lisensi dan gangguan konstruksi awal [22].

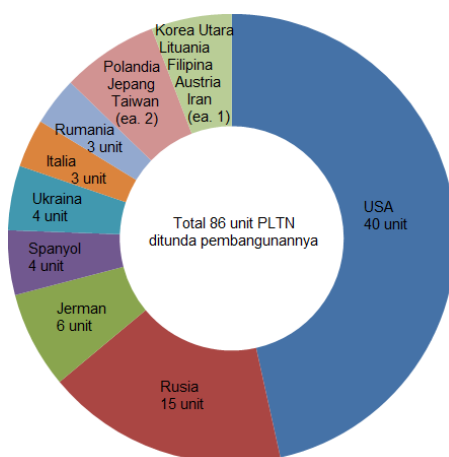
Biaya modal sangat berpengaruh terhadap biaya pembangkitan, semakin tinggi biaya modal maka biaya pembangkitan akan semakin tinggi, atau sebaliknya, terutama bagi pengembang tipe *Investor-Owned Utilities (IOU)*. Dari hasil studi yang dilakukan oleh Stan Kaplan terhadap beberapa jenis pembangkit listrik menyatakan bahwa kenaikan biaya modal sebesar 25% dari biaya dasar (base case) akan meningkatkan biaya pembangkitan rata-rata $\pm 20\%$ [23]. Pengaruh terbesar dialami oleh PLTN, yaitu sebesar rata-rata $\pm 23\%$, sedangkan yang terendah dialami oleh PLTG, yaitu sebesar rata-rata $\pm 12\%$ [23].

Umumnya pada perencanaan proyek pembangunan PLTN hanya menghitung *overnight cost*, tetapi juga harus memperhitungkan biaya eskalasi dan biaya pendanaan selama periode konstruksi. Resiko bisnis utama untuk proyek jangka panjang, seperti PLTN dan PLTU adalah peningkatan biaya secara signifikan selama proyek berlangsung[24]. Mayoritas resiko pendanaan PLTN terhadap ekonomi umumnya ditimbulkan oleh kecelakaan parah PLTN baik total maupun sebagian dari opsi nuklir itu sendiri.

Hingga Juni 2010, 61 unit PLTN sedang dibangun dan sekitar 500 PLTN dalam tahap kontrak dan tahap perencanaan (25-27), seperti ditunjukkan pada Gambar 1, sedangkan jumlah PLTN yang dihentikan pembangunannya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Unit PLTN yang telah beroperasi dan hingga tahap perencanaan[20]



Gambar 2. Jumlah PLTN yang ditunda pembangunannya[20]

Kegagalan implementasi PLTN di Indonesia disebabkan kurangnya dukungan dari pemangku kepentingan, seperti ketidakkonsistenan dalam perumusan Kebijakan Energi Nasional, dimana amanat dalam kebijakan ini sangat tergantung pada kondisi sosial politik

ketika kebijakan tersebut dirumuskan. Menurut Undang-undang nomor 30 tahun 2007 tentang Energi pasal 4 ayat 1 menyatakan bahwa "...dan sumber energi nuklir dikuasai oleh negara dan dimanfaatkan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat". Peraturan Presiden nomor 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional pasal 2 ayat 2.b.6 menyatakan bahwa energi baru dan energi terbarukan lainnya, khususnya biomassa, nuklir, tenaga air, tenaga surya, dan tenaga angin menjadi lebih dari 5% (lima persen)[28]. Pada Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional[29] dan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional[30] secara spesifik dinyatakan bahwa peran energi nuklir dalam bauran energi nasional menjadi opsi terakhir.

Keterlambatan penyelesaian proyek infrastruktur di Indonesia terutama disebabkan oleh masalah perijinan (banyak instansi yang terlibat dalam pemberian perijinan), pembebasan lahan, dan penolakan masyarakat. Proyek pembangunan infrastruktur, seperti jalan tol, kereta api, pembangkit listrik dll umumnya mengalami keterlambatan karena masalah pembebasan lahan, perijinan, dan pendanaan, sedangkan keterlambatan proyek PLTU umumnya disebabkan penolakan masyarakat daerahnya menjadi lokasi PLTU.

Selain resiko politik, sosial, perijinan, pembebasan lahan, dan pendanaan, berbagai kendala penyebab keterlambatan penyelesaian proyek pembangunan PLTN, seperti:

- Desain. Kesalahan desain sistem instrumentasi dan kendali (I&C) pada EPR-1600 yang dibangun di Perancis dan Finlandia, juga desain *reactor coolant pump* pada AP-1000 Taishan di Cina.
- Perencanaan Lemah. Kelangkaan pesanan PLTN yang dialami vendor menyebabkan hilangnya keahlian perencana proyek, insinyur proyek dan badan regulator.
- Sumber daya manusia (SDM). Vendor PLTN yang sudah lama tidak pernah membangun reaktor baru menyebabkan keahlian SDMnya akan menurun, seperti yang dialami oleh Areva (banyak SDM yang sudah pensiun).
- Rantai pasok. Kualitas peralatan dan ketersediaan peralatan yang kurang akan menyebabkan tertundanya pengiriman pesanan, seperti yang dilakukan oleh AREVA dalam pembuatan bejana tekan untuk Flamanville dan dua reaktor Taishan di China.
- Pengalaman konstruksi. Kompleksitas dari penyederhanaan sistem desain PLTN, yang timbul akibat pilihan desain, khususnya daya reaktor, pengungkung, teras reaktor dan redundansi sistem keamanan menjadi hambatan untuk konstruksi, seperti kasus di Olkihito-Finlandia atau Flamanville-Perancis.

Dari hasil kajian yang telah dilakukan oleh Indonesia dan dievaluasi *International Atomic Energy Agency (IAEA)* pada tahun 2011 dinyatakan bahwa Indonesia telah siap menuju fase 2, yaitu fase implementasi persiapan pembangunan PLTN.

Pembangunan PLTN di Indonesia, telah siap dari segi infrastruktur baik fisik maupun non-fisik. Dari beberapa studi kelayakan yang telah dilakukan, diperoleh beberapa lokasi tapak (*site*) yang layak digunakan untuk lokasi pembangunan PLTN yaitu 2 (dua) lokasi di Jepara-Jawa Tengah (Ujung Lemah Abang dan Ujung Watu), dan 2 lokasi di Provinsi Bangka Belitung (Teluk Menggris-Tanah Merah di Bangka Barat, dan Tanjung Berani-Sebakin di Bangka Selatan).

Dan Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional tidak dicantumkan kontribusi energi nuklir

Komitmen pemerintah terhadap implementasi energi nuklir yang tidak konsisten pada perencanaan energi jangka menengah dan panjang menyebabkan berbagai persiapan infrastruktur yang telah dilakukan menjadi sia-sia, seperti:

- khususnya SDM nuklir banyak yang sudah dan akan purnabakti dalam beberapa tahun kedepan
- studi kelayakan tapak Jepara-Jawa Tengah yang dilakukan tahun 1991 menjadi sia-sia padahal dana yang digelontorkan untuk studi ini sudah cukup besar

Potensi resiko yang mengganggu iklim investasi di Indonesia terdiri dari korupsi, infrastruktur, pemerintah, radikalisme, dan kekerasan etnik & agama. Pada tahun 2016, lembaga pemeringkat internasional *Standard & Poor's (S&P)* telah menaikkan peringkat kredit (*sovereign credit rating*) Indonesia menjadi BBB-/A-3 dengan *outlook* stabil[31], sedangkan *Moody's Investors Service* menaikkan peringkat dari stabil menjadi positif Baa3[32]. Peningkatan peringkat kredit Indonesia oleh kedua lembaga pemeringkat ini akan berdampak pada sektor investasi dan bunga uang dari kreditor asing untuk pemerintah Indonesia.

Implementasi pembangunan dan pengoperasian PLTN di Indonesia, harus dipersiapkan dengan baik dan cermat dengan mempertimbangkan manfaat dan resiko yang mungkin terjadi. Implementasi PLTN mulai dari persiapan hingga pengoperasiannya membutuhkan waktu yang cukup lama (lebih dari 10 tahun) dan biaya modal yang sangat besar. Saat ini, program kerja pemerintah umumnya disusun berdasarkan periode jabatan, yaitu kira-kira 5 tahunan dan dapat berlanjut jika terpilih kembali untuk periode kedua, sehingga dapat merubah keputusan yang telah diambil sebelumnya. Oleh karena itu, implementasi PLTN membutuhkan komitmen yang nyata dan kuat dari seluruh pemangku kepentingan dalam rencana pengembangan energi jangka panjang.

Pilihan teknologi yang akan diimplementasikan harus dipertimbangkan secara cermat dengan memperhatikan ketersediaan dan kemampuan SDM yang sesuai dengan pengalamannya, baik untuk perencanaan, evaluasi, dan lain-lain. Minimnya ketersediaan, kemampuan dan pengalaman SDM pada satu jenis teknologi akan mengakibatkan timbulnya kemungkinan resiko yang sangat besar, seperti keterlambatan penyelesaian proyek, kegagalan operasi, kecelakaan parah, ketidakjujuran *supplier* memasok komponen dan lain-lain.

KESIMPULAN

Pengalaman beberapa negara baik yang baru pertama kali merencanakan, dan membangun PLTN, maupun yang telah pernah membangun dan mengoperasikan PLTN harus mempertimbangkan dan mengevaluasi kondisi politik, sosial, ekonomi, pendanaan, ketersediaan & kemampuan SDM, perijinan dan resiko yang mungkin timbul dari implementasi PLTN ini. Kegagalan perusahaan Areva untuk memenuhi kontrak dengan TVA disebabkan oleh ketersediaan SDM yang mumpuni dan berpengalaman telah banyak yang pensiun sehingga menimbulkan kegagalan produksi. Ketidakjujuran para pemangku kepentingan, seperti *supplier* memasok komponen yang tidak sesuai kontrak juga dapat menyebabkan keterlambatan penyelesaian proyek maupun kegagalan operasi. Kemampuan regulator mengevaluasi dokumen perizinan dan pembebasan lahan juga dapat memperlambat penyelesaian proyek. Negara baru yang akan mengimplementasikan PLTN harus mempersiapkan semua infrastruktur secara baik dan cermat. Teknologi yang akan dipilih sebaiknya dari *vendor* dan *supplier* yang sudah teruji dan masih aktif beroperasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami mengucapkan terimakasih kepada Dr. Suparman yang telah memberikan saran-saran perbaikan pada makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional
2. IAEA, The Data Base on Nuclear Power Reactors, <https://www.iaea.org/pris/>
3. "-----", World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements, World Nuclear Association, 1 May 2017, <http://www.world-nuclear.org/info/Facts-and-Figures/World-Nuclear-Power-Reactors-and-Uranium-Requirements/>, diunduh 24 Mei 2017
4. Newjec, Feasibility Study of the First Nuclear Power Plant at Muria Peninsula Region-Central Java, December 1993
5. Framatome, GEC Alsthom, Study of the First Nuclear Power Plant at Muria Peninsula Region, June 1992
6. IAEA, Nuclear Energy Series No. NG-G-3.1. Milestones in Development of A National Infrastructure for Nuclear Power, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2007.
7. IAEA, Nuclear Energy Series No. NG-G-3.2. Evaluation on the Status of National Infrastructure Development, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2008.
8. L.M Farrell, Principal-agency risk in project finance, International Journal of Project Management, Volume 21, Issue 8, November 2003, Pages 547–561, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786302000868>
9. Dragana Makajić Nikolić, Sandra Jednak, Slađana Benković, Vladimir Poznanić, Project finance risk evaluation of the Electric power industry of Serbia, Energy Policy Volume 39, Issue 10, October 2011, Pages 6168–6177, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421511005404>

10. Sahala Maruli Lumbanraja, Edwaren Liun, Rr. Arum Puni Rijanti, Kajian Risiko Proyek Pembangunan Reaktor Daya Eksperimental (RDE), Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016, Batam, 4-5 Agustus 2016
11. Muhammed Mufazzal Hossen, Sunkoo Kang, Jonghyun Kim, "Construction Schedule Delay Risk Assessment by Using Combined AHP-RII Methodology for an International NPP Project", Nuclear Engineering Technology, 47 (2015) 362 -379 , February 2015, Elsevier
12. Prince Boateng, Zhen Chen, Stephen O. Ogunlana, "An Analytical Network Process Model for Risks Prioritisation in Megaprojects", International Journal of Project Management 33 (2015) 1795 – 1811, Elsevier
13. Barbara Gładysza , Dariusz Skorupkab , Dorota Kuchtaa , Artur Duchaczek, "Project Risk Time Management – A Proposed Model and A Case Study in the Construction Industry", Procedia Computer Science 64 (2015) 24 – 31, Elsevier
14. Benjamin K. Sovacool, Daniel Nugent and Alex Gilbert, Construction Cost Overruns and Electricity Infrastructure: An Unavoidable Risk? The Electricity Journal Volume 27, Issue 4, May 2014, Pages 112–120, <http://pustaka.ristek.go.id/webproxy/nphsd, pustaka/en/00/http/www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040619014000761>,
15. Benjamin K. Sovacool, Alex Gilbertb, Daniel Nugent, Risk, innovation, electricity infrastructure and construction cost overruns: Testing six hypotheses, Energy Volume 74, 1 September 2014, Pages 906–917, Elsevier
16. Benjamin K. Sovacoola, Alex Gilberta, Daniel Nugenta , An international comparative assessment of construction cost overruns for electricity infrastructure, Energy Research & Social Science, Volume 3, September 2014, Pages 152–160, Elsevier
17. M. Bernadete Junkesa Anabela P. Teresob , Paulo S.L.P. Afonso, "The Importance of Risk Assessment in the Context of Investment Project Management: a Case Study", Procedia Computer Science 64 (2015) 902 – 910, Elsevier
18. Ameidyo Daud, "Empat Faktor Penghambat Realisasi Megaprojek Listrik 35 GW", katadata.co.id, 13 mei 2015
19. NEA, Projected Costs of Generating Electricity, 2015 Edition, <https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7279-proj-costs-electricity-2015-es.pdf>
20. Mycle Schneider, Antony Froggatt, Julie Hazemann, Tadahiro Katsuta, M.V. Ramana, The World Nuclear Industry Status Report 2015, <https://www.worldnuclearreport.org/The-World-Nuclear-Industry-Status-Report-2015-HTML.html>, diunduh 2 Maret 2017
21. WNA, Nuclear Power in Lithuania, updatet 17 May 2017, <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/lithuania.aspx>,
22. Julie Johnsson, Scana Scana Reactors Face New Delays and \$200 Million Additional Costs, <http://www.bloomberg.com/news/articles/2013-06-05/scana-reactors-face-new-delays-and-200-million-additional-costs>
23. STAN KAPLAN, Power Plts: Characteristics and Cost, CRS Report for Congress, November 2008. Diunduh November 2014
24. Craig A. Severance, Business Risks to Utilities as New Nuclear Power Costs Escalate, The Electricity Journal, Volume 22, Issue 4, May 2009, Pages 112–120, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040619009000700>
25. Matthias von Bechtolsheim. Michael Kruse, Jan Junker, Nuclear New Build Unveiled http://www.adl.com/uploads/tx_extthoughtleadership/ADL_Nuclear_New_Build_Unveiled.pdf Agnieszka Dziadosz, Mariusz Rejment, "Risk Analysis in Construction Project – Chosen Methods", Pcedia Engineering 122 (2015) 258-365, Elsevier
26. Ioannis N. Kessides, Nuclear power: Understanding the economic risks and uncertainties, Energy Policy 38 (2010) 2846-2864, Elsevier
27. Ioannis N. Kessides, The future of the nuclear industry reconsidered: Risks, uncertainties, and continued promise, Energy Policy, Volume 48, September 2012, Pages 185–208, Elsevier
28. ".....", Peraturan Presiden nomor 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional
29. ".....", Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional
30. ".....", Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional

31. Sakina Rakhma Diah Setiawan, S&P Beri Peringkat "Investment Grade" untuk Indonesia,
<http://bisniskeuangan.kompas.com/read/2017/05/19/165027126/s.p.beri.peringkat.investment.grade.untuk.indonesia>
32. Christian de Guzman, Atsi Sheth, Moody's changes outlook on Indonesia's rating to positive from stable, affirms government bond rating at Baa3, https://www.moodys.com/research/Moodys-changes-outlook-on-Indonesias-rating-to-positive-from-stable--PR_361047, Feb 6, 2017

ANALISIS STABILITAS SISTEM KELISTRIKAN BATAM DENGAN PENAMBAHAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR

**Citra Candranurani, Arief Tris Yuliyanto, Elok Satiti A, Rizki Firmansyah S.B,
Rr. Arum Puni Rijanti**

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

ABSTRAK

ANALISIS STABILITAS SISTEM KELISTRIKAN BATAM DENGAN PENAMBAHAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR. Kebutuhan daya listrik di Pulau Batam dan sekitarnya semakin meningkat seiring dengan peningkatan wilayah industri yang semakin berkembang. Untuk menyediakan daya listrik yang handal diperlukan perencanaan sistem kelistrikan yang baik, meliputi perencanaan pembangkit, transmisi dan distribusi. Rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) 200 MW di sistem kelistrikan Bareleng (Batam, Rempang, Galang) di tahun 2026 memerlukan studi aliran daya dan analisis stabilitas sistem agar diketahui keandalan sistem sebelum dan setelah penambahan PLTN. Studi ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ETAP (*Electrical Transient Analysis Program*) dengan mengolah data kelistrikan eksisting dan perencanaan di sistem Bareleng dari PT. PLN Batam. Studi aliran daya dilakukan dalam kondisi tunak atau stabil dan kondisi beban puncak. Hasil studi aliran daya diperoleh gardu induk (GI) yang menjadi kandidat penyaluran PLTN ada 6 (enam) yaitu Sei Baloi, Batu Besar, Sei Harapan, Tj. Sengkuang, Sagulung, dan Nongsa. Sedangkan analisis stabilitas dilakukan dalam kondisi transien pada GI Panaran dengan penyaluran daya PLTN di GI Sagulung. Dari hasil simulasi stabilitas yang dilakukan, diketahui bahwa GI Panaran dalam sistem Bareleng tetap dalam kondisi stabil meskipun terjadi pemadaman (trip) PLTN secara mendadak.

Kata kunci: studi aliran daya, analisis stabilitas sistem, kondisi tunak, kondisi transien, PLTN, Batam

ABSTRACT

STABILITY ANALYSIS OF BATAM ELECTRICAL SYSTEM WITH THE ADDITION OF NUCLEAR POWER PLANT. *Electricity demand in Batam Island and its surrounding area are increasing due to the region's growing industry. To provide a reliable electric power, a good planning of the electrical system, including the planning of generation, transmission and distribution is required. The development plan of 200 MW Nuclear Power Plant (NPP) in the Bareleng (Batam, Rempang, Galang) electrical system in 2026 requires power flow study and analysis of the system stability in order to find out the reliability of the system before and after the addition of the NPP. This study was done with the help of ETAP (Electrical Transient Analysis Program) software, by processing data of Bareleng planned and existing electrical system from PT. PLN Batam. The power flow study was conducted in steady state condition at peak load. The power flow study results showed 6 (six) potential substations for distributing NPP power, namely Sei Baloi, Batu Besar, Sei Harapan, Tj. Sengkuang, Sagulung, and Nongsa. Whereas the stability analysis was conducted in transient state at Panaran substation and the NPP is attached to Sagulung substation. From the stability simulation, it is concluded that Panaran substation in the Bareleng system remains in a stable condition despite the sudden blackout (trip) of the NPP.*

Keywords: *power flow study, system stability analysis, steady state, transient state, NPP, Batam*

PENDAHULUAN

Penyediaan tenaga listrik dalam suatu sistem disyaratkan memiliki kemampuan untuk dapat menyalurkan daya secara kontinyu dengan kualitas yang baik dan handal[1-4]. Untuk itu diperlukan perencanaan operasi pembangkit dan perencanaan sistem yang baik, agar sesuai antara kebutuhan listrik di sisi konsumen dengan kemampuan suplai di sisi pembangkit. Perencanaan pembangunan suatu pembangkit di dalam sebuah sistem

interkoneksi memerlukan studi aliran daya dan stabilitas untuk mengetahui kapasitas dan lokasi pembangkit yang sesuai dengan sistem yang telah ada. Studi aliran daya bertujuan untuk mengetahui kondisi yang akan terjadi pada saat pembangkit beroperasi[5], sedangkan studi stabilitas bertujuan untuk mengetahui kemampuan pembangkit atau jaringan kelistrikan untuk tetap atau kembali beroperasi normal setelah mengalami gangguan[6].

Rencana pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) di pulau Batam yang direncanakan untuk memenuhi kebutuhan beban listrik yang semakin meningkat. Untuk dapat beroperasi secara aman dan kontinu, maka sebelum PLTN beroperasi diperlukan studi aliran daya dan stabilitas di sistem kelistrikan Batam sehingga dapat diketahui keandalan sistem sebelum dan setelah pengoperasian PLTN.

Berdasarkan hasil studi perencanaan energi di Batam memberikan hasil untuk dilakukan penambahan PLTN di sistem kelistrikan Bareleng (Batam, Rempang dan Galang) untuk tahun 2026 dengan kapasitas 200 MW[7]. Dengan kapasitas 200 MW, hal ini memerlukan tindak lanjut studi stabilitas untuk mengetahui dampak yang akan terjadi dalam sistem Bareleng apabila PLTN mengalami gangguan (trip). Stabilitas dalam sistem Bareleng perlu dikaji agar diketahui jaminan keberlangsungan suplai listrik ke pelanggan terutama wilayah industri yang sangat bergantung kepada kualitas pelayanan listrik.

Sistem kelistrikan Bareleng merupakan sistem yang telah terinterkoneksi. Analisis stabilitas multi generator pada sistem yang interkoneksi merupakan analisis yang kompleks dan membutuhkan analisis yang lebih dalam. Sehingga, untuk simplifikasi pada studi ini analisis stabilitas akan dilakukan pada gardu induk (GI) yang terhubung langsung pada GI kandidat (GI yang memenuhi kriteria untuk disalurkannya daya PLTN), dan memiliki unit pembangkit yang terbanyak.

Studi stabilitas dalam penelitian ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak ETAP 12.6 (*Electrical Transient Analysis Program*). Diharapkan hasil studi ini dapat digunakan untuk mengetahui kesiapan jaringan kelistrikan Bareleng dalam menerima hasil produksi listrik dari PLTN.

STABILITAS DALAM SISTEM TENAGA LISTRIK

Sistem tenaga listrik adalah penyaluran daya listrik dari pembangkit menuju pelanggan. Kualitas penerimaan listrik di sisi pelanggan dan keamanan peralatan di sistem tenaga listrik menjadi penting untuk diperhatikan guna menjamin kontinuitas penyaluran daya dengan besaran tegangan dan frekuensi yang sesuai standar[8]. Ditinjau dari sifat dan besarnya gangguan, analisis stabilitas yang terjadi dalam sistem tenaga listrik dapat dibagi ke dalam tiga bagian, yaitu[9-13]:

- 1) *Steady state stability* (kestabilan dalam keadaan tunak)
- 2) *Dynamic stability* (kestabilan dalam kondisi dinamis)
- 3) *Transient stability* (kestabilan dalam keadaan peralihan)

Klasifikasi stabilitas transien dibagi dalam dua bagian yaitu kestabilan ayunan pertama (*first swing*) dan ayunan majemuk (*multi swing*)[14-16]. Studi stabilitas dalam penelitian ini akan dilakukan dalam kondisi transient/peralihan saat kondisi ayunan pertama. Jika sistem mengalami gangguan, namun diperoleh kondisi mesin serempak dalam hal ini generator masih bekerja dalam keadaan serempak, maka dikategorikan sistem masih stabil.

Apabila generator bekerja dalam kondisi normal, maka momen putar mekanis akan sama dengan momen putar elektrisnya. Dalam kondisi ini tidak percepatan atau perlambatan rotor. Kecepatannya konstan atau disebut kecepatan serempak. Ketika terjadi gangguan pada generator, terjadi perubahan kecepatan rotor yang dapat berupa percepatan atau perlambatan seperti diformulasikan pada persamaan (1) dan (2)[17-19]. Kedua persamaan inilah yang akan digunakan dalam analisis stabilitas.

$$\frac{2H}{\omega} \frac{d\omega}{dt} = P_m - P_e \quad [1]$$

dan

$$\frac{d\delta}{dt} = \omega - \omega_s \quad [2]$$

dimana:

H = Konstanta Kelambanan
 ω = kecepatan sudut

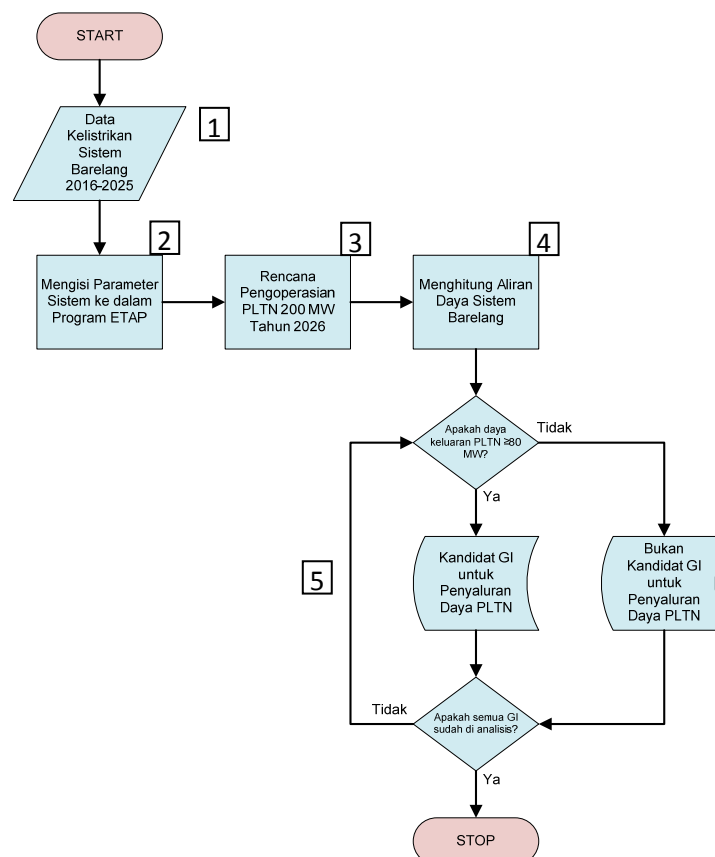
P_m = daya mekanik
 P_e = daya elektrik
 δ = sudut daya listrik

Grafik dalam penyelesaian persamaan (2) disebut “kurva ayunan” atau swing curve dari sebuah mesin serempak dengan penyelesaiannya dalam besaran δ terhadap waktu maka akan diketahui penyelesaian mesin serempak dalam hal ini generator apabila ada gangguan.

METODOLOGI

Untuk mengetahui kondisi stabilitas kelistrikan di sistem Barelang ketika PLTN beroperasi, maka perlu dilakukan studi aliran daya berdasarkan tahun perencanaan pengoperasian PLTN. Langkah-langkah studi ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 1, yang meliputi:

1. Mengumpulkan data sistem kelistrikan Barelang yang eksisting hingga tahun 2016.
2. Dari data sistem kelistrikan Barelang yang diperoleh pada tahap 1 maka dapat dimasukkan parameter-parameter yang diperlukan oleh program ETAP (Tabel 1).
3. Memasukkan tahun pengoperasian PLTN (2026) dengan kapasitas 200 MW di masing-masing GI.
4. Jika parameter-parameter dan tahun pengoperasian PLTN sudah dimasukkan ke dalam ETAP maka program dapat dijalankan untuk menghitung aliran daya.
5. Hasil dari *running* program dipilih berdasarkan daya keluaran PLTN, jika nilainya $\geq 80\%$ maka GI tersebut adalah kandidat untuk penyaluran daya PLTN.



Gambar 1. Diagram alir studi aliran daya sistem Barelang

Tabel 1. Parameter masukan untuk program ETAP

No.	Data sistem kelistrikan	Parameter yang dimasukkan
1.	Pembangkit	Tegangan dan daya
2.	Jaringan transmisi	Jenis dan panjang kabel
3.	Gardu Induk	Tegangan
4.	Kebutuhan beban	Beban puncak
5.	Transformator	Tegangan dan kapasitas

Data eksisting sistem Bareleng diperoleh dari PLN Batam, untuk data perencanaan sistem diperoleh dari buku Laporan Tahunan 2015, PT. Pelayanan Listrik Nasional (PLN) Batam yang diterbitkan tahun 2016[20]. Data eksisting sistem kelistrikan Bareleng tahun 2015 dinyatakan pada Tabel 2, sedangkan data perencanaan pembangkit tahun 2015-2024 dinyatakan pada Tabel 3. Pembuatan jaringan kelistrikan Bareleng ke dalam program ETAP dilakukan mulai dari tahun eksisting 2016 hingga tahun 2025 untuk mendapatkan hasil perhitungan aliran daya di setiap GI.

Tabel 2. Data kelistrikan Sistem Batam tahun 2015[20]

Data Kelistrikan	Kapasitas	Satuan
Pembangkit	529,47	MW
Jaringan Transmisi	158.012	Kms*
Kebutuhan Beban	448,86	MW

*kilometer sirkuit

Tabel 3. Data perencanaan pembangkit tahun 2015 hingga 2024[20]

Tahun	Unit Pembangkit	Kapasitas Pembangkit (MW)
2015	PLTGU Tanjung Uncang	125
2015	PLTG Tanjung Uncang (IPP)	70
2016	PLTG Tanjung Sengkuang	50
2017	PLTU Batam	2 x 65
2019	CC PLTG/U Tanjung Uncang (IPP)	30
2020	PLTG Tanjung Uncang	42,5
2021	PLTU Rempang/Galang	2 x 65 MW
2023	PLTU Rempang/Galang	2 x 65
2024	PLTG Tanjung Uncang	42,5

Rencana penyaluran daya PLTN ke dalam sistem kelistrikan Bareleng dimulai tahun 2026 dengan kapasitas 200 MW. Penyaluran daya PLTN yang dipilih adalah jika daya keluaran $\geq 80\%$ dari total kapasitas PLTN agar pengoperasiannya optimal. Studi aliran daya dilakukan dalam kondisi sistem tunak atau stabil dan kondisi beban puncak. Kandidat GI yang memenuhi persyaratan akan dijadikan pertimbangan untuk perencanaan penyaluran daya PLTN. Studi stabilitas akan dilakukan pada salah satu kandidat GI dengan mempertimbangkan lokasi terdekat dengan wilayah industri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah melakukan studi aliran daya dengan bantuan perangkat lunak ETAP 12.6, diperoleh 6 (enam) kandidat GI dari total 12 (dua belas) GI dalam sistem Bareleng yang dapat menyalurkan daya PLTN di atas 160 MW atau lebih dari 80% dari total produksi listrik yaitu GI Sei Baloi, Batu Besar, Sei Harapan, Tj. Sengkuang, Sagulung dan Nongsa (lihat tabel 4).

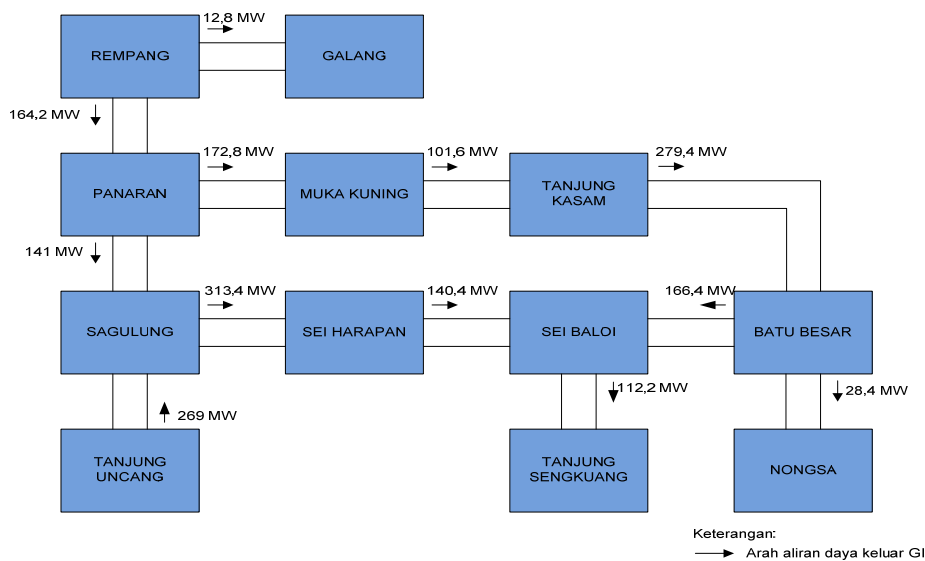
Tabel 4. Hasil keluaran daya PLTN di setiap GI

No.	Nama Gardu Induk (GI)	Keluaran daya PLTN (MW)
1.	Sei Baloi	191,9
2.	Batu Besar	174,3
3.	Sei Harapan	182,6
4.	Tj. Sengkuang	187,8
5.	Panaran	134
6.	Sagulung	160,5
7.	Muka Kuning	142,2

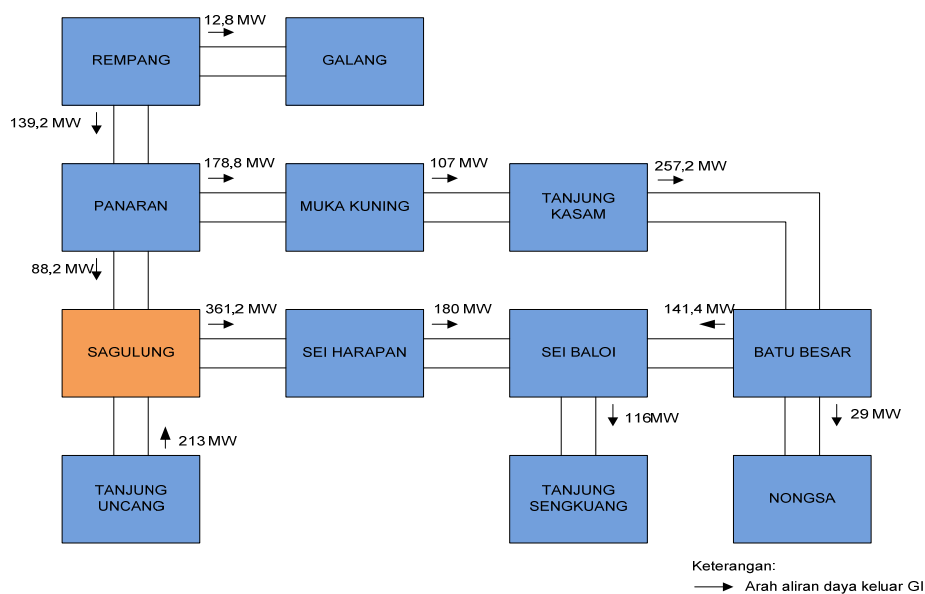
No.	Nama Gardu Induk (GI)	Keluaran daya PLTN (MW)
8.	Nongsa	162,6
9.	Tanjung Kasam	157,4
10.	Tanjung Uncang	144,7
11.	Rempang	100,1
12.	Galang	93,3

Dari enam kandidat GI yang memenuhi syarat, ada tiga GI yang berada dekat dengan wilayah industri di pulau Batam, yaitu GI Batu Besar, Sagulung dan Tanjung Sengkuang. Pada studi ini penyaluran daya PLTN akan ditempatkan di GI Sagulung.

Hasil aliran daya sistem Bareleng ditahun 2026 dapat dilihat pada Gambar 2 dan 3. Aliran daya di GI Sagulung yang awalnya menerima daya dari GI Panaran dan Tanjung Uncang masing-masing sebesar 141 MW dan 269 MW, mengalami penurunan menjadi 88,2 MW dan 213 MW setelah penambahan daya dari PLTN. Demikian pula untuk aliran daya keluar dari GI Sagulung menuju Sei Harapan, yang sebelumnya 313,4 MW mengalami peningkatan menjadi 361,2 MW. Sehingga total perubahan daya yang keluar maupun masuk ke GI Sagulung adalah sebesar 156,6 MW.



Gambar 2. Hasil aliran daya sistem Bareleng sebelum penambahan PLTN

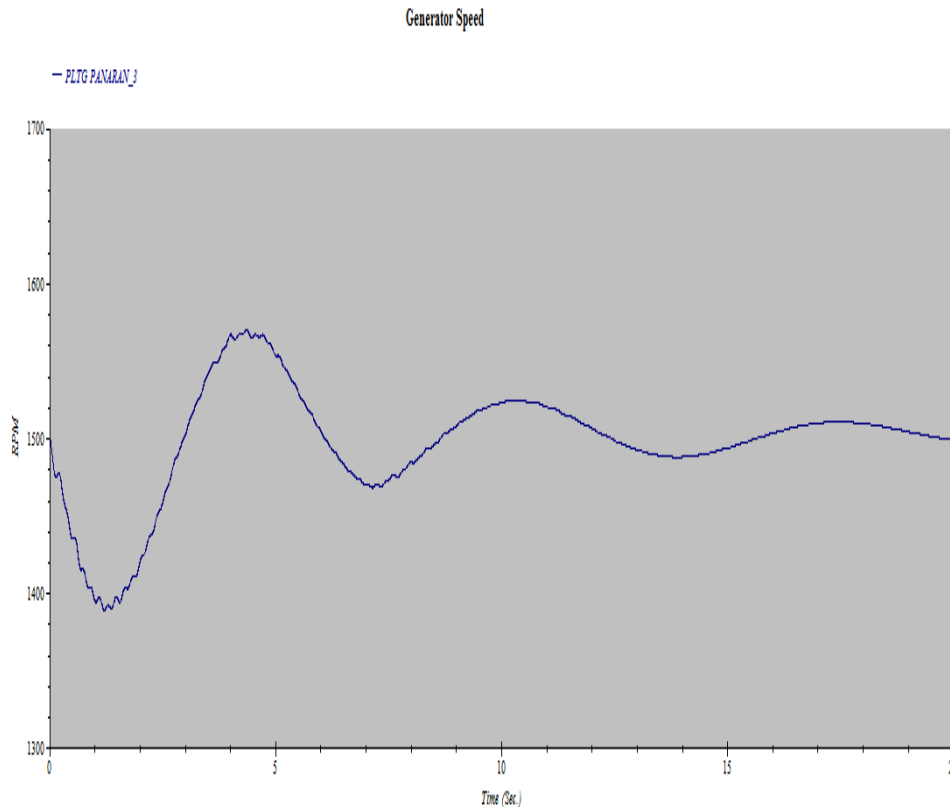


Gambar 3. Hasil aliran daya sistem Bareleng dengan penyaluran daya PLTN di GI Sagulung

Skenario studi stabilitas dibuat dengan beberapa asumsi yaitu:

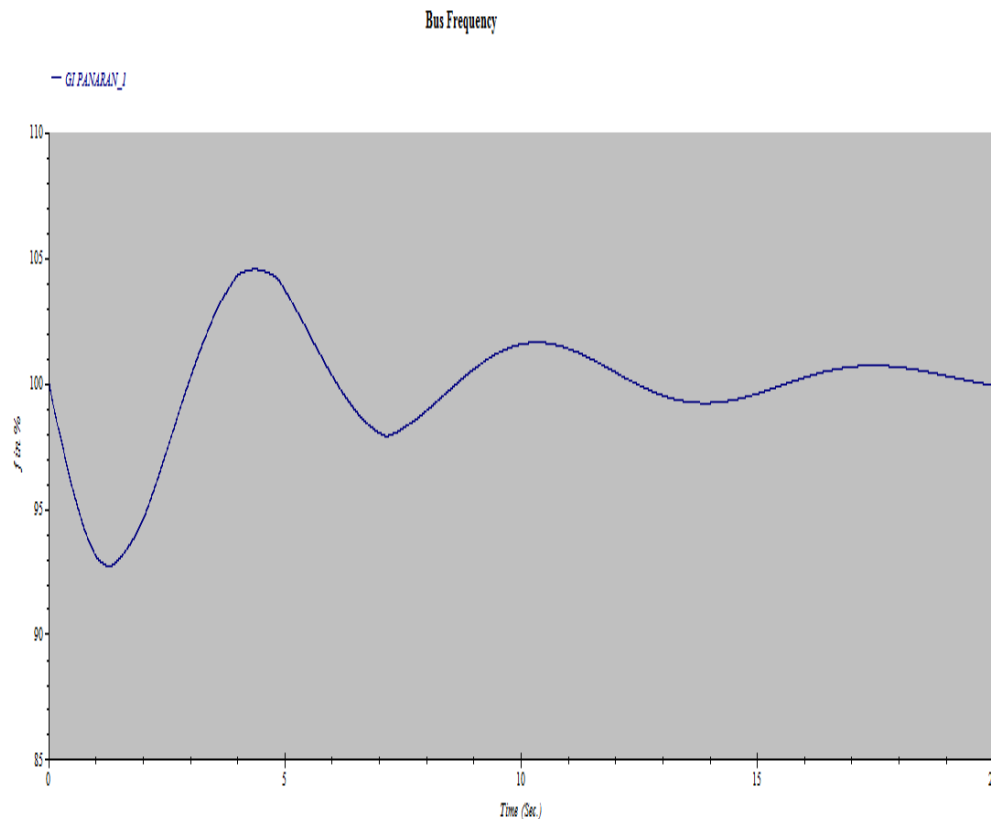
- Didetik ke 1,5 terjadi gangguan pada PLTN yang mengakibatkan trip di PLTN
- GI Panaran dipilih sebagai GI yang dianalisis karena berhubungan langsung dengan GI Sagulung (dimana daya PLTN disalurkan) dengan jumlah pembangkit terbanyak.

Untuk mengetahui pengaruh gangguan PLTN terhadap kecepatan perputaran generator, ditinjau disalah satu pembangkit yang ada di GI Panaran yaitu PLTG Panaran (Gambar 6). Putaran generator turun ke 1390 didetik ke-1,5, lalu naik ke nilai maksimal ke 1524 didetik ke-10. Putaran generator kemudian mengalami perlambatan hingga mulai dicapai kestabilan pada detik ke-19 yaitu disekitar nilai RPM 1500. Dari kurva putaran generator terhadap waktu pada Gambar 6 ini diketahui bahwa PLTG Panaran tetap dalam kondisi stabil setelah PLTN di GI Sagulung mengalami gangguan.



Gambar 6. Kurva kecepatan putaran generator terhadap waktu setelah terjadi gangguan pada PLTN

Perubahan kecepatan putaran generator akibat gangguan dari PLTN juga dirasakan di pembangkit-pembangkit lain yang terhubung dengan GI Panaran, sehingga secara kolektif akan mempengaruhi frekuensi pada GI Panaran. Hasil studi stabilitas berupa kurva frekuensi terhadap waktu ditunjukkan pada Gambar 7. Pada detik ke-1,5, frekuensi pada GI Panaran turun hingga 93% setelah itu naik hingga 104,5% di detik ke-4. Ayunan sistem untuk mencapai kesetimbangan kembali di capai pada detik ke-20 yaitu ketika nilainya mencapai 100% nilai frekuensi standar sistem (50 Hz). Jadi dari hasil simulasi diketahui bahwa GI Panaran masih dalam kondisi stabil apabila PLTN mengalami gangguan.



Gambar 7. Kurva frekuensi terhadap waktu di GI Panaran setelah terjadi gangguan pada PLTN

KESIMPULAN

Hasil studi aliran daya menunjukkan bahwa ada 6 (enam) kandidat GI di sistem kelistrikan Bareleng yang mampu menyalurkan daya keluaran PLTN yaitu GI Sei Baloi, Batu Besar, Sei Harapan, Tj. Sengkuang, Sagulung, dan Nongsa. Setelah dilakukan analisis stabilitas dalam kondisi transien pada GI Panaran dengan penyaluran daya PLTN di GI Sagulung, diketahui bahwa GI Panaran dalam sistem Bareleng tetap dalam kondisi stabil meskipun terjadi pemadaman (trip) PLTN secara mendadak

DAFTAR PUSTAKA

1. BUDI R. F. S. dan CANDRANURANI C., "Pengaruh Kebijakan Import Listrik Sesco terhadap Kedaulatan Energi dan Keandalan Sistem Kelistrikan Kalbar", Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Hal. 706-715, Jakarta (2015).
2. POTTONEN L., "A Method for The Probabilistic Security Analysis of Transmission Grids", Helsinki University of Technology (2005).
3. KIM H., "Evaluation of Power System Security and Development of Transmission Pricing Method", Texas A&M University (2003).
4. PERDANA W. P., HASANAH R. N, dan DACHLAN H. S., "Evaluasi Keandalan Sistem Tenaga Listrik pada Jaringan Distribusi Primer Tipe Radial Gardu Induk Blimbing", *J. EECCIS*, Volume III No. 1 Hal. 6–12, (2009).
5. CANDRANURANI C. dan GARNIWA I., "Optimalisasi Penyaluran Daya PLTN di Pulau Bangka untuk Sistem Kelistrikan Sumatera", *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir*, Volume 14 No. 1 Hal. 1-10, Jakarta (2012).
6. BIJANG N. L., "Analisa waktu pemutusan kritis suatu sistem kelistrikan", *Jurnal Ilmiah Sains (JIS)* Volume 12 No. 2 (2012).
7. PKSEN-BATAN, "Dokumen dukungan teknis non tapak PLTN di Kepulauan Riau", Batan, Jakarta (2016).
8. BUDI R.F.S., dan SUPARMAN, "Analisis Kualitas Pelayanan Sistem Kelistrikan Bangka Belitung Opsi Nuklir", *Jurnal Pengembangan Energi Nuklir* Vol. 14 No. 1 Hal. 11-22 (2011).

9. LILIANA, " Simulasi Dinamika dan Stabilitas Tegangan Sistem Tenaga Listrik dengan menggunakan Power System Stabilizer", Jurnal Sains, Teknologi dan Industri Vol. 10 No.1 Hal 29-35 (2012).
10. SUYONO H, Et. Al., "Analisis Stabilitas Sistem Daya pada Intekoneksi PLTMH Ampelgading di Gardu Induk Turen", Jurnal EECCIS Vol. 6 No. 2 Hal. 194-200 (2012).
11. FALEHI A. D., Et. Al., " Transient Stability Analysis of Power System by Coordinated PSS-AVR Design Based on PSO Technique", Engineering Vol. 3 pp 478-484 (2011).
12. SALMA U., Et. Al., "Improvement of Power System Dynamic Stability Including Wind Farm Interconenected Multimachine System", Journal of Electrical Engineering pp. 1-6.
13. FARAHAANI S. S. S., Et. Al,"Dynamic Stability Enhancement of Power System using STATCOM", Indian Journal of Science and Technology Vol. 4 No. 11 pp 1551-1555, (2011).
14. ZHANG, Y, Et. Al., "First and multi swing transient stability limits of a longitudinal system using the SIME method", Proceeding of Electrotechnical Conference pp. 809-815 (1996).
15. KANDULA K, and MURTHY K. V. S. R," Improvement of First Swings Stability Limit by Using FACTS Devices", International Journal of Engineering Research and Applications Vol. 1, Issue 4 pp. 1559-1564.
16. GUPTA S., and PRAKASH S., "Evaluation of First Swing Stability of A Large Power System with Various FACTS Devices", International Journal of Engineering Research and Technology Vol.2 Issue 5 pp. 294-301 (2013).
17. KAMDAR R., Et. Al., "Transient Stability Analysis and Enhancement of IEEE-9 Bus System", Electrical and Computer Engineering : An International Journal Vol. 3 No. 2 pp. 41-51 (2014).
18. ANDERSON P. M., and FOUAD, A. A., "Power System Control and Stability", New York: Wiley Interscience pp. 34 -56 (2002).
19. KUNDUR P., "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, Inc. (1993).
20. PT. PLN BATAM, "Komitmen untuk pertumbuhan berkelanjutan" , Laporan tahunan, PT. PLN BATAM (2015).

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: Nuryanti (PKSEN–BATAN)

- Beberapa Pada kurva hasil apakah sudah yakin kalau sistem stabil setelah detik ke 10? Karena gambarnya terpotong?

JAWABAN: Elok Satiti Amintayani (PKSEN - BATAN)

- Ya, berdasarkan simulasi ETAP, sistem akan stabil karena dalam kondisi transien simpangan frekuensi dan putaran generator kembali menuju normal. Gambarnya terpotong karena tampilannya hanya sampai di situ.

2. PERTANYAAN: Dharu Dewi (PKSEN–BATAN)

- Kenapa harus aliran daya dulu baru analisis stabilitas? Memang tidak bisa dilakukan analisis stabilitas sendiri?

JAWABAN: Elok Satiti Amintayani (PKSEN - BATAN)

- Analisis aliran daya digunakan untuk mengetahui lokasi penyaluran daya PLTN yang cocok pada sistem, setelah itu baru dapat dilakukan analisis stabilitas.

PEMBUATAN SUMBER RADIOISOTOP ^{137}Cs SEBAGAI STANDAR KALIBRASI PADA SPEKTROMETER GAMMA

Aslina Br.Ginting¹, Yanlinastuti¹, Boybul¹, Arif Nugroho¹, Dian A¹, Gatot W², Hermawan²

¹Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN

²Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN

Email: aslina@batan.go.id

ABSTRAK

PEMBUATAN SUMBER RADIOISOTOP ^{137}Cs SEBAGAI STANDAR KALIBRASI PADA SPEKTROMETER GAMMA. Di dalam *hotcell* Instalasi Radiometalurgi (IRM) banyak larutan bahan bakar nuklir hasil pengujian *bum up* yang dihasilkan. Larutan tersebut belum dapat dilimahkan karena masih mengandung radioisotop ^{137}Cs dan hasil fisi lainnya yang mempunyai waktu paroh panjang, tetapi larutan tersebut dapat digunakan sebagai sumber standar sekunder radioisotop ^{137}Cs untuk keperluan analisis. Dalam melakukan analisis bahan bakar pasca iradiasi selalu menggunakan metode spektrometer- γ yang valid dan terkalibrasi. Standar yang digunakan untuk mengkalibrasi aktivitas spektrometer- γ adalah radioisotop ^{137}Cs . Permasalahannya adalah kalibrasi spektrometer- γ tidak dapat dilakukan secara rutin karena tidak tersedianya sumber standar. Kebutuhan radioisotop ^{137}Cs untuk litbang masih tergantung dari luar negeri. Oleh karena itu, pada penelitian ini, PTBBN dan PTKMR bertujuan untuk membuat sumber standar sekunder radioisotop ^{137}Cs dengan aktivitas 10330 ± 411 Bq. Standar diperoleh dari larutan hasil pemisahan radionuklida ^{137}Cs dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi. Pemisahan ^{137}Cs dilakukan dengan metode pengendapan menggunakan serbuk CsNO_3 dan HClO_4 sebagai *carier*. Hasil pemisahan diperoleh endapan $^{137}\text{CsClO}_4$, kemudian dikeringkan dan ditimbang, untuk selanjutnya diukur besar aktivitasnya menggunakan spektrometer- γ . Endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ kering kemudian dilakukan pengemasan menjadi sumber standar tertutup (*shield source*) dan disertifikasi oleh PTKMR sehingga diperoleh standar sekunder radioisotop ^{137}Cs yang siap digunakan untuk mengkalibrasi aktivitas spektrometer- γ .

Kata kunci: larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$, ^{137}Cs , kalibrasi, standar sekunder dan spektrometer- γ .

ABSTRACT

*In the Installation hotcell Radiometallurgy (IRM) many solution of the nuclear fuel result from generated test bum up. The solution can not be discarded because it still contains radioisotopes ^{137}Cs and other heavy elements that have a long half time, but the solution can be used as a secondary source of radioisotope ^{137}Cs standard for analysis purposes. In conducting post-irradiation fuel analysis always use a valid methods and a calibrated spectrometer- γ . The standard used to calibrate the spectrometer- γ activity is radioisotope ^{137}Cs . The problem is that spectrometer- γ calibration can not be performed routinely because of the unavailability of standard sources. The availability of ^{137}Cs radioisotope for R & D is still dependent from abroad. Therefore, in this study, PTBBN and PTKMR aims to create a secondary standard sources of radioisotope ^{137}Cs with activity 10330 ± 411 Bq. Standard obtained from a solution of radioisotope ^{137}Cs separation results in $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ irradiated fuel. Separation is done by using precipitation method with CsNO_3 powder and HClO_4 as the carrier. The results of the separation was $^{137}\text{CsClO}_4$ precipitate, then dried and weighed, to further greater activity measured using a spectrometer- γ . The precipitate was dried and then do the packing $^{137}\text{CsClO}_4$ be closed standard source (*shield source*) that is certified by PTKMR in order to obtain a secondary standard radioisotope ^{137}Cs is ready to be used to calibrate of activity the spectrometer- γ .*

Keywords : *solution of $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$, ^{137}Cs , calibration, secondary standard and spectrometer- γ*

PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN) mempunyai tugas untuk melaksanakan pengembangan teknologi bahan bakar nuklir, menyelenggarakan pengujian radiometalurgi, analisis fisikokimia dan teknik uji pasca iradiasi. PTBBN-BATAN telah melakukan beberapa teknik uji pasca iradiasi atau PIE (*Post Irradiation Examination*) terhadap bahan bakar reaktor riset pelat elemen bakar (PEB) $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$. Kegiatan PIE untuk analisis *burn up* dalam analisis fisikokimia bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ banyak menghasilkan potongan maupun larutan bahan bakar dengan aktivitas tinggi di dalam *hotcell*. Larutan tersebut belum dapat dilimbahkan karena masih mengandung radioisotop ^{137}Cs dan unsur-unsur berat lainnya yang mempunyai waktu paroh panjang dan berbahaya bagi masyarakat dan lingkungan hidup, tetapi hasil fisis dalam larutan tersebut dapat dipisahkan secara radiokimia dan digunakan sebagai sumber standar sekunder radioisotop ^{137}Cs untuk keperluan analisis di laboratorium[1,2].

Demikian halnya dengan Pusat Teknologi Keselamatan Meterologi dan Radiasi (PTKMR)-BATAN yang mempunyai tugas pokok melakukan penelitian, pengembangan dan pelayanan di bidang keselamatan radiasi, standarisasi, dosimetri dan kesehatan radiasi serta aplikasi teknik nuklir dalam bidang kedokteran. Sebagai Fasilitas Kalibrasi Tingkat Nasional (FKTN), PTKMR-BATAN mempunyai tugas dan wewenang untuk melakukan sertifikasi terhadap berbagai sumber standar radioisotop, melakukan kalibrasi alat cacah radiasi dengan menggunakan sumber standar radioisotop dan melakukan koordinasi kegiatan antar banding pengukuran aktivitas laboratorium di BATAN dan instansi lain (seperti rumah sakit).

Spektrometer- γ sebagai alat ukur relatif harus dikalibrasi secara rutin (minimum 1x seminggu atau setiap akan digunakan) menggunakan sumber standar radioisotop agar diperoleh hasil pengukuran yang akurat. Kalibrasi aktivitas sangat perlu dilakukan, baik ditinjau dari segi sifat peralatan maupun segi proteksi radiasi. Beberapa jenis radioisotop yang dapat digunakan untuk melakukan kalibrasi alat spektrometer- γ antara lain adalah ^{57}Co , ^{60}Co , ^{137}Cs dan ^{133}Ba [3].

Permasalahan yang utama adalah kalibrasi spektrometer- γ di laboratorium tidak dapat dilakukan secara periodik karena tidak tersedianya sumber standar. Hal ini disebabkan karena radioisotop ^{137}Cs masih diimport dari luar negeri dan pengadaanya memerlukan izin persetujuan dari BAPETEN, sehingga menyebabkan sumber standar tersebut sampai ke PTBBN menjadi harga yang mahal.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, PTBBN dan PTKMR sebagai lembaga litbang nuklir melakukan pembuatan sumber standar sekunder radioisotop ^{137}Cs dari larutan hasil pengujian bahan bakar PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$. Keberhasilan penelitian ini dapat memenuhi kebutuhan standar radioisotop ^{137}Cs untuk kalibrasi spektrometer- γ di PTBBN dengan harga yang lebih murah. Radioisotop ^{137}Cs tidak terdapat di alam dan hanya ada dalam hasil fisis, sehingga beberapa negara di dunia antara lain Amerika, Jepang telah mendapat izin dari IAEA (*International Atomic Energy Agency*) untuk melakukan *reprocessing* (proses olah ulang) bahan bakar pasca iradiasi[4,5]. Pengelolaan bahan bakar nuklir di BATAN tidak menerapkan proses olah ulang dan daur ulang pada ujung belakang disebut siklus bahan bakar terbuka atau "open fuel cycle". Namun untuk perhitungan *burn up* harus dilakukan proses pemisahan untuk mengetahui kandungan ^{137}Cs dan ^{235}U yang terdapat di dalam bahan bakar setelah mengalami proses iradiasi di reaktor. Kandungan ^{137}Cs yang digunakan untuk perhitungan *burn up*, selanjutnya diproses lebih lanjut menjadi sumber standar sekunder.

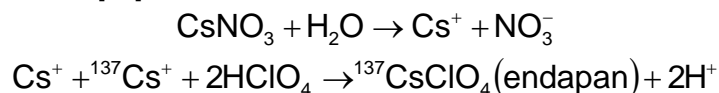
Pembuatan sumber standar radioisotop ^{137}Cs dengan aktivitas 10330 Bq untuk sumber kalibrasi spektrometer- γ mempunyai tingkat kesulitan. Hal ini disebabkan standar radioisotop ^{137}Cs dengan aktivitas 10330 Bq yang digunakan untuk sumber kalibrasi spektrometer- γ dituntut harus mempunyai kontrol kualitas yang baik. Persyaratan radioisotop sebagai standar kalibrasi mempunyai nilai akurasi, *reproducibility* atau keteguhan dan presisi yang sesuai, sehingga besar aktivitas suatu sumber radiasi dapat diketahui secara tepat[6]. Penentuan akurasi dirancang untuk menunjukkan bahwa standar radioisotop ^{137}Cs harus memberikan pembacaan aktivitas yang benar sepanjang skala energi radioisotop ^{137}Cs (661,45 keV). *Reproducibility* atau ketangguhan merupakan langkah untuk mengetahui

presisi dan akurasi pengukuran aktivitas standar radioisotop ^{137}Cs . Besarnya nilai akurasi, dan presisi sumber standar sekunder radioisotop ^{137}Cs dengan aktivitas 10330 Bq akan dibandingkan dengan sumber standar primer radioisotop ^{137}Cs (SRM 4233E dari *National Institute of Standard and Technology* atau NIST) dengan aktivitas yang sama[1,2].

Bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ yang telah mengalami radiasi di reaktor riset G.A. Siwabessy (RSG-GAS) di Serpong akan menghasilkan beberapa hasil fisi dan unsur-unsur bermassa berat (*heavy element=HE*). Setelah mengalami pendinginan dengan waktu lebih dari 100 hari, bahan bakar tersebut dikirim ke hotcell IRM untuk dilakukan analisis *Post Irradiation Examination* (PIE). Dalam melakukan analisis PIE khususnya *burn up*, banyak larutan hasil pengujian bahan bakar nuklir yang disimpan dalam *hotcell* dengan keaktifan yang sangat tinggi. Larutan tersebut mengandung ^{137}Cs (dengan waktu paroh 30,17 tahun) dan unsur-unsur berat dari uranium yang mempunyai waktu paroh panjang seperti; ^{238}U (waktu paroh $4,47 \times 10^9$ tahun), dan ^{235}U ($7,04 \times 10^8$ tahun)[7,8]. Larutan hasil pengujian tersebut masih dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk pembuatan sumber standar sekunder dari radioisotop ^{137}Cs .

Hal ini menjadikan latar belakang untuk melakukan pemisahan hasil fisi ^{137}Cs dengan HE yang terdapat di dalam limbah larutan hasil pengujian bahan bakar tersebut. Radioisotop ^{137}Cs mempunyai waktu paroh panjang dengan *fission yield* sekitar 6,26 %, menunjukkan bahwa pada saat terjadi reaksi fisi di reaktor akan menghasilkan kurang lebih 6 atom ^{137}Cs . Fenomena ini menunjukkan bahwa di dalam bahan bakar pasca iradiasi kandungan radioisotop ^{137}Cs sebagai pemancar radiasi sinar- γ lebih dominan dari pada radioisotop hasil fisi pemancar sinar- γ lainnya. Keunggulan tersebut menyebabkan radioisotop ^{137}Cs dalam industri nuklir menjadi salah satu radioisotop yang stabil sehingga dapat digunakan sebagai sumber standar untuk kalibrasi beberapa peralatan spektrometer gamma maupun alat ukur radiasi lainnya.

Metode pemisahan yang digunakan untuk mendapatkan radioisotop ^{137}Cs di dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ adalah metode pengendapan. Pemilihan metode pengendapan berdasarkan hasil penelitian sebelumnya[9] dan merupakan metode valid hasil pengembangan sendiri dari metode ASTM E 692-00[10,11]. Pemisahan radioisotop ^{137}Cs menggunakan metode pengendapan harus ditambahkan serbuk CsNO_3 sebagai *carrier* atau senyawa pembawa di dalam media HClO_4 . Penambahan serbuk CsNO_3 untuk memudahkan proses pengendapan, karena kandungan radioisotop ^{137}Cs dalam larutan bahan bakar nuklir pasca iradiasi yang dianalisis sangat kecil (150 μL). Hal ini dilakukan untuk menghindari paparan radiasi terhadap pekerja radiasi di laboratorium. Oleh karena itu, dalam proses pengendapan radioisotop ^{137}Cs dibutuhkan suatu senyawa pembawa untuk meningkatkan kandungan ion cesium. Persyaratan senyawa pembawa yang ditambahkan harus mempunyai sifat kimia yang sama dari ion yang akan diendapkan dan merupakan garam dari radioisotop ion logam yang akan dipisahkan. Berdasarkan hal tersebut maka pada proses pengendapan ^{137}Cs dari larutan bahan bakar nuklir dibutuhkan penambahan garam Cs dari CsNO_3 dalam media HClO_4 . Senyawa pembawa akan meningkatkan konsentrasi ion Cs^+ dalam larutan, sehingga pada saat ion tersebut diendapkan sebagai garam CsClO_4 , akan mengadsorpsi ^{137}Cs aktif secara maksimum dan menyebabkan pembentukan endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ juga secara maksimum, sedangkan penggunaan media perchlorat disebabkan endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ memiliki kelarutan rendah pada temperatur 0°C [12,13]. Oleh karena itu proses pengendapan radioisotop ^{137}Cs dengan penambahan larutan HClO_4 harus dilakukan di dalam penangas es (*ice bath*) pada temperatur di bawah 0°C (-4°C) agar terbentuk endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ secara sempurna. Fenomena terjadinya reaksi pengendapan $^{137}\text{CsClO}_4$ mengikuti reaksi berikut[12]:



Radioisotop ^{137}Cs akan terikat dalam endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ sebagai fasa padat dan diharapkan radioisotop lainnya berada di dalam supernatan sebagai fasa cair. Radioisotop ^{137}Cs di dalam bentuk $^{137}\text{CsClO}_4$ selanjutnya diproses menjadi sumber tertutup (*shield source*) dan merupakan sumber radiasi gamma dan dapat digunakan sebagai standar sekunder.

Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat standar sekunder radioisotop ^{137}Cs dengan aktivitas 10330 Bq tersertifikasi. Adapun dasar pertimbangan pembuatan standar

sekunder radioisotop ^{137}Cs dengan aktivitas 10330 Bq adalah karena PTBBN mempunyai standar primer radioisotop ^{137}Cs (SRM 4233E) dari NIST dengan aktivitas 10330,55 Bq pada 10 November 2015. Standar primer radioisotop ^{137}Cs dari NIST merupakan pembanding terhadap standar sekunder radioisotop ^{137}Cs yang akan dibuat, sehingga diperoleh standar yang tertelusur. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai sumber standar sekunder untuk mengkalibrasi aktivitas alat spektrometer- γ di PTBBN, sehingga besar aktivitas maupun kandungan radioisotop pemancar gamma yang terdapat di dalam bahan bakar nuklir maupun limbah hasil pengujian bahan bakar dapat diketahui secara benar dan akurat.

METODOLOGI

Pemisahan ^{137}Cs dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi

Larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{/Al}$ pasca iradiasi dipipet sebanyak 150 μL secara triplo, kemudian ditambahkan 700 mg CsNO_3 sebagai *carrier* atau senyawa pembawa di dalam media HClO_4 . Proses pengendapan radioisotop ^{137}Cs dengan penambahan larutan HClO_4 dilakukan di dalam penangas es (*ice bath*) pada suhu di bawah -4°C selama 1 jam, sehingga terbentuk endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ [9,12]. Radioisotop ^{137}Cs yang telah terikat dalam bentuk $^{137}\text{CsClO}_4$ kemudian dicuci dan dikeringkan untuk menghilangkan kandungan aimya. Endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ bersifat polar yang mudah larut dalam air dan masih mengandung ion-ion seperti Cl^- dan NO_3^- . Untuk menghilangkan ion-ion yang terlarut dalam endapan diperlukan proses pencucian, sedangkan untuk meminimalkan kelarutan endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ dalam proses pencucian tersebut digunakan pelarut non polar (acetone). Endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ yang telah kering kemudian ditimbang dan diukur besar aktivitasnya menggunakan spektrometer- γ dengan detektor type HPGe. Endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ selanjutnya diproses menjadi sumber tertutup (*shield source*) sebagai sumber radiasi gamma[1,2].

Uji banding antar laboratorium

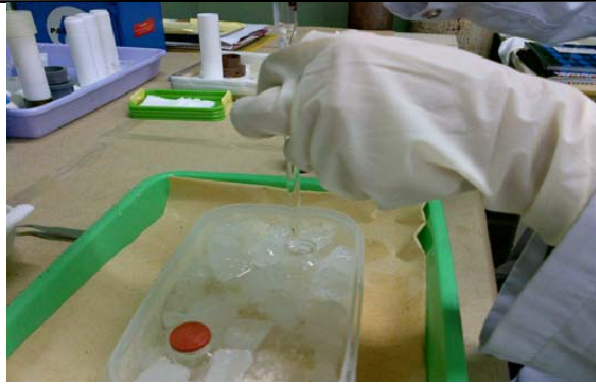
Untuk mengetahui aktivitas dari radioisotop ^{137}Cs di dalam endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ maka dilakukan pencuplikan sampel dengan berat 50 mg (triplo), selanjutnya dilakukan uji banding antar laboratorium untuk pengukuran aktivitas ^{137}Cs menggunakan spektrometer- γ di PTBBN dan PTKMR. Metode perbandingan juga dilakukan terhadap standar radioisotop ^{137}Cs bersertifikat SRM 4233C dari NIST (*National Institute of Standard and Technology*) sebagai sampel serta. Hasil uji banding antar laboratorium tersebut kemudian di evaluasi, sehingga diperoleh berat dan rentang aktivitas endapan $^{137}\text{CsClO}_4$. Sebelum dilakukan pengemasan endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ dalam pelaksanaan uji banding dilakukan juga penentuan akurasi, *reproducibility* atau keteguhan serta linearitas dari sumber standar sekunder radioisotop ^{137}Cs yang dibandingkan dengan radioisotop ^{137}Cs bersertifikat SRM 4233C dari NIST [10,14].

Pengemasan endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ dan sertifikasi

Dalam melakukan pengemasan endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ dengan berat 50 mg, terlebih dahulu harus di rancang wadah yang terbuat dari resin. Perhitungan tebal resin dalam mendesain wadah tersebut dilakukan oleh PTKMR-BATAN. Endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ dengan berat 50 mg berbentuk serbuk kering, kemudian dimasukkan ke dalam resin dengan mengikuti persyaratan penanganan bahan radioaktif menjadi suatu sumber ^{137}Cs tertutup (*shield sources*)[1,2]. Setelah selesai pengemasan, selanjutnya sumber ^{137}Cs tertutup tersebut harus dilakukan perhitungan tentang ketidakpastian pengukuran, akurasi, dan *reproducibility* atau presisi dari sumber standar sekunder radioisotop ^{137}Cs .

HASIL DAN PEMBAHASAN

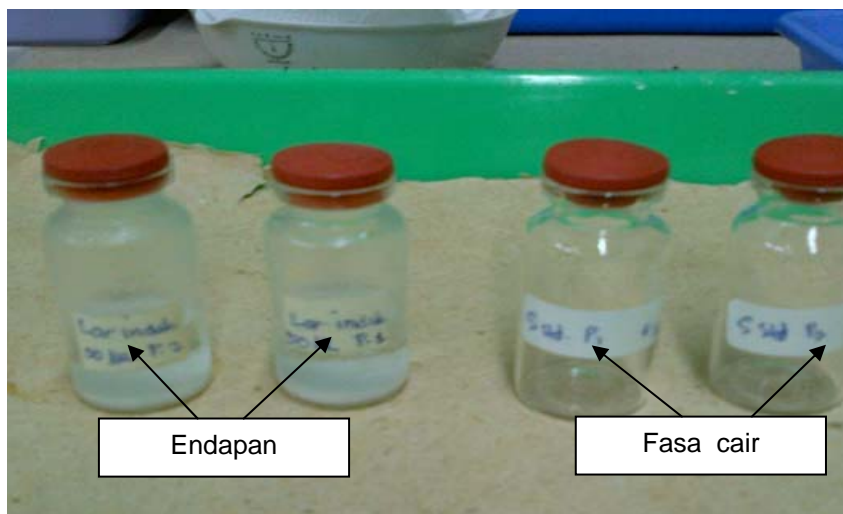
Hasil proses pengendapan menunjukkan terjadinya pemisahan antara endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ sebagai fasa padat dengan radioisotop lainnya dalam fasa cair atau supernatan seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemisahan ^{137}Cs dengan metode pengendapan dalam penagas es

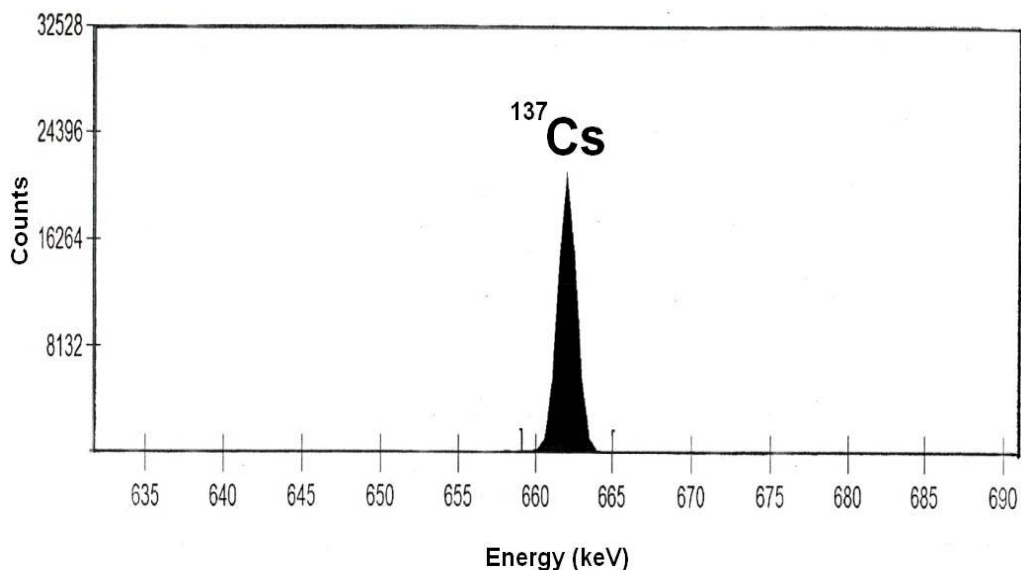
Gambar 1 menunjukkan bahwa proses pengendapan ^{137}Cs menjadi garam $^{137}\text{CsClO}_4$ harus dilakukan dalam penangas es dengan temperatur -4°C , hal ini disebabkan karena endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ mempunyai kelarutan (solubility) yang rendah sebesar $8,0 \text{ mg/mL}$ pada temperatur 0°C (proses pengendapan sulit terjadi bila dilakukan pada temperatur diatas 0°C).

Hasil pemisahan berupa endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ kering diperoleh dengan berat rerata $697,67 \text{ mg}$ secara triplo seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Radioisotop ^{137}Cs terikat dengan HClO_4 di dalam endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ sebagai fasa padat dan radioisotop lainnya (uranium) berada di dalam supernatan sebagai fasa cair. Terjadinya pemisahan ini disebabkan karena adanya perbedaan kelarutan antara endapan CsClO_4 dengan uranium dan radioisotop lainnya dalam fasa cair.



Gambar 2. Pemisahan endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ dengan supernatan

Dalam menghindari paparan radiasi, dilakukan pencuplikan sampel endapan CsClO_4 dengan berat sekitar $\pm 50 \text{ mg}$ dan diukur besar aktivitasnya menggunakan spektrometer- γ . Hasil pengukuran aktivitas radioisotop ^{137}Cs dengan menggunakan spektrometer- γ di PTBBN diperoleh spektrum seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum radioisotop ^{137}Cs dalam endapan CsClO_4 hasil pengukuran menggunakan spektrometer- γ di PTBBN

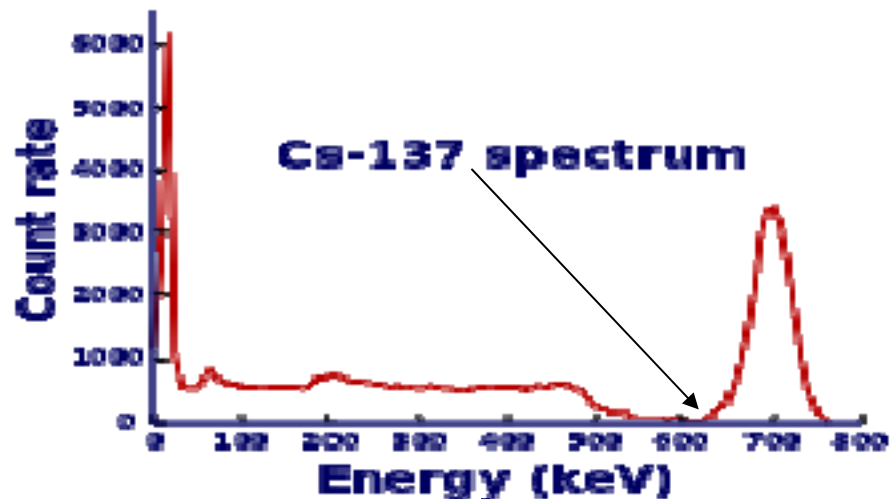
Gambar 3 menunjukkan bahwa spektrum ^{137}Cs diperoleh pada energi 661,45 keV dengan cacahan rerata sekitar 8562,333 counts (triplo). Hasil evaluasi terhadap spektrum ^{137}Cs sebagai hasil pengukuran di PTBBN diperoleh kandungan ^{137}Cs dan aktivitas dalam endapan $^{137}\text{CsClO}_4$. Hasil ini dibandingkan dengan aktivitas standar ^{137}Cs dari NIST seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan dan aktivitas ^{137}Cs dalam endapan CsClO_4 di PTBBN

Kode Sampel	Berat sampel dalam cuplikan (mg)	Kand. ^{137}Cs dalam cuplikan CsClO_4 (μg)	Aktivitas ^{137}Cs (Bq)
Standar ^{137}Cs NIST	50,05	0,00321	10330,53542
^{137}Cs -P1	49,94	0,00323	10330,18262
^{137}Cs -P2	50,03	0,00322	10330,07832
^{137}Cs -P3	50,05	0,00322	10330,18262
Rerata	50,04	0,00322	10330,14785
SD			0,0602
Presisi (%)			0,0006
Akurasi (%)			0,0038

Tabel 1 menunjukkan bahwa besar aktivitas radioisotop ^{137}Cs antara standar NIST dengan endapan CsClO_4 dari larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi tidak mempunyai perbedaan yang signifikan. Besar aktivitas sekitar 10330,53542 Bq untuk standar NIST dan 10330,14785 Bq untuk endapan CsClO_4 dengan standar deviasi (SD) sebesar 0,0602, presisi 0,0006 % dan akurasi 0,0038 %. Hasil analisis ini menunjukkan bahwa radioisotop ^{137}Cs dari larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi dapat digunakan sebagai standar sekunder.

Sementara itu, hasil pengukuran ^{137}Cs dalam endapan $^{137}\text{CsClO}_4$ dengan menggunakan spektrometer- γ di PTKMR diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum radioisotop ^{137}Cs dalam endapan CsClO_4 hasil pengukuran menggunakan spektrometer- γ di PTKMR

Gambar 4 menunjukkan bahwa spektrum radioisotop ^{137}Cs terbentuk pada energi 661,45 keV. Pengukuran radioisotop ^{137}Cs menggunakan spektrometer- γ di PTBBN maupun PTKMR menunjukkan tidak ada spektrum radioisotop lain yang terdeteksi selain ^{137}Cs . Hal ini menunjukkan bahwa metode pengendapan yang digunakan cukup baik untuk pemisahan cesium dengan isotop lainnya dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi, karena terbukti selektif terhadap radioisotop ^{137}Cs .

Tabel 2. Kandungan dan aktivitas ^{137}Cs dalam endapan CsClO_4 di PTKMR

Kode Sampel	Berat sampel dalam cuplikan (mg)	Kand. ^{137}Cs dalam cuplikan CsClO_4 (μg)	Aktivitas ^{137}Cs (Bq)
Standar ^{137}Cs NIST	50,05	0,00322	10330,53540
^{137}Cs -P1	49,94	0,00323	10330,18259
^{137}Cs -P2	50,03	0,00321	10330,07832
^{137}Cs -P3	50,05	0,00322	10330,18290
Rerata	50,04	0,00322	10330,14794
SD			0,0603
Presisi			0,0006
Akurasi			0,0038

Hasil evaluasi terhadap spektrum ^{137}Cs dalam endapan CsClO_4 hasil pengukuran di PTKMR diperoleh kandungan ^{137}Cs dan aktivitas dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Hasil uji banding antar laboratorium yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2 menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan besar aktivitas radioisotop ^{137}Cs yang diperoleh, baik hasil pengukuran ^{137}Cs di PTBBN maupun di PTKMR

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang akurat, maka dilakukan perhitungan ketidakpastian pengukuran untuk mengetahui bentangan pengukuran radioisotop ^{137}Cs . Perhitungan ketidakpastian pengukuran memperhatikan faktor faktor yang berpengaruh dalam pengukuran antara lain SD, presisi, akurasi baik dari sertifikat maupun sampel endapan CsClO_4 yang digunakan. Hasil perhitungan ketidakpastian pengukuran ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Ketidakpastian pengukuran radionuklida ^{137}Cs .

Komponen	Distribusi	U (%)	Pembagi	V_i	u_i	c_i	$u_i c_i$ (%)	$(u_i c_i)^2$ (%)
Sertifikat sumber standar	normal	4,00	2	∞	2,000	1	2,000	4,000
Umur paro sumber standar	rectangular	0,02	1,7321	∞	0,009	1	0,009	0,000
Efisiensi Deteksi	normal	0,00307	2,0000	∞	0,002	1	0,002	0,000
Net area sumber standar	normal	0,57	2,0000	∞	0,285	1	0,285	0,081
Intensitas sampel	rectangular	0,16	1,7321	∞	0,092	1	0,092	0,009
Net area sampel	normal	0,41	2,0000	∞	0,205	1	0,205	0,042
Umur paro sampel	rectangular	0,02	1,7321	∞	0,009	1	0,009	0,000
Jumlah								4,132
Ketidakpastian baku, u_c , (%)								2,033
Faktor cakupan pada derajat kepercayaan = 95 %								1,96
Ketidakpastian bentangan $U = k \cdot u_c$, (%)								3,98

Dari Tabel 3 diketahui bahwa besar bentangan ketidakpastian pengukuran radioisotop ^{137}Cs diperoleh sebesar 3,98 %. Fenomena ini menunjukkan bahwa ketelitian pengukuran ^{137}Cs berada pada bentangan aktivitas sebesar $10330 \text{ Bq} \pm (3,98/100 \times 10330)\text{Bq}$ atau sebesar 411 Bq, sehingga penulisan aktivitas radioisotop ^{137}Cs dituliskan dalam bentuk persamaan Aktivitas $(10330 \pm 411) \text{ Bq}$.

Endapan CsClO_4 dengan aktivitas ^{137}Cs sebesar $(10330 \pm 411) \text{ Bq}$, kemudian dikemas di dalam resin dengan polimer sebagai pelapis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Endapan tersebut dikemas menjadi sumber standar ^{137}Cs tertutup (*shield sources*) yang siap digunakan sebagai standar sekunder. Standar sekunder ^{137}Cs tersebut kemudian di sertifikasi oleh PTKMR dengan nomor seri sertifikasi 51110 dan izin pemanfaatan dari BAPETEN dengan nomor 017832.3.187.01000.011214.



Gambar 5. Standar sekunder radioisotop ^{137}Cs dalam sumber tertutup shield sources dengan aktivitas $10330 \pm 411 \text{ Bq}$

KESIMPULAN

Telah diperoleh standar sekunder radioisotop ^{137}Cs dari larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi dengan aktivitas sebesar 10330 ± 411 Bq. Standar radioisotop ^{137}Cs tersebut dikemas menjadi sumber standar ^{137}Cs tertutup (*shield sources*) dan siap digunakan sebagai standar sekunder untuk kalibrasi aktivitas spektrometer- γ . Hasil penelitian ini dapat meningkatkan kemampuan SDM untuk memahami metodologi dan teknologi pemisahan isotop ^{137}Cs sebagai sumber radiasi gamma.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih diucapkan kepada Bpk.Sungkono.MT, sebagai Ka.Bid BUR dan kepada Ibu Sutri Indaryati, Rosika Kriswarini dan teman teman kelompok Fisikokimia-PTBBN-BATAN dan teman di PTKMR yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASLINA BR.GINTING, DIAN ANGGRAINI, ARIF NUGROHO, ROSIKA KRISWARINI, GATOT WURDIYANTO, HERMAWAN, "Pembuatan Isotop ^{137}Cs Sebagai Sumber Radiasi Gamma Untuk Digunakan Dalam Industri", URANIA Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir, Vol. 20 No. 3, Oktober 2014, ISSN 0852-4777, (2014).
2. ASLINA BR. GINTING, DIAN ANGGRAINI, ARIF NUGROHO, ROSIKA KRISWARINI, SRIYONO, MOCH SUBEKTI, GATOT WURDIYANTO, HERMAWAN, "Pembuatan Sumber Radiasi Gamma ^{137}Cs Dengan Aktivitas 20 mCi Dari PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi Dalam Container Stainless Steel", URANIA – Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir, Vol. 21 No. 3, Oktober 2015, ISSN 0852-4777, (2015).
3. J.REAL, F.PERSIN, C.CAMARASA CAURET, "Mechanisms of Desorption Cesium and Strontium Aerosols Deposited on Urban Surfaces", Journal of Environmental Radioactivity, Volume 62, Issue 1, (2012).
4. J.P.GLATZ, "Spent Fuel Dissolution and Reprocessing Processes", Reference Modul in Materials Science and Materials Engineering, Vol 5, page 343-366, (2012).
5. H.FORSSTRAN, "Spent Fuel and Radioactive Waste Management in Nuclear Power Programs, Infrastructure and Methodologies for the Justification of Nuclear Power Programmes , A value in Woodhead Publishing Series in Energy, page 465-501, (2011).
6. J. SUMANTO, A. JALIL, SUKANDAR, DAN ROMADHON, "Desain Perangkat Pengukur Aktivitas Dosis Pada Renograf", Prosiding Pertemuan Ilmiah Perekayasaan Perangkat Nuklir, PRPN – BATAN, 14 November 2013, Serpong, (2013).
7. ASLINA.B.GINTING, DIAN ANGGRAINI, ARIF NUGROHO, "Pengaruh Penambahan Zeolit Terhadap Pemisahan Isotop ^{137}Cs Dalam Pelat Elemen Bakar $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi", Jurnal Teknologi Bahan Nuklir- PTBBN-BATAN, Vol.7, No.2, Juni, (2011).
8. ARIF NUGROHO, BOYBUL, ASLINA BORU GINTING, "Pemungutan Isotop Hasil Fisi ^{137}Cs dan Unsur Bermassa Berat Dari Bahan Bakar $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi", Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, Vol. 10 No.1 Januari 2014. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN)–BATAN. ISSN 1907-2635, (2014).
9. ASLINA BR.GINTING, DIAN ANGGRAINI, "Metode Pengendapan Dan Metode Penukar Kation Pada Proses Pemisahan Cesium Di Dalam Bahan Bakar $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ ", URANIA – Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir, Vol. 22 No. 2, Juni 2016, Akreditasi No: 595/AU3/P2MI-LIPI/03/2015, (2016).
10. AMERICAN STANDARD TEST METHODS, ASTM-E 692-00, "Standard Test Methods for Determining the Content of Cesium-137 in Irradiation Nuclear Fuels by High Resolution Gamma-ray Spectral Analysis", Standard Test Method for Nuclear Material, USA, Vol.12.1, (2000).
11. H.SIMGER, F.ARNOLD, H. AUFURHOFF, R.BAUMAN, F. KAETHER, S. LINDEMANN, L.RAUCH, "Detection of ^{133}Xe from the Fukushima Nuclear Power Plant in The Upper Troposphere above Germany", Journal of Environmental Radioactivity, Volume 132, June (2014).
12. DIAN A, ARIF NUGROHO, ASLINA B.G, YUSUF NAMPIRA, BOYBUL, "Penentuan Parameter Optimum Proses Pengendapan CsClO_4 Pada Pemisahan Isotop ^{137}Cs Dari Larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ Pasca Iradiasi", URANIA-Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir, Vol. 19 No.2, Juni 2013, ISSN 0852-477, (2013).
13. ASLINA BR.GINTING, BOYBUL, ARIF NUGROHO, DIAN A, ROSIKA, "Pemisahan dan Analisis ^{137}Cs dan ^{235}U Dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi Untuk Penentuan Burn up",

Jurnal Teknologi Bahan Nuklir Vol. 11 No.2 Juni 2015. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN)–BATAN. ISSN 1907-2635. No.Akreditasi 616/AU3/P2MBI-LIPI/03/2015,(2015).

14. ASLINA BR.GINTING, HONG PENG LIEM, “Absolute Burn Up Measurement of LEU Silicide Fuel Plate Irradiated in the RSG GAS Multipurpose Reactor by Destructive Radiochemical Technique”, Journal Annals of Nuclear Energy, Elsevier (2015).

MOLTEN SALT REACTOR (MSR) DENGAN DAUR BAHAN BAKAR THORIUM

Erlan Dewita, Sriyana

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir, Jakarta 12710

email: erland@batan.go.id

ABSTRAK

MOLTEN SALT REACTOR (MSR) DENGAN DAUR BAHAN BAKAR THORIUM. Dalam rangka untuk keamanan dan kemandirian energi nuklir, saat ini potensi penggunaan thorium sebagai bahan bakar nuklir alternatif banyak mendapatkan perhatian dunia karena kelebihan yang dimiliki. Selain, sifat-sifat fisiknya yang unggul, juga kelimpahannya di alam yang 3-4 kali lebih tinggi dibanding uranium. Pada dasarnya, bahan bakar basis thorium sudah digunakan pada beberapa jenis reaktor sejak tahun 60 an, seperti: Molten Salt Reactor di USA, MSRE dengan daya 7,4 MWth, HTGR (Dragon di UK, Pach bottom dan Fort St Vrain di USA), serta PWR 100 MW dioperasikan di Shippingport tahun 1977-1982. Reaktor MSR dipertimbangkan sebagai reaktor yang berpotensi menggunakan daur bahan bakar thorium. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi dengan tujuan untuk lebih mengetahui dan memahami kinerja reaktor MSR dengan daur bahan bakar thorium dimana sebagai langkah awal apabila Indonesia akan mengembangkan reaktor tersebut di masa mendatang. Metodologi yang digunakan adalah mengkaji dan menganalisis beberapa pustaka hasil penelitian dan pengalaman dari beberapa negara terkait reaktor MSR menggunakan daur bahan bakar thorium dan sistem keselamatan. Hasil studi menunjukkan bahwa reaktor MSR sesuai untuk menggunakan daur bahan bakar thorium karena bentuk cair sehingga dapat dilakukan reprocessing secara online dan isotop protactinium (Pa-233) yang terbentuk dan merupakan racun neutron dapat dipindahkan dari teras reaktor. Selain dari sisi keselamatan MSR menggunakan daur bahan bakar thorium dapat meningkatkan sistem keselamatan karena tidak akan terbentuk hidrogen yang dapat mengakibatkan ledakan serta tidak akan terjadi kecelakaan pelelehan teras. Hasil studi diharapkan dapat digunakan untuk menambah pemahaman terkait teknologi reaktor MSR dengan daur bahan bakar thorium yang kedepan akan berguna apabila Indonesia akan mengembangkan reaktor tersebut.

Kata Kunci: thorium, bahan bakar, siklus, reaktor, uranium

ABSTRACT

MOLTEN SALT REACTOR (MSR) WITH THORIUM FUEL CYCLE. In order to achieve nuclear energy security and independency, recently the using of thorium as an alternative nuclear fuel receives much of the world's attention because of its advantages. In addition, its superior physical properties, as well as its abundance in nature are 3-4 times higher than uranium. Basically, thorium fuel has been used in several reactors since the 60's, such as: Molten Salt Reactor in USA, MSRE with 7.4 MWth power, HTGR (Dragon in UK, Pach bottom and Fort St Vrain in USA), and 100 MW PWR were operated in Shippingport in 1977-1982. The MSR reactor is considered as a potential reactor which is able to apply the thorium fuel cycle. Therefore, it is necessary to study in order to know and understand the MSR performance using thorium fuel cycle where as the first step if Indonesia will develop that reactor in the future. The methodology used is to assess and analyzing some secondary data from several countries due to MSR reactor using thorium fuel cycle and its safety system. The result of this study showed that MSR reactor is suitable to use thorium fuel cycle due to its fuel and coolant are liquid form so it can be reprocessed online so that the protactinium (Pa-233) is formed and is a neutron poison can be removed from the reactor core. Beside it, by using thorium fuel cycle, MSR safety can improve because hydrogen will not produce which it can cause explosion and there will not be a melting accident on the reactor core. The results of the study are expected to be used to increase the understanding of MSR reactor technology by using thorium fuel cycle that in the future will be useful if Indonesia will develop that reactor.

Keywords: thorium, fuel, cycle, reactors, uranium

PENDAHULUAN

Dewasa ini, terdapat 437 unit reaktor nuklir komersial beroperasi di dunia dengan produksi listrik sebesar 377 GWe dan membutuhkan uranium sekitar 56.585 tU per tahun. Sedangkan, data produksi uranium dunia sebesar 55.975 tU dan jumlah uranium tersebut dapat digunakan untuk memasok 99% kebutuhan bahan bakar reaktor nuklir. Namun, kapasitas daya nuklir dunia diproyeksikan akan terus meningkat antara 418 GWe - 683 GWe pada tahun 2035, sehingga kebutuhan uranium dunia diproyeksikan akan terus meningkat antara 66.995 tU dan 104.740 tU pada tahun 2035[1]. Sedangkan kondisi di Indonesia saat ini, jumlah kebutuhan uranium masih sangat kecil mengingat Indonesia belum memiliki PLTN, namun berdasarkan data INEO (*Indonesia Nuclear Energy Outlook*) menyebutkan bahwa PLTN pertama di Indonesia diproyeksikan akan beroperasi pada tahun 2027 dengan kapasitas 2 x 1000 MWe, dan akan dibutuhkan sekitar 44 ton uranium diperkaya. Pada tahun 2050 dimana kapasitas total PLTN hampir mencapai 21 GWe, maka akan membutuhkan sekitar 462 ton uranium diperkaya[2]. Oleh karena itu, untuk tujuan kemandirian dan ketahanan energi nuklir (uranium), sebagai langkah awal maka perlu dilakukan kajian bahan bakar thorium sebagai bahan bakar nuklir alternatif di masa mendatang.

Daur bahan bakar thorium memiliki sejumlah keuntungan, seperti kelimpahan di alam yang 3-4 kali lebih tinggi, limbah dengan radiotoksitas rendah, konduktivitas panasnya tinggi, senyawa thorium oksida (ThO_2) yang secara kimia bersifat inert, koefisien ekspansi panas rendah, ketahanan proliferasi tinggi. Setelah menyerap 1 neutron dan diikuti oleh reaksi peluruhan, maka Th-232 ditransmutasi menjadi isotop fisiil U-233. Karena, tampang lintang serap neutron termal Th-232 (7,4 b) yaitu sekitar 3 kali lebih besar dibanding U-238 (2,7b), sehingga thorium (dikonversi menjadi U-233) memiliki rasio konversi lebih besar dibanding U-238 (dikonversi menjadi Pu-239), sehingga thorium memiliki potensi digunakan sebagai bahan bakar fertil. Thorium-232 merupakan isotop fertil (dapat biak) yang berpotensi digunakan sebagai bahan bakar nuklir alternatif, selain uranium-235 yang merupakan isotop dapat belah (fisiil) utama dan sudah digunakan pada beberapa reaktor nuklir di dunia. Potensi yang dimiliki Thorium-232 adalah selain di alam memiliki kelimpahan tinggi 3-4 kali lebih tinggi dibanding uranium, thorium juga mempunyai beberapa sifat-sifat fisik yang lebih unggul dibanding uranium, seperti: titik leleh tinggi (3.300°C) sehingga dapat digunakan untuk temperatur operasi dan derajat bakar yang lebih tinggi. Selain itu, konduktivitas panas ThO_2 relatif lebih tinggi, dan thorium dalam bentuk oksida (ThO_2) lebih stabil dan mempunyai ketahanan radiasi yang lebih tinggi dibanding uranium dioksida (UO_2). Ditinjau dari kinerjanya, bahan bakar basis thorium menawarkan margin keselamatan operasional dan toleransi kecelakaan yang lebih tinggi karena berbagai sifat yang menguntungkan, seperti: titik leleh yang sangat tinggi (3300°C), tidak mudah teroksidasi, konduktivitas termal tinggi dan memiliki kemampuan tinggi untuk mempertahankan produk fisi dalam kisi Kristal. Selain keuntungan yang dimiliki, thorium juga memiliki beberapa kelemahan/ tantangan yang harus dipertimbangkan untuk penggunaannya dalam reaktor. Tantangan utama adalah terbentuknya Pa-233 sebagai produk antara dari isotop Th-232 menjadi U-233. Isotop Pa-233 bersifat penyerap neutron, selain itu isotop Pa-233 dengan waktu paruh yang relatif panjang yaitu 27 hari berdampak dapat menghasilkan lonjakan reaktivitas beberapa lama setelah pemadaman reaktor karena tertundanya pembentukan U-233.[3,4]

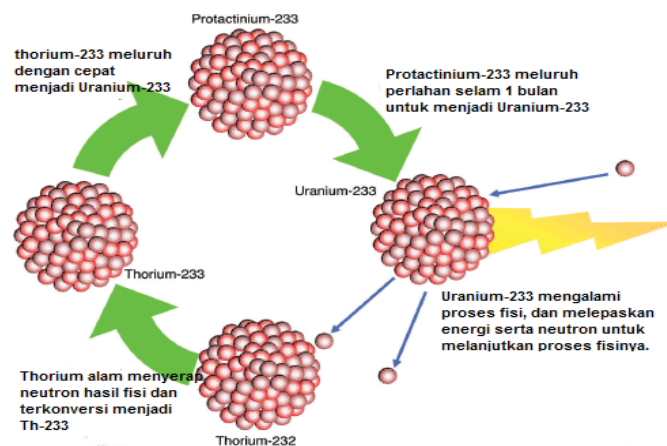
Sejak pertengahan tahun 1950-an hingga pertengahan tahun 1970-an, bahan bakar thorium sudah digunakan pada beberapa tipe reaktor, seperti reaktor AVR 15MW(e) (1967-1988) dan THTR-300 MWe (1985-1989) yang dikembangkan di Jerman dan menggunakan reaktor HTGR tipe *pebble bed* (PBR), reaktor Peach Bottom (40 MW(e) (1966-1972), Dragon (1966-1973) yang dikembangkan di Inggris dan menggunakan reaktor HTGR tipe *pebble bed* serta Fort St. Vrain (330Mwe) (1976-1989) yang dikembangkan di USA dan menggunakan reaktor HTGR tipe prismatik. Saat ini, selain Amerika, Tiongkok juga sedang mengembangkan beberapa unit reaktor MSR menggunakan bahan bakar thorium. Panas yang dihasilkan dalam teras reaktor, dipindahkan oleh garam bahan bakar menuju *heat exchanger* sebelum dikembalikan lagi ke teras reaktor.[5] Namun, setelah tahun 1970-an, perkembangan penggunaan bahan bakar thorium menunjukkan kondisi stagnan bahkan cenderung semakin menurun (kecuali India yang telah mengoperasikan program yang sangat signifikan). Sementara, di Amerika sejak tahun 1950-an hingga saat ini, penelitian intensif terhadap penggunaan bahan bakar thorium dalam reaktor MSR masih terus dilakukan. *Molten salt reactors* (MSRs) merupakan reaktor Generasi IV yang berbahan bakar dan berpendingin garam cair serta berpotensi digunakan untuk membakar aktinida-

aktinida, memproduksi listrik, hidrogen dan bahan bakar fisil (membiak). Reaktor MSR juga merupakan tipe reaktor yang cocok menggunakan daur bahan bakar thorium, Kelebihan lain reaktor MSR dibanding reaktor lain yaitu mengingat MSR menggunakan bahan bakar cair sehingga tidak memerlukan fabrikasi, serta tidak mungkin terjadi pelelehan teras akibat kecelakaan akibat kehilangan pendingin reaktor, sebab kondisi bahan bakar sudah dalam fase cair. Pada reaktor MSR, bahan fisil, fertil, dan produk fisi terlarut dalam garam fluoride cair yang memiliki titik didih sangat tinggi (~1400°C). Tujuan studi adalah melakukan kajian untuk memahami sistem dan teknologi reaktor MSR dengan daur bahan bakar thorium. Metodologi adalah mengkaji dan menganalisis data-data sekunder terkait sistem dan teknologi reaktor MSR dan daur bahan bakar thorium yang berasal dari beberapa Negara seperti: Jerman, Amerika, Jepang. Hasil studi diharapkan dapat digunakan sebagai modal dan bahan masukan bagi penulis pada khususnya dan Indonesia pada umumnya, yang berguna apabila kedepan Indonesia akan mengembangkan reaktor MSR berbahan bakar thorium.

TEORI

Daur Bahan Bakar Thorium

Thorium merupakan bahan fertil (bahan dapat biak), dimana apabila menyerap neutron maka thorium akan dikonversi menjadi U-233 disertai terbentuknya produk fisi intermediate berupa Protactinium-231 dan produk turunannya berupa unsur thalium yang merupakan pengemisi sinar gamma energi tinggi. Karena itu, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, daur bahan bakar thorium merupakan daur bahan bakar nuklir yang menggunakan isotop thorium (Th-232) sebagai bahan fertil. Pemiakan thorium-232 dapat menggunakan reaktor termal atau reaktor cepat, meskipun diawal bahan bakar thorium tersebut membutuhkan bahan fisil (U-235 atau Pu-239) yang digunakan untuk memulai proses pembiakan, karena thorium alam hanya mengandung bahan fisil dalam jumlah yang tidak signifikan yaitu Th-231, sehingga tidak cukup untuk menginisiasi reaksi berantai nuklir.



Gambar 1. Daur Bahan Bakar Thorium[6]

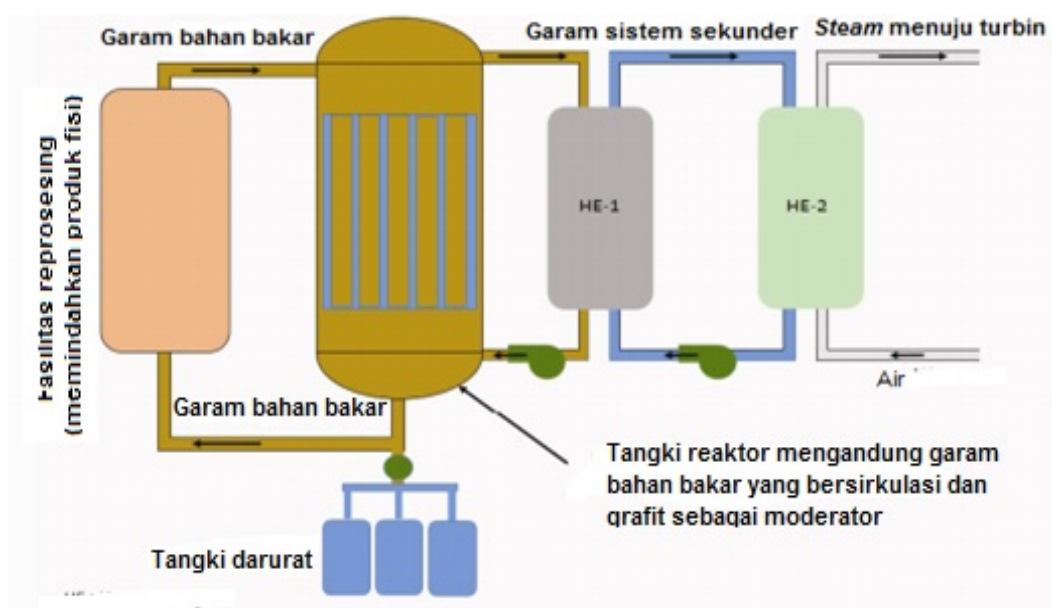
Keuntungan potensial penggunaan daur bahan bakar thorium adalah kelimpahannya di alam 3 sampai 4 kali lebih tinggi dibanding dengan uranium, sifat fisik maupun nuklir yang lebih baik dibanding uranium dimana thorium memiliki titik leleh yang lebih tinggi, konduktivitas panas dan kemampuan menahan gas-gas hasil fisil yang lebih baik, karena itu thorium memberikan margin keselamatan yang lebih tinggi selama reaktor beroperasi. Bahan bakar thorium, juga memiliki ketahanan proliferasi tinggi sehubungan adanya isotop U-232 yang diproduksi dan mengemisikan sinar gamma energi tinggi serta selalu mengkontaminasi isotop U-233, memproduksi aktinida minor dan plutonium dalam jumlah yang lebih sedikit sehingga radioaktivitas limbah yang dihasilkan menjadi lebih kecil[7], selain itu thorium dioksida (ThO₂) atau thoria dikenal sebagai bahan yang mempunyai kinerja iradiasi yang lebih baik dibanding dengan UO₂. Fitur lain daur thorium yang disukai adalah aktinida minor yang diproduksi lebih rendah dimana aktinida merupakan penyumbang utama radiotoksitas bahan bakar bekas[11,12]. Keuntungan Bahan Bakar Basis Thorium Cair yang potensial,

diantaranya: (1) Bahan bakar tidak dapat meleleh, karena sudah berada dalam kondisi leleh. (2) Garam bahan bakar dapat secara otomatis dipindahkandari teras reaktor

Daur thorium juga memiliki beberapa kelemahan. Salah satunya adalah bahwa selama daur thorium lebih banyak gas diproduksi setiap proses fisi, seperti: ^{85}Kr , $^{131,133,135}\text{Xe}$, ^3H , ^{35}S , $^{125,131}\text{I}$ dan lain-lain. Berdasarkan pengalaman, thorium dioksida dapat menahan lebih banyak gas dibanding uranium dioksida. Meskipun isu penting lainnya berkaitan dengan daur ulang, ^{233}U yang dihasilkan selalu terkontaminasi dengan ^{232}U dan produk turunannya, seperti: ^{208}Tl mengemisikan radiasi gamma dengan energi 2.6 MeV dan waktu paruh pendek. Sebagai akibatnya, radioaktivitas meningkat seiring dengan bertambahnya waktu untuk membiaknya isotop uranium. [8]Pembentukan radionuklida lain dari daur bahan bakar thorium juga akan menyulitkan, karena secara spesifik akan dihasilkan Pa-231, Th-229 dan Th-230 (dengan umur paruh 32.500, 7.900 dan 75.400 tahun) yang memiliki dampak radiologis jangka panjang. Sebagai akibatnya, daur bahan bakar thorium masih membutuhkan pembuatan penyimpanan geologi untuk pengelolaan produk limbah umur panjang, seperti daur bahan bakar uranium. Saat ini, India merupakan negara yang terdepan untuk industrialisasi daur bahan bakar thorium.

Sistem dan Teknologi Reaktor MSR

Molten salt reactors (MSR) dengan skema seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. merupakan reaktor fisi nuklir yang menggunakan campuran garam cair, seperti LiF-BeF₂ (Flibe) dan LiF-NaF-KF (Flinak) sebagai pendingin primer. Garam cair sebagai pendingin reaktor mempunyai karakteristik menarik khususnya memiliki kapasitas panas volumetrik dan titik didih yang tinggi. *Molten Salt Reactors* (MSRs) juga menggunakan bahan bakar fluida cair dalam bentuk garam fluorida dan khlorida yang sangat panas menggantikan bahan bakar padat yang digunakan pada sebagian besar reaktor. Bahan fisil, bahan fertil, dan produk fisemuanya terlarut dalam garam fluoride cair dengan temperatur tinggi dan titik didih yang sangat tinggi (~1400 °C). MSRsdidesain beroperasi pada temperatur tinggi (700-750°C) dan tekanan yang mendekati tekanan atmosfer serta dapat menggunakan bahan bakar berbasis uranium maupun thorium dan dengan spektrum termal (*thermal spectrum*) maupun spektrum cepat (*fast Spectrum*). Selama pengoperasian MSR, garam bahan bakar yang mengandung bahan fisil dan produk fisi mengalir melalui teras reaktor, keluar melewati pipa dan dengan pompa menuju penukar panas (HE) dimana panas dipindahkan ke untai sekunder selanjutnya dikembalikan lagi ke teras reactor. Pada waktu bersamaan, secara *online* sebagian garam bahan bakar diekstrak untuk reprosesing dalam rangka menaikkan ekonomi neutron. [11,12] Oleh karena itu, garam bahan bakar secara *online* dilewatkan dalam fasilitas reprosesing untuk memindahkan produk fisi yang terlarut dalam garam bahan bakar dan selanjutnya dikembalikan kedalam teras reaktor.



Gambar 2. Skema Molten Salt Reactor[13]

Pada umumnya, terdapat beberapa jenis MSR yang berbeda, tetapi yang paling sering dibahas dan dilakukan penelitian adalah *Liquid Fluoride Thorium Reactor* (LFTR). *Molten Salt Reactor* (MSR) menggunakan bahan bakar terlarut dalam pendingin reaktor yang berupa garam fluorida (campuran LiF/BeF atau NaF/ZrF). Campuran garam tersebut mempunyai titik didih sangat tinggi (>2000 °C), juga mempunyai titik leleh tinggi (400-500 °C), hal ini jelas menunjukkan keuntungan karena perpindahan panas hasil proses fisi ke pendingin yang sangat baik dan mekanisme umpan balik keselamatan melekat, karena ekspansi pendingin secara otomatis mengurangi persediaan bahan bakar. Selanjutnya, produk fisi dengan mudah dipindahkan dari garam dan bahan bakar dapat diinjeksikan ke dalam sistem primer selama reaktor beroperasi. Garam fluorida memiliki sifat perpindahan panas yang sangat baik.[14]

Sistem Keselamatan Reaktor MSR adalah sebagai berikut:

- Reaktivitas yang sangat rendah (*Very low excess reactivity*). Karena bahan bakar dapat diganti secara kontinyu, sehingga tidak diperlukan bahan fisil tambahan untuk memungkinkan reaktor beroperasi untuk jangka waktu panjang.
- Koefisien reaktivitas temperatur negatif. Pada umumnya, jika bahan bakar memanas, bahan bakar akan mengembang dan menjadi kurang reaktif.
- Tekanan rendah-Low pressure — Karena bahan bakar dan pendingin berada pada tekanan atmosfer, sehingga kebocoran *tube* tidak secara otomatis akan mengeluarkan bahan bakar dan pendingin. Sistem ini merupakan keuntungan keselamatan utama yang memungkinkan pemindahan panas peluruhan secara pasif (mencegah terjadinya kegagalan seperti yang terjadi di Fukushima). Pada umumnya, garam memiliki kapasitas panas yang tinggi, sehingga dapat menyerap banyak panas di sekitarnya.
- Tidak ada reaktivitas kimia dengan udara — Pada umumnya, garam bahan bakar kurang reaktif dengan lingkungan. Sehingga apabila LWR memiliki kemungkinan risiko kecelakaan ledakan hidrogen dan SFRs memiliki risiko kecelakaan kebakaran sodium, reaktor MSR tidak memiliki risiko-risiko tersebut.

Mekanisme kerusakan tangki - *Drain tank failure mechanism* — Jika terjadi kesalahan dalam pengoperasian MSR dan temperatur beranjak naik, maka sebuah *freeze plug* dapat meleleh dan mengalir ke seluruh teras menuju tangki subkritis, hal itu terkait erat dengan pembuangan panas akhir dan menjaga teras tetap dingin. Ini merupakan fitur mitigasi kecelakaan yang menarik dan hanya mungkin dilakukan dalam reaktor berbahan bakar cair. [15]

Karakteristik Keselamatan MSR

Aspek paling penting dari pengoperasian reaktor nuklir adalah keselamatan. Karena itu, keselamatan harus mendapatkan perhatian yang pertama dan utama. Kinerja keselamatan MSR yang utama adalah sebagai berikut:

1. Sistem primer dan sekunder reaktor MSR bekerja dengan tekanan lebih rendah dari 5 bar, sehingga tidak memiliki risiko kecelakaan terkait dengan tekanan tinggi, seperti: rusaknya sistem atau kebocoran garam.
2. Koefisien temperatur negatif dari reaktor MSR menandakan bahwa pengaturan temperatur reaktor bersifat pasif dan tidak memerlukan adanya batang kendali atau sistem pendingin aktif. Ketika garam cair mengembang akibat panas yang dihasilkan proses fisi, maka akan memperlambat laju fisi. Penurunan panas dari hasil fisi akan mendinginkan garam, yang menyebabkan
3. Peningkatan laju fisi. Dengan kata lain, saat suhu reaktor naik, maka reaktivitas menurun. Reaktor tersebut secara otomatis mengurangi aktivitasnya jika terlalu panas. Sebaliknya, jika lebih banyak daya yang dibutuhkan dari reaktor, maka harus lebih banyak panas yang dikeluarkan. MSR hanya bisa menjadi terlalu panas jika sirkulasi garam cair terganggu akibat kehilangan daya, sehingga mencegah pelepasan panas dari teras. Jika hal itu terjadi, kelebihan panas akan mencairkan garam yang padat di bagian bawah reaktor, dan membiarkan garam cair mengalir ke dalam tangki terpisah. Begitu berada di dalam tangki, reaksi fisi berhenti dan bahan bakar cair mendingin dan menjadi massa padat yang inert. Ini adalah proses yang sepenuhnya pasif yang tidak memerlukan sumber daya eksternal. [16]

MSR memiliki beberapa keuntungan potensial yang melebihi reaktor tipe LWR (*Light Water Reactor*), yaitu:[17,18]

- Desain keselamatan melekat yaitu keselamatan dengan komponen pasif dan koefisien temperatur yang sangat negatif dari reaktivitas beberapa desain. Dalam beberapa desain, pendingin dan bahan bakar berupa fluida yang sama, sehingga kehilangan pendingin sama dengan memindahkan bahan bakar.
- MSR bertekanan rendah dan tidak memiliki uap radioaktif bertekanan tinggi seperti LWR, sehingga tidak akan mengalami kebocoran uap radioaktif dan air pendingin, serta tidak diperlukan pengungkung, bejana teras baja, perpipaian, dan peralatan keselamatan yang mahal untuk mengungkung uap radioaktif.
- Penggunaan MSRs membuat daur bahan bakar tertutup lebih murah dan praktis. Jika diimplementasikan, daur bahan bakar tertutup akan mengurangi dampak lingkungan: pemisahan kimia membuat aktinida umur panjang kembali ke bahan bakar reaktor. Limbah yang dibuang sebagian besar adalah produk fisi dengan umur paruh pendek (debu nuklir). Hal ini akan mengurangi waktu pengungkungan geologi yang diperlukan menjadi 300 tahun dibanding puluhan ribu tahun yang diperlukan untuk waktu pengungkungan bahan bakar bekas reaktor LWR (*light-water reactor*). Kondisi ini dapat memungkinkan masyarakat menggunakan bahan bakar nuklir yang lebih berlimpah.
- Fase cair dari bahan bakar dapat memungkinkan dilakukannya *pyroprocessing* untuk memisahkan produk fisi (debu nuklir) dari bahan bakar aktinida. Hal ini merupakan keuntungan lebih dibanding reprosesing konvensional, meskipun masih diperlukan pengembangan yang lebih jauh.
- Tidak diperlukan proses fabrikasi bahan bakar.
- Dalam desain reaktor berbahan bakar padat yang baru, hal yang paling lama dilakukan adalah pengujian keselamatan desain elemen bakar. Pengujian bahan bakar biasanya harus meliputi beberapa daur penggantian bahan bakar setiap 3 tahun. Namun demikian, bahan bakar garam cair sudah divalidasi.
- Beberapa desain dapat membakar unsur-unsur transuranium yang bermasalah dari reaktor nuklir berbahan bakar padat tradisional.
- MSR dapat bereaksi terhadap perubahan beban dalam waktu kurang dari 60detik (tidak seperti pembangkit tenaga nuklir berbahan bakar padat tradisional yang menderita keracunan xenon).
- MSR dapat beroperasi pada temperatur tinggi, yang menghasilkan efisiensi produksi tinggi dimana akan mengurangi ukuran, biaya, dan dampak lingkungan PLTN.
- Ekonomi neutron yang baik membuat MSR menarik untuk digunakan dalam daur bahan bakar thorium.

Keuntungan dan Kerugian MSR menggunakan bahan bakar cair

Potensi penggunaan reaktor berbahan bakar fluida sudah dikenal sejak lama. Sistem garam cair memiliki manfaat lebih dari sistem elemen bakar padat, diantaranya.:

1. Koefisien ekspansi panasnya tinggi yang menyebabkan reaktivitas dengan koefisien temperatur sangat negative. Karena bahan bakarnya cair, sehingga memuai bila dipanaskan, sehingga laju reaksi nuklir menurun dan membuat reaktor mengatur sendiri.
2. Kemungkinan pemindahan produk fisi secara terus menerus menggunakan proses pirokimia dan fisika (*helium sparging*). Garam bahan bakar dapat diproses secara *online* atau *batch* untuk memindahkan produk fisi dan aktinida. Selanjutnya, aktinida dimasukkan kembali dalam rangkaian bahan bakar.
3. Pemanfaatan sumberdaya yang lebih baik dengan mencapai derajat bakar yang lebih tinggi dibanding reaktor uranium konvensional menggunakan bahan bakar padat. Elemen transuranium pada prinsipnya tetap berada dalam teras berbahan bakar fluida, dirusak dalam fluks neutron baik dengan fisi langsung atau transmudasi menjadi elemen fisi sampai semua mengalami fisi.
4. Menghindari biaya transportasi maupun fabrikasi bahan bakar baru.
Reaktor MSR memiliki beberapa karakter unik dimana reaktor MSR berpotensi lebih

aman, lebih efisien dan bentuk berkelanjutan dari daya nuklir terkait dengan pemrosesan bahan bakar on-line. MSR tidak beroperasi dibawah tekanan tinggihan tidak didinginkan dengan air, sehingga ledakan uap tidak mungkin terjadi.

Kerugian:

- Kegiatan pengembangan yang dilakukan masih sedikit dibanding sebagian besar desain generasi IV.
- Dibutuhkan pabrik kimia di lokasi untuk mengelola campuran teras dan memindahkan produk fisi.
- Dibutuhkan perubahan peraturan untuk kesesuaian dengan fitur desain yang berbeda secara radikal.
- Desain MSR mengandalkan pada paduan basis nikel untuk menahan garam cair. Paduan basis nikel dan besi rentan terhadap kerapuhan dibawah fluks neutron tinggi.
- Risiko korosi.
- Sebagai sebuah reaktor pembiak, MSR yang telah dimodifikasi mampu memproduksi bahan nuklir grade senjata.
- MSRE dan reaktor nuklir aircraft telah menggunakan uranium tingkat pengayaan demikian tinggi, sehingga mendekati level senjata nuklir. Level ini akan menjadi tidak legal pada peraturan paling modern untuk pembangkit tenaga nuklir.

Tantangan dalam Reaktor *Molten salt Reactor* dengan Daur Thorium (TMSR)[19,20]

Pemrosesan produk fisi merupakan masalah utama terkait penggunaan bahan bakar thorium.

1. Unsur-unsur radioaktif dan beracun dan harus ditangani dengan cara yang benar. Campuran garam cair bersifat racun, korosif dan radioaktif sehingga membutuhkan material yang mampu bertahan terhadap efek tersebut selama periode yang lama.
2. Belum ada negara yang memiliki badan/ lembaga yang bertugas menyetujui desain MSR menggunakan bahan bakar thorium (TMSR). Lembaga yang menyetujui desain belum memiliki cukup ilmu pengetahuan terkait MSR dikarenakan untuk menerima atau menyetujui desain belum tersedia banyak penelitian. :
 - Pada awalnya kemungkinan negara-negara besar yang berbeda akan memiliki persyaratan persetujuan yang sangat berbeda dan akan memakan waktu lama sebelum peraturan semacam itu mendapat standar di seluruh dunia,
 - **Reprosesing secara online* Olah ulang garam secara online** dalam beberapa bentuk diperlukan untuk mendapatkan reaktor TMSR yang paling efisien. Namun, hal ini belum jelas apa yang dapat disetujui dan seberapa efisien variasi desain yang berbeda. Diperlukan penelitian yang lebih banyak terkait hal ini.
 - **Kekuatan Politik.** *Thorium Molten Salt Reactors* merupakan reaktor nuklir generasi baru. Saat ini, penelitian energi nuklir di Denmark dibatasi. Kekuatan politik diperlukan untuk mendukung penelitian dan pengembangan terkait MSR.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada umumnya, daur bahan bakar thorium memiliki beberapa kelebihan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel1, selain kelimpahannya 3-4 kali lebih tinggi dibanding uranium, sifat fisika/ kimia, neutronik thorium lebih unggul dibanding uranium dan plutonium serta penggunaannya sebagai bahan bakar nuklir dapat mengurangi radioaktivitas, dan waktu penyimpanan limbah nuklir yang dibutuhkan. Bahan bakar basis thorium menawarkan margineselamatan operasional dan toleransi kecelakaan yang lebih tinggi karena berbagai sifat yang menguntungkan, seperti: titik leleh yang sangat tinggi (3300°C), tidak mudah teroksidasi, konduktivitas termal tinggi dan kemampuan tinggi untuk mempertahankan produk fisi dalam kisi kristal. Uranium-233 sebagai hasil biak dari Th-232 juga memiliki beberapa kelebihan yang lain, seperti nilai η (eta) yang tinggi yaitu jumlah rata-rata neutron fisi yang diproduksi per neutron yang diserap dalam bahan bakar pada spektrum termal (η). Isotop U-233 memiliki nilai η yaitu 2.29 dibanding nilai η untuk isotop U-235 (2,05) dan Pu-239 (1,80). Nilai η merupakan jumlah penting dalam menentukan potensi pembiak dari bahan fertil menjadi fisiil. Namun demikian, diantara beberapa keunggulan yang dimiliki, penggunaan thorium sebagai bahan bakar reaktor nuklir memiliki kelemahan dan tantangan. Tantangan utama adalah terbentuknya Pa-233 sebagai produk antara dari

isotop Th-232 menjadi U-233. Isotop Pa-233 dengan waktu paruh yang relatif panjang yaitu 27 hari berdampak dapat menghasilkan lonjakan reaktivitas beberapa lama setelah pemadaman reaktor karena tertundanya pembentukan U-233[5]. Dua isotop protactinium yang utama, ^{231}Pa dan ^{233}Pa , dihasilkan selama penggunaan thorium dalam reaktor nuklir, keduanya merupakan isotop yang tidak diinginkan dan biasanya dipindahkan dari bahan bakar karena akan menambah kompleksitas pada desain dan operasi reaktor. Salah satu tantangan dalam konversi ^{232}Th - ^{233}U adalah terbentuknya dua isotop protactinium utama, ^{233}Pa dan ^{231}Pa . Isotop ^{233}Pa mempunyai waktu paruh 27 hari dan mempunyai tampang lintang serap neutron besar yaitu (201.7 b), yaitu sekitar satu atau dua tingkat lebih besar dibanding ^{232}Th (7.4 b) dan ^{238}U (2.7 b). Setelah menyerap 2 neutron termal, ^{233}Pa ditransmutasi menjadi isotop fisiil U-233. Oleh karena itu, dengan melihat pada sistem, teknologi dan kinerja keselamatan reaktor MSR, maka reaktor tersebut dipandang cocok untuk penggunaan daur bahan bakar thorium.[21] Konsep MSR menerapkan manajemen bahan bakar yang sangat inovatif dengan penggunaan bahan bakar (berbasis thorium atau uranium) dalam bentuk cair, yang pada prinsipnya memungkinkan pemrosesan ulang secara "online" terus menerus dari bahan bakar untuk mengekstrak produk fisi dan ^{233}Pa yang merupakan produk fisi yang bersifat penyerap neutron. Karakteristik paling menonjol dari thorium MSR adalah penggunaan bahan bakar cair. Thorium dan nuklida turunannya termasuk thallium-208 terkandung di dalam bahan bakar cair. Tekanan dalam MSR sekitar 0,5 MPa karena tekanan uap garam yang kecil. Karena itu, tidak perlu menggunakan bejana bertekanan seperti yang digunakan dalam reaktor air bertekanan biasa (PWR) yang memiliki tekanan operasi tinggi sekitar 16 MPa dan sebesar 7 MPa untuk reaktor BWR. MSR beroperasi pada suhu 700-750°C), jauh lebih tinggi dibanding reaktor air ringan (LWR) dan pada tekanan atmosfer.

Tabel 1. Beberapa analisis karakteristik bahan bakar thorium

Aspek	Analisis Bahan bakar basis Thorium
Kelimpahan	Kelimpahan 3-4 kali lebih tinggi dari Uranium, karena itu dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif sehingga dapat menjamin keberlanjutan jangka panjang dalam era permintaan energi bersih yang meningkat.
Tampang lintang serap neutron termal	Tampang lintang serap neutron termal thorium (Th) adalah sekitar 3 kali lebih tinggi yaitu 7.4 barn dibanding uranium-238. Selain itu, Th memiliki rasio konversi lebih tinggi (konversi menjadi ^{233}U) dibanding dengan ^{238}U (konversi menjadi ^{239}Pu), karena itu Th memiliki potensi digunakan sebagai bahan bakar fertil. Hal ini juga berarti bahwa lebih banyak jumlah neutron yang digunakan untuk mengkonversi ^{232}Th . 2.7 barn
Nilai η (eta): jumlah neutron yang dihasilkan/ proses fisi dalam spektrum neutron termal	^{233}U memiliki nilai η lebih tinggi yaitu 2.29 dibanding ^{235}U dan ^{239}Pu . Isotop ^{233}U memiliki nilai η lebih tinggi dibanding ^{235}U (2,05) dan ^{239}Pu (1.80) sedangkan nilai η (U-235) adalah 2.05
Titik leleh	Titik leleh tinggi (3300°C), sehingga dapat digunakan untuk reaktor dengan temperatur operasi tinggi. Namun demikian, tingginya titik leleh akan menaikkan temperatur blister dalam fabrikasi bahan bakar. Titik leleh uranium adalah 2800°C
Konduktivitas panas	5 W/m-K, lebih tinggi dibanding bahan bakar basis U (3 W/mK), sehingga stabilitas termal lebih tinggi
Ketahanan proliferasi	BB Thorium-HEU menunjukkan karakteristik ketahanan proliferasi yang sangat tinggi, sebab tidak memproduksi Pu dan memproduksi isotop U-233 yang bersifat pengemisi gamma kuat yang dapat mempersulit pembuatan senjata nuklir, sehingga

Aspek	Analisis Bahan bakar basis Thorium
Proses olah ulang	Bhn Bakar basis Th menunjukkan ketahanan proliferasi tinggi.
Radiotoksitas bahan bakar bekas	Salah satu produk antara pada konversi ^{232}Th - ^{233}U adalah ^{232}U yang merupakan isotop pengemisi gamma kuat (2-2,26 Mev). Adanya isotop ini menyebabkan dibutuhkannya teknik penanganan fabrikasi bahan bakar jarak jauh agar terlindung dari lingkungan radiasi gamma energi tinggi. Hal ini membuat proses lebih rumit dan mahal. Radiotoksitas rata-rata bahan bakar bekas dari daur bahan bakar thorium-HEU lebih rendah dibanding radiotoksitas daur bahan bakar U/Pu standar dengan bahan bakar UO_2 diperkaya 3.25% . Namun, radiotoksitas daur thorium meningkat setelah 1000 tahun dan melampaui radiotoksitas daur uranium setelah 11,000 tahun.[1]

Bentuk fase cair dari bahan bakar reaktor MSR dapat membantu dalam penanganan bahan bakar thorium terhadap proteksi sinar gamma. Sehingga, akan memungkinkan dilakukannya pemrosesan ulang bahan bakar secara "online" dan secara terus menerus dengan tujuan untuk mengekstrak produk fisi termasuk Pa-233 yang diketahui bersifat penyerap neutron. Oleh karena itu, masalah utama terkait neutronik dalam penggunaan bahan bakar thorium sehubungan terbentuknya Pa-233 dapat diatasi menggunakan reaktor MSR. Reaktor MSR berbahan cair sehingga tidak memerlukan proses fabrikasi maupun perakitan. Reaktor MSR juga tidak memerlukan zirconium sebagai kelongsong dan tidak memerlukan air sehingga tidak membentuk hidrogen yang mudah terbakar dan pada kondisi abnormal tidak akan terjadi ledakan yang diakibatkan adanya reaksi antara zirconium dan air seperti yang terjadi pada kecelakaan Fukushima. Karena itu, keselamatan penggunaan thorium dapat ditingkatkan dengan digunakannya reaktor MSR. Bahan bakar fase cair juga menguntungkan dari sisi keselamatan dimana tidak mungkin terjadi kecelakaan akibat pelepasan teras/ bahan bakar karena bahan bakar sudah dalam bentuk cair.

Dalam daur bahan bakar ^{238}U - ^{239}Pu , pembiakan dapat diperoleh dengan spektrum neutron cepat, sedangkan untuk daur bahan bakar Th- ^{233}U , pembiakan dapat dilakukan dengan spektrum neutron yang sedikit dimoderasi. Dalam spektrum neutron termal, racun akibat produk fisi lebih buruk dibanding bila pembiakan dilakukan dalam spektrum neutron cepat. [22,23] Namun demikian, reaktor MSR memiliki kelemahan, dimana campuran garam cair MSR bersifat radioaktif, korosif dan beracun sehingga membutuhkan material yang mampu bertahan terhadap efek tersebut untuk jangka waktu lama.[24] Pengujian dan pengembangan model fisik yang lebih baik diperlukan untuk prediksi kelakuan material. Adanya sinar gamma energi tinggi juga menyebabkan agak sulit untuk menerapkan thorium sebagai bahan bakar karena proteksi radiasi tambahan diperlukan untuk menangani bahan bakar nuklir bekas thorium. Satu masalah terkait dengan olah ulang bahan bakar bekas thorium adalah adanya U-232 yang sangat radioaktif, mempunyai umur paruh sekitar 70 tahun dan sangat berbahaya. Meskipun dalam jumlah kecil. Adanya U-232 menyebabkan fabrikasi bahan bakar campuran thorium-uranium 233 menjadi lebih sulit. Tapi sebaliknya, alasan ini menjadi penyebab mengapa daur thorium lebih menguntungkan dari sudut pandang risiko proliferasi.[25]

KESIMPULAN

Molten Salt Reactor (MSR) merupakan reaktor yang sesuai untuk menggunakan daur bahan bakar thorium. Reaktor SMR menggunakan bahan bakar fluida cair dalam bentuk garam fluorida dan khlorida dengan titik didih yang sangat tinggi (~1400 °C) dan didesain beroperasi pada temperatur tinggi (700-750°C) serta tekanan yang mendekati tekanan atmosfer. Reaktor MSR dapat beroperasi dalam spektrum termal maupun spektrum

cepat. Konsep MSR menerapkan manajemen bahan bakar yang sangat inovatif dengan penggunaan bahan bakar (berbasis thorium atau uranium) dalam bentuk cair. Masalah utama dari aspek neutronik terkait penggunaan daur bahan bakar thorium adalah terbentuknya Pa-233 yang bersifat penyerap neutron. Masalah ini dapat diatasi menggunakan reaktor MSR karena bentuk cair bahan bakar memungkinkan pemrosesan ulang secara "online" dan terus menerus untuk mengekstrak produk fisi dan ²³³Pa yang merupakan produk fisi yang bersifat penyerap neutron. Pada prinsipnya, konsep bahan bakar cair memungkinkan, densitas daya lebih besar dan sediaan bahan fisil awal yang lebih kecil dibanding konsep bahan bakar padat. Jika diimplementasikan, daur bahan bakar thorium siklus tertutup akan mengurangi dampak lingkungan: pemisahan kimia menyebabkan aktinida-aktinida dengan waktu paruh panjang kembali ke bahan bakar reaktor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Kepala Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir (PKSEN), Bapak Ir. Yarianto Sugeng Budi Susilo, M.Si atas dukungan dan motivasi yang diberikan sehingga tersusunnya makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. NEA, "Uranium 2014: Resources, Production and Demand, A Joint Report by the OECD Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, OECD 2014
2. Indonesia Nuclear Energy Outlook, PKSEN-BATAN, 2016
3. HOAI-NAM TRAN, PENG HONG LIEM, "Neutronic feasibility study of UeThePa based high burnup fuel for pebble bed reactors", *Progress in Nuclear Energy* 80 (2015) 17-23
4. ERLAN DEWITA, MENIEK RACHMAWATI, Analisis Kinerja Bahan Bakar Berbasis Thorium Dalam Reaktor Tipe Htgr (Pebble Type), *Prosiding SENTEN*, Bali, 2015
5. Badawy M. Elsheikh, "Safety assessment of molten salt reactors in comparison with light water reactors", *Journal of radiation research and applied science* 6 (2013) 63 -70
6. https://en.wikipedia.org/wiki/Thorium_fuel_cycle, Thorium fuel cycle, diakses tanggal 16 Maret 2017
7. TAKASHI KAMEI, SAEED HAKAMI, "Evaluation of implementation of thorium fuel cycle with LWR and MSR", *Progress in Nuclear Energy* 53 (2011) 820 – 824
8. H. GYORGY, SZ.CZIFRUS, "Investigation on the potential use of thorium as fuel for the sodium-cooled Fast Reactor", *Annals of Nuclear Energy* 103 (2017) 238-250
9. The molten salt reactor (MSR) in generation IV: Overview and perspectives, *Progress in Nuclear Energy* 77 (2014) 308-319
10. JIANHUI WU, CHEN GUO, XIANGZHOU CAI, CHENGGANG YU, CHUNYAN ZOU, JIANLONG HAN, JINGEN CHEN, "Flow effect on ¹³⁵I and ¹³⁵Xe evolution behavior in a molten salt reactor", *Nuclear Engineering and Design* 314 (2017) 318 – 325
11. TATSUYA SUZUKI, MAIKO TANAKA, SHIN-ICHI KOYAMA, "Recovery of Minor Actinides from Spent Molten Salt Waste and Decontamination of Molten Salt Waste", *Progress In Nuclear Energy* 53 (2011) 969-973
12. A. Abdelghafar Galahom, "Minimization of the fission product waste by using thorium based fuel instead of uranium dioxide", *Nuclear Engineering and Design* 314 (2017) 165–172
13. S. BANERJEE, H. P. GUPTA AND S. A. BHARDWAJ, "Nuclear power from thorium: different options", *CURRENT SCIENCE*, VOL. 111, NO. 10, 25 NOVEMBER 2016
14. <http://www.janleenkloosterman.nl/reactors.php>, diakses tanggal 20 Maret 2017
15. <https://whatisnuclear.com/reactors/msr.html>
16. Thorium-fuelled Molten Salt, Reactor, Report for the All Party Parliamentary Group on Thorium Energy, The Weinberg Foundation June 2013
17. JEROME SERP ET ALL., The Molten Salt Reactor (MSR) in Generation IV): Overview and Perspectives, *Progress in Nuclear Energy* 77 (2014) 308-319
18. MARVIN BAKERSCHAFFER, "Abundant thorium as an alternative nuclear fuel Important waste disposal and weapon proliferation advantages", *Energy Policy* 60 (2013) 4–12
19. BADAWY M. ELSHEIKH, "Safety assessment of molten salt reactors in comparison with light water reactors", *Journal of Radiation Research and Applied Science* 6 (2013) 63-70
20. K.L. MURTY, I. CHARIT, "Structural materials for Gen-IV nuclear reactors: Challenges

- and opportunities”, Journal of Nuclear Materials 383 (2008) 189–195
21. L. MATHIEU, D. HEUER, et al., The thorium molten salt reactor: Moving on from the MSBR, Progress in Nuclear energy, volume 48, issue 7, Spetember 2006, page 664-679)
 22. X.X. LI X.Z. CAI, D.Z. JIANG, Y.W. MA, J.F. HUANG, C.Y. ZOU C.G. YU, J.L. HAN J.G. CHEN,” Analysis of thorium and uranium based nuclear fuel options in Fluoride salt-cooled High-temperature Reactor”, Progress in Nuclear Energy 78 (2015) 285-290
 23. V. JAGANNATHAN, ARVIND MATHUR, SUHAIL AHMAD KHAN,” Thorium utilization in existing and advanced reactor types, international journal oh hydrogen energy 4 1 (2 0 1 6) 7094 – 7102.
 24. Luke C. Olson *, James W. Ambrosek, Kumar Sridharan, Mark H. Anderson, Todd R. Allen, ”Thorium utilization in existing and advanced reactor types,” international journalof hydrogen energy 4 1 (2 0 1 6) 709 4 – 7102
 25. M. Yousif Alhaj, Nader M.A. Mohamed, Alya Badawi, Hanaa H. Abou-Gabal,”Towards proliferation-resistant thorium fuels”, Annals of Nuclear Energy 101 (2017) 586–590

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: Anzhar Kurnia (PKSEN–BATAN)

- Apakah kelebihan reaktor MSR (Molten Salt Reactor) bila menggunakan Daur bahan bakar thorium?

JAWABAN: Erlan Dewita (PKSEN - BATAN)

- Reaktor MSR dikarakterisasi dengan penggunaan bahan bakar/ pendingin garam cair, sehingga memungkinkan pemrosesan ulang bahan bakar secara "online" dan terus menerus untuk mengekstrak produk fisi dan protactinium (^{233}Pa) yang merupakan produk antara pada konversi yang bersifat penyerap neutron dan berpengaruh pada keekonomian neutron. Oleh karena itu, tantangan utama terhadap penggunaan bahan bakar thorium dapat diatasi dengan penggunaan reaktor MSR.
- Bentuk fase cair dari bahan bakar reaktor MSR dapat membantu dalam penanganan bahan bakar thorium terhadap proteksi sinar gamma yang dihasilkan dari ^{232}U sebagai produk konversi ^{232}Th menjadi ^{233}U .

2. PERTANYAAN: Nuryanti (PKSEN–BATAN)

- Apakah kekurangan/ kelemahan bahan bakar thorium?

JAWABAN: Erlan Dewita (PKSEN - BATAN)

- Adanya isotop ^{232}U sebagai produk konversi ^{232}Th menjadi ^{233}U bersifat pengemisi gamma energi tinggi, mempunyai umur paruh ~ 70 tahun dan sangat berbahaya yang menyebabkan kesulitan dalam menerapkan thorium sebagai bahan bakar karena proteksi radiasi tambahan diperlukan untuk menangani bahan bakar thorium bekas. Adanya U-232 juga menyebabkan fabrikasi bahan bakar campuran thorium-uranium 233 menjadi lebih sulit. Tapi sebaliknya, alasan ini menjadi penyebab mengapa daur thorium lebih menguntungkan dari sudut pandang risiko proliferasi.

3. PERTANYAAN: Dharu Dewi (PKSEN–BATAN)

- Apakah keuntungan penggunaan Daur Bahan Bakar Thorium?

JAWABAN: Erlan Dewita (PKSEN - BATAN)

- Keuntungan potensial penggunaan daur bahan bakar thorium adalah kelimpahannya di alam 3 sampai 4 kali lebih tinggi dibanding dengan uranium, sifat fisik maupun nuklir yang lebih baik dibanding uranium dimana thorium memiliki titik leleh yang lebih

tinggi, konduktivitas panas dan kemampuan menahan gas-gas hasil fisi yang lebih baik, karena itu thorium memberikan margin keselamatan yang lebih tinggi selama reaktor beroperasi. Bahan bakar thorium, juga memiliki ketahanan proliferasi tinggi sehubungan adanya isotop ^{232}U yang diproduksi dan mengemisikan sinar gamma energi tinggi serta selalu mengkontaminasi isotop ^{233}U , memproduksi aktinida minor dan plutonium dalam jumlah yang lebih sedikit sehingga radioaktivitas limbah yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Selain itu thorium dioksida (ThO_2) atau thoria dikenal sebagai bahan yang mempunyai kinerja iradiasi yang lebih baik dibanding dengan UO_2 .

KOREKSI VARIASI HARIAN UNTUK SURVEI GEOMAGNETIK DI DAERAH POTENSI URANIUM DAN THORIUM, MAMUJU SULAWESI BARAT

Dwi Haryanto, Adhika Junara Karunianto
Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir-BATAN,
Jl. Lebak Bulus Raya 9, Pasar Jumat, Jakarta 12440
Email: antox@batan.go.id

ABSTRAK

KOREKSI VARIASI HARIAN UNTUK SURVEI GEOMAGNETIK DI DAERAH POTENSI URANIUM DAN THORIUM, MAMUJU SULAWESI BARAT. Metode geomagnetik merupakan metode geofisika yang dapat dilakukan untuk menentukan susceptibilitas medium di lokasi pengukuran. Koreksi variasi harian digunakan untuk menghilangkan pengaruh medan magnet luar pada nilai medan magnet hasil pengukuran. Pengukuran metode geomagnetik dilakukan menggunakan dua alat ukur untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Alat pertama ditempatkan pada lokasi tertentu (*base*) dan diset untuk melakukan pengukuran secara otomatis dalam periode tertentu. Alat kedua digunakan untuk melakukan pengukuran di titik-titik yang telah ditentukan pada desain survei. Lokasi penelitian dilakukan di daerah Takandeang, Mamuju, Sulawesi Barat. Pengukuran di *base* ini dilakukan untuk memperoleh data variasi harian yang akan dikoreksikan pada data hasil pengukuran di lapangan (*rover*). Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai variasi harian untuk lokasi yang berbeda. Metode penentuan koreksi *base* untuk lokasi *base* yang berbeda dapat diterapkan untuk memecahkan masalah perbedaan lokasi *base* terutama untuk survei dengan lokasi yang luas. Data yang digunakan untuk melakukan koreksi merupakan data yang diperoleh dari *base* 2 dan *base* lain (1 atau 3) pada hari yang sama. Koreksi dari *base* 1 ke *base* 2 diambil dari hasil pengukuran tanggal 16, 28, dan 29 September 2016. Koreksi dari *base* 3 ke *base* 2 diambil dari hasil pengukuran tanggal 10, 28, dan 29 September 2016. Nilai koreksi untuk *base* 1 ke *base* 2 sebesar 72,50 nT. Nilai koreksi untuk *base* 3 ke *base* 2 sebesar 40,25 nT. Nilai ini diperoleh dari perhitungan dengan bantuan kurva linier. Nilai ini merupakan selisih nilai dari *base* 2 dengan *base* 1 dan 3.

Kata kunci: geomagnetik, variasi harian, koreksi, *base*, Mamuju

ABSTRACT

DIURNAL VARIATION CORRECTIONS FOR GEOMAGNETIC SURVEY IN URANIUM AND THORIUM POTENTIAL AREA, MAMUJU WEST SULAWESI. Geomagnetic method is a geophysical method that can be performed to determine the susceptibility of the medium at the measurement location. Diurnal variation correction is used to remove the effect of external magnetic field on the measured magnetic field value. Geomagnetic method measurements performed using two measuring tool to get better results. The first tool is placed in a specific location (*base*) and is set to take measurements automatically in a certain period. The second tool is used to make measurements at the points specified in the survey design. The location of the research was conducted in Takandeang, Mamuju, West Sulawesi. Measurements at the base are done to obtain diurnal variation data that will be corrected to measured field data (*rover*). This study aims to determine the value of the diurnal variation for different locations. The method of determining base correction for different base locations can be applied to solve the problem of base location difference especially for surveys with large area. The data used to correct are the data that obtained from *base* 2 and the other base (1 or 3) on the same day. Correction of *base* 1 to *base* 2 is taken from the measurement results on 16, 28 and 29 September 2016. The correction of *base* 3 to the *base* 2 is taken from the measurement results on 10, 28 and 29 September 2016. The correction value for the *base* 1 to *base* 2 is 72.50 nT. A correction value for *base* 3 to *base* 2 is 40.25 nT. This value is derived from calculations with the help of a linear curve. This value is the difference between the value of the *base* 2 with *base* 1 and 3.

Keywords: geomagnetic, diurnal variation, correction, *base*, Mamuju

PENDAHULUAN

Metode geomagnetik didasarkan pada pengukuran variasi intensitas medan magnet di permukaan bumi yang disebabkan oleh adanya variasi distribusi benda termagnetisasi di bawah permukaan bumi [1]. Survei geomagnetik bertujuan untuk menyelidiki geologi bawah permukaan berdasarkan anomali medan magnet bumi yang dihasilkan dari sifat kemagnetan batuan di bawah permukaan bumi [2]. Anomali medan magnet yang terukur kemudian ditafsirkan dalam bentuk distribusi bahan geomagnetik yang terdapat di bawah permukaan bumi. Penafsiran tersebut digunakan sebagai dasar dalam penentuan kondisi geologi, litologi batuan, dan sebaran bahan geomagnetik yang mengisi suatu medium atau batuan yang berada di bawah permukaan bumi. Kemampuan untuk termagnetisasi tergantung suseptibilitas geomagnetik suatu batuan/medium. Penggunaan metode geomagnetik dapat melokalisasi area sebelum dilakukan survei metode geolistrik dan polarisasi terinduksi.

Pengukuran metode geomagnetik dilakukan menggunakan dua alat ukur untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Alat pertama ditempatkan pada lokasi tertentu (*base*) dan diset untuk melakukan pengukuran secara otomatis dalam periode tertentu, misal setiap 5 detik. Alat kedua digunakan untuk melakukan pengukuran di titik-titik yang telah ditentukan pada desain survei. Alat kedua ini berlaku sebagai *rover*. Pengukuran menggunakan 2 alat ukur ini telah dilakukan di beberapa daerah seperti di Pulau Buru [3] dan Pelaihari Tanah Laut [4]. Interpretasi anomali magnetik hasil dari anomali magnetik total dikurangi koreksi IGRF dan koreksi variasi harian di daerah Pulau Buru menunjukkan terdapat perangkap hidrokarbon berupa perangkap struktur. Hasil penelitian yang dilakukan di Pelaihari menunjukkan terdapat 3 daerah prospek bijih besi dengan total luasan 8.180 m².

Intensitas medan magnet yang terukur di atas permukaan bumi selalu mengalami perubahan terhadap waktu. Peristiwa ini dapat terjadi pada waktu yang relatif singkat ataupun lama. Faktor penyebab perubahan medan magnet bumi terutama disebabkan oleh medan magnetik luar. Medan magnet luar berasal dari interaksi antara partikel-partikel yang dipancarkan oleh matahari yang berinteraksi dengan lapisan atmosfer bumi, sehingga menimbulkan medan magnet. Aktivitas matahari sangat berpengaruh terhadap medan magnet bumi, salah satunya yaitu bintik matahari yang dapat menyebabkan badai matahari yang mempengaruhi medan magnet bumi. Untuk menghilangkan efek medan magnet luar yang terukur oleh alat maka harus dilakukan koreksi harian (*diurnal correction*) [5]. Pengukuran di *base* dilakukan untuk memperoleh data variasi harian yang akan dikoreksikan pada data hasil pengukuran di lapangan (*rover*).

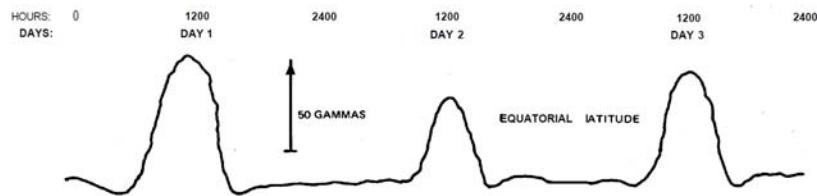
Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai koreksi variasi harian untuk lokasi *base* yang berbeda. Hasil penelitian ini juga dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan koreksi variasi harian dengan daerah yang luas. Titik *base* baru bisa digunakan jika kegiatan akuisisi data geomagnetik dilakukan dengan membagi daerah tersebut ke dalam beberapa bagian. Setiap bagian dengan titik *base* yang berbeda-beda. Koreksi diperlukan untuk dapat menggabungkan data geomagnet yang diperoleh dari beberapa bagian daerah penelitian tersebut. Hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan data dengan lebih efisien.

Metode lain yang dapat digunakan untuk melakukan koreksi variasi harian adalah dengan metode *looping*. Metode ini dilakukan jika alat yang digunakan hanya satu alat saja seperti pada penelitian di daerah Rabau Hulu [1] dan Pematang Bujur [6]. Data variasi harian bergantung pada waktu *looping*. Waktu *looping* yang digunakan sebaiknya mulai dari 10–30 menit dan sangat tidak dianjurkan untuk melakukan pengukuran dengan waktu *looping* di atas 50 menit karena perbedaan persentase yang sangat jauh pada hasil nilai anomali medan magnet total yang diperoleh jika dibandingkan dengan pengukuran menggunakan dua alat [7]. Keunggulan penggunaan koreksi variasi harian dari alat di *base* dibanding dari metode *looping* adalah nilai yang dikoreksikan terhadap data *rover* mendekati nilai sebenarnya. Hal ini sangat berguna untuk eksplorasi detail, karena perbedaan nilai yang relatif kecil akan sangat berpengaruh terhadap pemodelan batuan/mineral yang menjadi target.

METODOLOGI

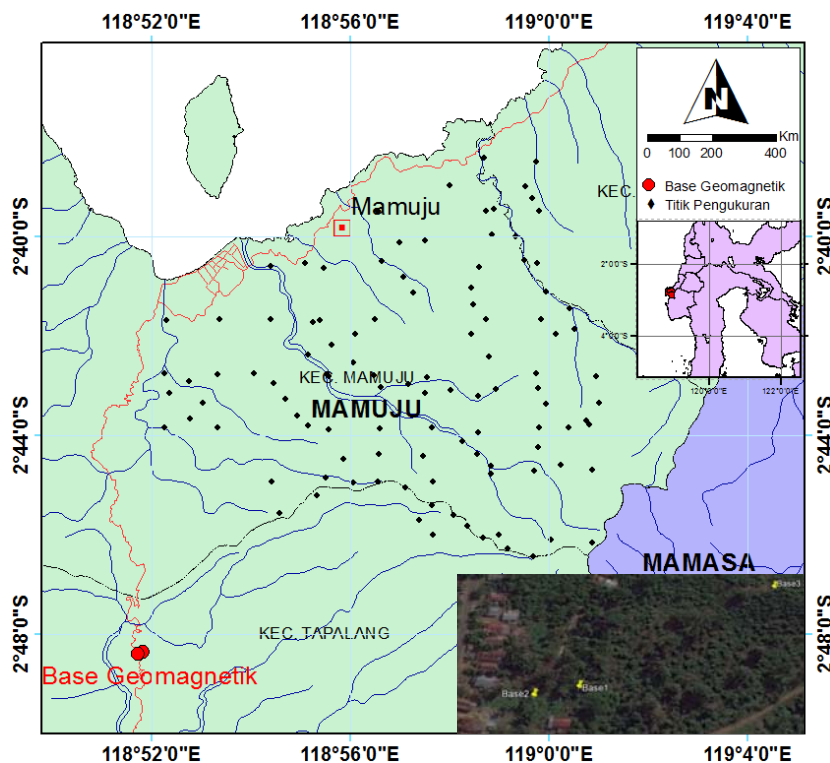
Koreksi variasi harian digunakan untuk menghilangkan pengaruh medan magnet luar pada nilai medan magnet hasil pengukuran. Variasi harian terutama terjadi pada siang hari dengan bentuk seperti terlihat pada Gambar 1. Nilai variasi harian di daerah katulistiwa (seperti di Indonesia) memiliki perbedaan sekitar 50 gamma (1 gamma = 1 nT) [8]. Nilai ini sangat berpengaruh terutama untuk kegiatan eksplorasi yang lebih detail.

Lokasi penelitian dilakukan di daerah Takandeang, Mamuju, Sulawesi Barat. Lokasi *base* berada di 3 titik yang berbeda (Gambar 2). Hal ini dilakukan untuk menghindari adanya gangguan/*noise* sehingga didapatkan data yang lebih baik. Pengambilan data geomagnetik di *base* ini dilakukan untuk mendukung survei geomagnetik regional di daerah potensi uranium dan thorium Mamuju.



Gambar 1. Tipikal variasi harian intensitas medan magnet total [8].

Titik *base* yang berbeda akan memberikan nilai yang berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh keberadaan material yang berbeda sehingga akan mempengaruhi nilai medan magnet total hasil pengukuran. Oleh karena itu nilai koreksi akibat perbedaan lokasi ini perlu diketahui sehingga data hasil pengukuran di 3 titik *base* dapat digunakan untuk mengoreksi variasi harian data hasil pengukuran di lapangan secara keseluruhan.



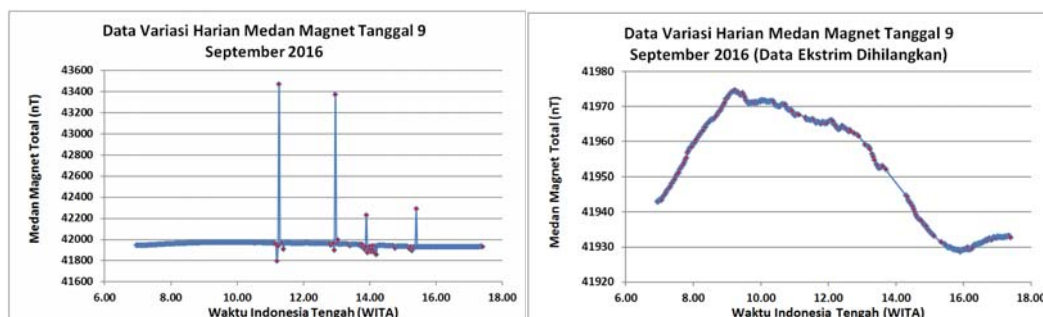
Gambar 2. Lokasi akuisisi data di *base* dan titik-titik pengukuran di lapangan (*rover*) pada survei metode geomagnetik di daerah Mamuju, Sulawesi Barat.

Pengambilan data geomagnetik di *base* dilakukan pada 3 titik yang berbeda. Lokasi pertama berada di kebun cokelat yang berada dekat lereng bukit. Lokasi kedua berada di pematang kolam bekas rawa. Lokasi ketiga berada di puncak bukit batugamping dan berada di perkebunan rakyat. Peralatan yang digunakan adalah *Proton Precession Magnetometer (PPM)* seri G-856 dari Geometrics. Alat ini dapat diset untuk mengukur nilai medan magnet total secara otomatis dengan interval waktu tertentu. Pengambilan data dilakukan dengan interval 5 menit pada 21 hari pengukuran, 2 menit pada 11 hari pengukuran, dan 3 menit pada 2 hari pengukuran. Seleksi data dilakukan terhadap data hasil akuisisi di lapangan untuk menghilangkan data-data yang bernilai ekstrim karena adanya gangguan (*noise*).

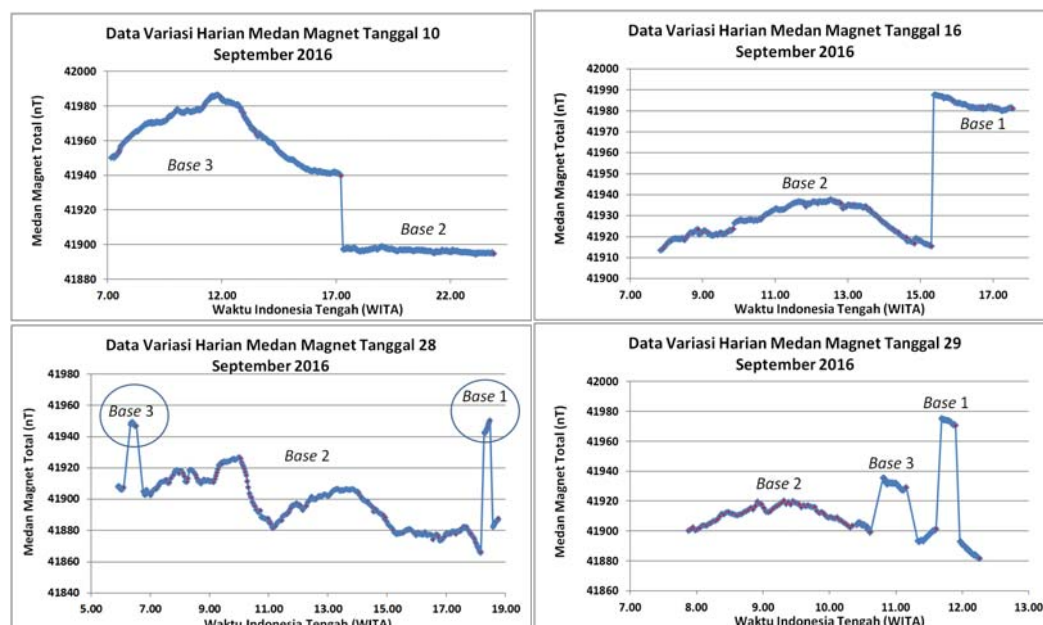
Penentuan nilai koreksi dilakukan pada data hasil pengukuran di *base* yang diambil pada 2 atau 3 titik yang berbeda pada hari yang sama. Sebagai acuan digunakan titik *base* 2 yang merupakan lokasi pengambilan data terbanyak. Alat yang dipasang pada titik *base* 1 setelah melakukan pengukuran dalam waktu tertentu kemudian dipindahkan ke titik *base* 2 atau sebaliknya. Begitu juga untuk *base* 2 ke *base* 3. Data hasil pengukuran kemudian dicek untuk menghilangkan data ekstrim yang biasanya terjadi akibat adanya gangguan (*noise*) yang tinggi. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mencari perbedaan nilai medan magnet antara titik *base* 2 dengan *base* 1 dan *base* 3. Perbedaan nilai ini yang digunakan sebagai koreksi data medan magnet total hasil pengukuran di *base* 1 dan *base* 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil seleksi data terhadap data yang diambil pada tanggal 9 September 2017 ditunjukkan pada Gambar 3. Terdapat perbedaan yang signifikan terhadap data. Data yang telah terpengaruh dengan gangguan ditunjukkan dengan grafik variasi harian yang tidak beraturan (*scatter*). Setelah data ekstrim dihilangkan maka grafik relatif lebih halus seperti ditunjukkan oleh Gambar 3 bagian kanan. Penghilangan data ekstrim dilakukan dengan melihat data hasil unduhan dari alat ukur geomagnetik. Data-data yang terkena gangguan terdapat tanda tanya ("?") pada nomor urut pengambilan data.



Gambar 3. Grafik variasi harian: terdapat data ekstrim (kiri) dan setelah dilakukan seleksi (kanan).



Gambar 4. Variasi harian hasil pengukuran medan magnet total pada tanggal 10, 16, 28, dan 29 September 2016 pada 3 titik *base* yang berbeda.

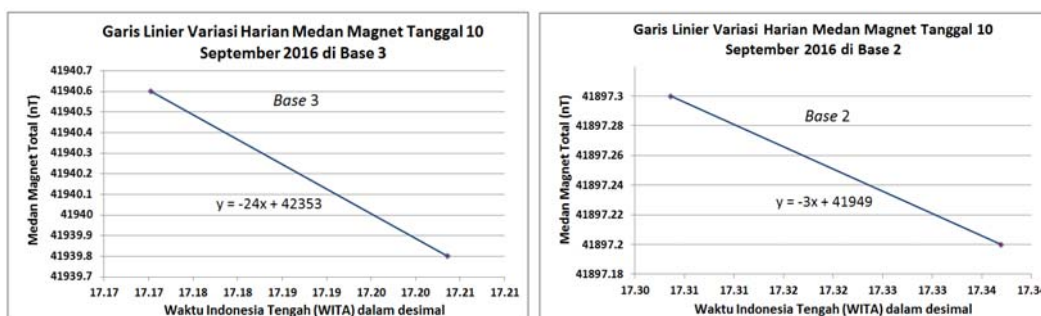
Data yang digunakan untuk melakukan koreksi merupakan data yang diperoleh dari *base 2* dan *base* lain (1 atau 3) pada hari yang sama. Koreksi dari *base 2* ke *base* lain bisa disebut juga sebagai koreksi *base*. Koreksi dari *base 1* ke *base 2* diambil dari hasil pengukuran tanggal 16, 28, dan 29 September 2016. Koreksi dari *base 3* ke *base 2* diambil dari hasil pengukuran tanggal 10, 28, dan 29 September 2016. Grafik yang menunjukkan hasil pengukuran medan magnet total yang digunakan untuk koreksi *base 1* dan *base 3* ke *base 2* ditunjukkan oleh Gambar 4.

Hasil pengambilan data variasi harian medan magnet dari titik *base* yang berbeda menunjukkan perbedaan yang signifikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Data yang diperoleh dari titik *base 1* merupakan nilai tertinggi diikuti titik *base 3*, kemudian titik *base 2*.

Perhitungan koreksi *base* dilakukan dengan membuat garis linier dari dua data yang diperoleh sebelum *base* berpindah tempat dan data awal pada *base* berikutnya. Langkah pertama yang dilakukan adalah mengkonversi waktu dari jam-menit-detik ke jam (dalam desimal) sehingga grafik yang terbentuk sudah sesuai dengan sumbu x dan y dalam desimal. Persamaan yang digunakan jika J adalah jam, M adalah menit, dan D adalah detik yaitu persamaan (1).

$$J(\text{desimal}) = J + \frac{M}{60} + \frac{D}{360} \dots\dots\dots (1)$$

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengeplotan dengan sumbu x adalah waktu (dalam desimal), dan sumbu y adalah nilai hasil pengukuran di *base*. Persamaan garis lurus diperoleh pada perpindahan, baik antara *base 2* dengan *base 1* maupun antara *base 2* dengan *base 3*. Proses penentuan garis lurus untuk tanggal 10 September 2016 dapat dilihat pada Gambar 5. Persamaan garis linier untuk *base 3* adalah $y = -24x + 42353$ sedangkan untuk *base 2* adalah $y = -3x + 41949$. Selanjutnya dicari nilai intensitas medan magnet dengan waktu (x) yang sama untuk dimasukkan ke dalam kedua persamaan garis lurus. Nilai x untuk penentuan variasi harian tanggal 10 September 2016 adalah 0,050 jam. Nilai intensitas medan magnet dengan $x = 0,050$ untuk *base 3* adalah 41938,61 nT dan *base 2* adalah 41897,44 nT. Nilai koreksi diperoleh dengan mengurangkan nilai intensitas hasil perhitungan dari *base 3* dengan nilai *base 2*, sehingga diperoleh $K_{3-2} = 41938,61 \text{ nT} - 41897,44 \text{ nT} = 41,17 \text{ nT}$.



Gambar 5. Persamaan garis lurus untuk menentukan koreksi dari *base 3* ke *base 2* tanggal 10 September 2016.

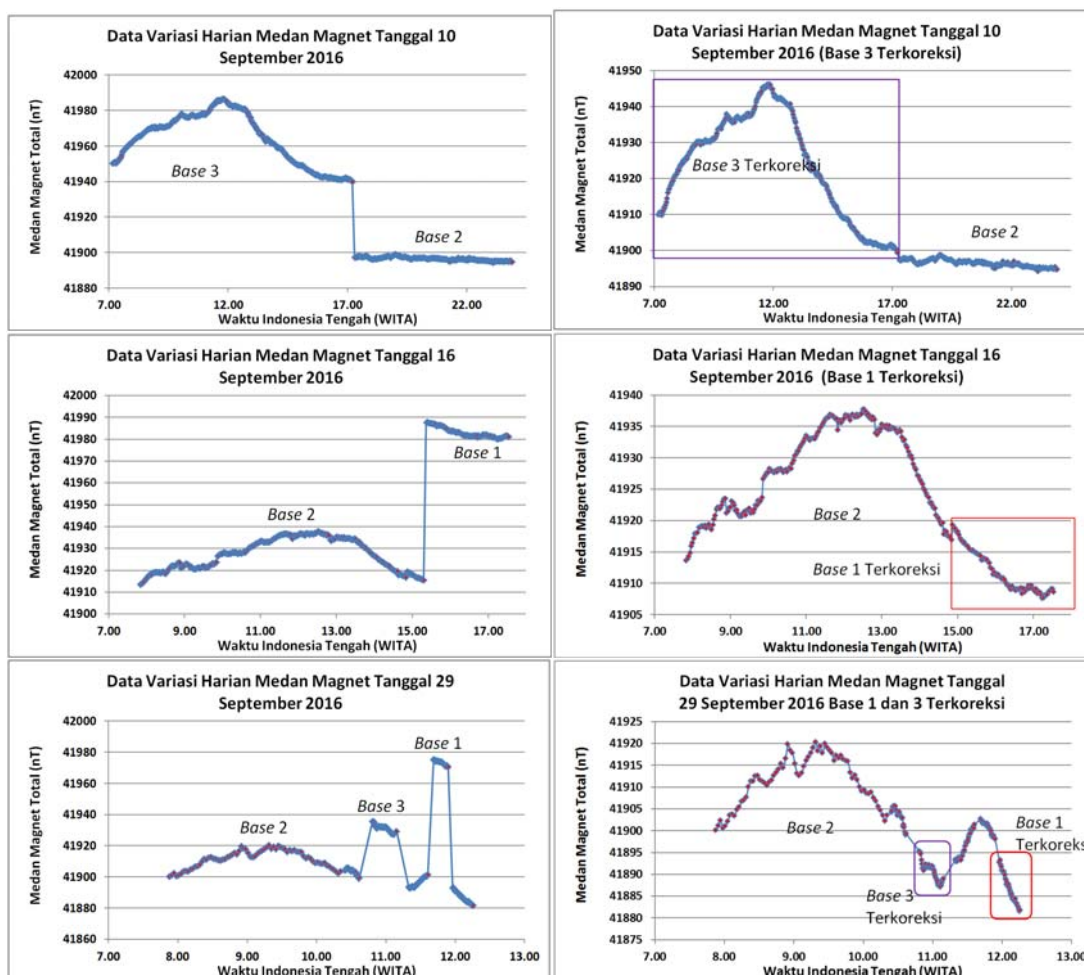
Proses penentuan nilai koreksi *base* dari *base 3* ke *base 2* ini dilakukan juga terhadap data tanggal 28 dan 29 September 2016. Proses ini juga dilakukan untuk menentukan nilai koreksi dari *base 1* ke *base 2*. Hasil perhitungan secara keseluruhan terdapat pada Tabel 1. Kelima nilai koreksi ini kemudian dirata-rata untuk mendapatkan nilai koreksi akhir. Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai koreksi untuk *base 1* ke *base 2* lebih tinggi daripada dari *base 3* ke *base 2*. Perbedaan nilai koreksi ini diakibatkan oleh perbedaan litologi. Nilai yang diperoleh cukup signifikan dan dapat mempengaruhi data lapangan hasil pengukuran yang nantinya akan dikoreksikan dengan *base*.

Nilai koreksi untuk *base 1* ke *base 2* sebesar 72,50 nT. Nilai koreksi untuk *base 3* ke *base 2* sebesar 40,31 nT. Hasil pengukuran yang dilakukan di *base 1* nilai intensitas medan magnetnya dikurangi dengan koreksi *base 1* ke *base 2* yaitu 72,50 nT. Hasil pengukuran yang dilakukan di *base 3* nilai intensitas medan magnetnya dikurangi dengan koreksi *base 3* ke *base 2* yaitu 40,31 nT. Koreksi yang diberikan kepada data variasi harian tidak mengubah

pola grafik variasi hariannya. Perubahan terjadi pada nilai variasi harian yang bernilai lebih rendah karena dilakukan pengurangan terhadap data hasil pengukuran. Hasil pengurangan ini kemudian akan digunakan untuk koreksi variasi harian data lapangan (rover). Metode penentuan koreksi base untuk lokasi base yang berbeda dapat diterapkan untuk memecahkan masalah perbedaan lokasi base yang berbeda terutama untuk survei dengan lokasi yang luas.

Tabel 1. Hasil perhitungan koreksi base dari base 1 ke base 2 dan dari base 3 ke base 2 pada pengukuran intensitas medan magnet total di daerah Takandeang

No.	Base 1 ke Base 2		Base 3 ke Base 2	
	Tanggal	Nilai Koreksi (nT)	Tanggal	Nilai Koreksi (nT)
1	16-09-2016	73,35	10-09-2016	41,17
2	28-09-2016	72,93	28-09-2016	40,03
3	28-09-2016	72,15	28-09-2016	40,44
4	29-09-2016	71,88	29-09-2016	41,52
5	29-09-2016	72,20	29-09-2016	38,42
Rata-rata (Nilai Koreksi Akhir)		72,50	40,31	



Gambar 6. Variasi harian hasil pengukuran medan magnet total pada tanggal 10, 16, dan 29, September 2016 yang telah terkoreksi (kanan).

Variasi harian hasil pengukuran medan magnet total pada tanggal 10, 16, dan 29, September 2016 yang telah terkoreksi ditunjukkan oleh Gambar 6. Grafik variasi harian yang telah terkoreksi menunjukkan nilai variasi harian memiliki perbedaan sekitar 50 nT sesuai dengan referensi [7]. Hal ini sesuai dengan posisi pengukuran yang berada di sekitar ekuator. Perbedaan nilai intensitas medan yang semula cukup signifikan berubah menjadi relatif menerus/kontinu.

KESIMPULAN

Nilai koreksi untuk *base 1* ke *base 2* sebesar 72,50 nT dan *base 3* ke *base 2* sebesar 40,25 nT. Nilai ini diperoleh dari perhitungan dengan bantuan kurva linier yang merupakan selisih nilai dari *base 2* dengan *base 1* dan 3. Nilai intensitas medan magnet hasil pengukuran di *base 1* dan *base 3* kemudian dikurangi dengan nilai koreksi *base* masing-masing untuk memperoleh data variasi harian. Hasil pengukuran ini kemudian akan digunakan untuk koreksi variasi harian data lapangan (*rover*) yang dilakukan bersamaan dengan pengambilan data di *base*. Metode penentuan koreksi *base* untuk lokasi *base* yang berbeda dapat diterapkan untuk memecahkan masalah perbedaan lokasi *base* terutama untuk survei dengan lokasi yang luas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada PTBGN-BATAN yang telah mendukung penelitian ini terutama dana. Juga kepada Tim Geofisika Mamuju 2016 (Bapak I Gde Sukadana, Bapak Sartapa, Bapak Rahmat Iswanto, Bapak Kadir, dan Saudara Khodi) serta para karyawan lokal dan semua pihak yang telah ikut membantu dalam pengambilan data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Haryanto, A. J. Karunianto, and M. B. Garwan, "Interpretasi Anomali Geomagnetik Daerah Rabau Hulu, Kalan," in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016*, 2016, pp. 793–800.
- [2] P. Kearey, M. Brooks, and I. Hill, *An Introduction to Geophysical Exploration*, Third Edit. London: Blackwell Science Ltd, 2002.
- [3] M. Ryan, J. R. Husain, and H. Bakri, "Studi Anomali Magnetik Total untuk Pencarian Daerah Prospek Hidrokarbon Daerah Pulau Buru Provinsi Maluku," *J. Geomine*, vol. 1, pp. 17–21, 2015.
- [4] Z. Arif and P. Lepong, "Deliniasi Prospek Bijih Besi dengan Menggunakan Metode Geomagnetik (Lokasi Penelitian Pelaihari, Kab Tanah Laut, Kalimantan Selatan)," in *Prosiding Seminar Sains dan Teknologi FMIPA Unmul*, 2016, pp. 450–455.
- [5] W. M. Telford, L. P. Geldart, and R. E. Sheriff, *Applied Geophysics*, 2nd ed. New York: Cambridge University Press, 1990.
- [6] S. Rusita, S. S. Siregar, and I. Sota, "Identifikasi Sebaran Bijih Besi dengan Metode Geomagnet di Daerah Pematang, Bajuin Tanah Laut," *J. Fis. FLUX*, vol. 13, no. 1, pp. 49–59, 2016.
- [7] L. O. Marzujriban and S. Aswad, "Pengaruh Waktu Looping Nilai Koreksi Harian dan Anomali Magnetik Total pada Pengolahan Data Geomagnet Studi Kasus: Daerah Karang Sambung," in *Prosiding Seminar Nasional Geofisika 2014: Optimalisasi Sains dan Aplikasinya dalam Peningkatan Daya Saing Bangsa*, 2014, pp. 89–93.
- [8] S. Breiner, *Applications Manual for Portable Magnetometers*. California: Geometrics, 1999.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

ANALISA DATA GEOMAGNETIK: STUDI KASUS DI WILAYAH CALON TAPAK RDE PUSPIPTEK-SERPONG DAN SEKITARNYA

Adhika Junara Karunianto¹, Dwi Haryanto¹, Fakhri Muhammad²

¹Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir-BATAN
Jalan Lebak Bulus Raya No. 9 Pasar Jumat Jakarta Selatan 12440

²Universitas Negeri Solo
Jalan Ir. Sutami No. 36 A Surakarta 57126
email: adhika@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISA DATA GEOMAGNETIK: STUDI KASUS DI WILAYAH CALON TAPAK RDE PUSPIPTEK-SERPONG DAN SEKITARNYA. Metoda geomagnetik adalah salah satu metoda geofisika yang paling tua dan sudah banyak diaplikasikan di dunia eksplorasi dan survei tapak. Data geomagnetik di dalam penelitian ini berupa data gradiomagnetik yang pengukurannya dilakukan dengan dua sensor dalam 1 alat magnetometer dengan jarak pisah 1.3m sejajar secara horisontal dengan interval waktu sekitar 5 detik. Area pengambilan datanya dilakukan di area calon tapak Reaktor Daya Eksperimen (RDE) Daerah Puspipstek Serpong dan sekitarnya. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan peta anomali geomagnetik daerah Puspipstek Serpong dan sekitarnya. Cara pengolahannya menggunakan metoda analisa tingkat lanjut yaitu teknik reduksi ke kutub dan *upward continuation*. Metoda pengolahan ini akan menghilangkan medan gradiomagnetik yang disebabkan oleh objek magnetik di atau dekat permukaan yang dianggap sebagai gangguan atau noise. Hasil penelitian berupa peta anomali medan gradiomagnetik yang terdistribusi secara lateral dengan rentang nilainya sekitar -400-450 nT. Berdasarkan peta tersebut dapat diperoleh tiga zona anomali yaitu *westpart*, *centerpart*, *eastpart* yang penyebarannya relatif arah utara-selatan. Bagian barat disebut zona *westpart* dengan nilai anomali sekitar 100-250 nT. Bagian tengah disebut zona *centerpart* dengan nilai anomali sekitar 50-450 nT, sedangkan bagian timur disebut *eastpart* dengan nilai anomali sekitar 50-250 nT.

Kata kunci: geomagnetik, gradiomagnetik, sensor, *noise*, anomali

ABSTRACT

GEOMAGNETIC DATA ANALYSIS: CASE STUDY IN AREA OF PROSPECTIVE SITE OF RDE PUSPIPTEK-SERPONG AND SURROUNDING. Geomagnetic methods are one of the oldest and most applied geophysical methods in the field of mineral exploration and site survey. Geomagnetic data of this research is gradiomagnetic data which measurement is done with two sensors in single magnetometer with separation distance 1.3m parallel horizontally with interval time of measurement about 5 second. The research area of data collection is carried out in the Prospective Site of The RDE (Experimental Site Reactor) at Puspipstek Serpong and surrounding areas. The purpose of this research is to get map of gradiomagnetic anomaly of Puspipstek Serpong and surrounding area. The data processing using the method of advanced analysis is technique of reduction to pole and upward continuation. This processing methods will remove the gradiomagnetic fields caused by magnetic objects at or near the surface which are considered as noise or disturbance. The result of the research is an anomaly map of the laterally distributed gradiomagnetic field with a range of values around -400 nT sampai 450 nT. Based on the map can be obtained three anomalous zone that is *westpart*, *centerpart*, *eastpart* the penyebarannya relative north-south direction. The western part is called the *westpart* zone with an anomalous value of about 100-250 nT. The middle section is called the *centerpart* zone with anomalous values of about 50-450 nT, while the eastern part is called the *eastpart* with an anomalous value of about 50-250 nT.

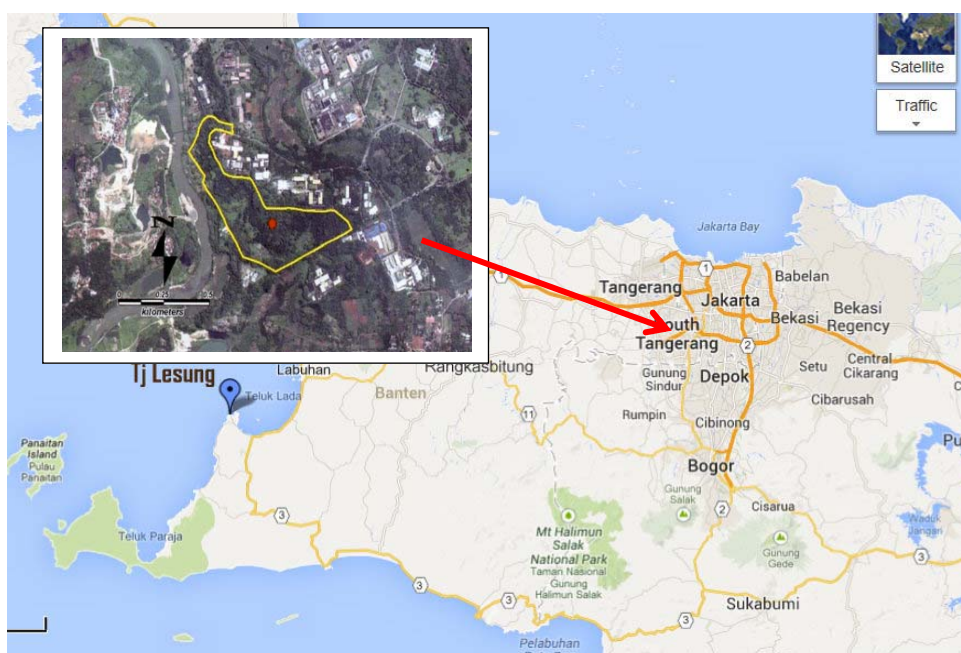
Keywords: geomagnetic, gradiomagnetic, sensor, *noise*, anomaly

PENDAHULUAN

Berdasarkan PERKA BATAN No. 5 Tahun 2015 tercantum keberadaan rencana strategis BATAN yang memasukkan pembangunan Reaktor daya Eksperimen (RDE) di kawasan Puspipstek Serpong. Keberadaan RDE nantinya diharapkan bisa membantu mengenalkan ke masyarakat tentang pentingnya PLTN untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia[1]. Dalam rangka rencana pembangunan RDE tersebut maka kebutuhan untuk menyiapkan studi tapak baik secara geologi maupun geofisika menjadi sangat penting. Pada tahun 2015 survei geofisika menggunakan metoda geomagnetik telah dilakukan di Daerah Puspipstek-Serpong dan sekitarnya yang merupakan calon tapak lokasi RDE. Tujuan dilakukan penelitian geomagnetik adalah untuk mendapatkan peta anomali geomagnetik serta melakukan interpretasi arah distribusi anomalnya.

Metoda geomagnetik adalah salah satu metoda geofisika pasif yang paling tua yang digunakan untuk melihat distribusi anomali magnetik secara lateral yang diakibatkan objek magnetik di bawah permukaan[2]. Objek yang berada didalam medan magnetik Bumi dimagnetisasi sesuai dengan tingkat kerentanan magnetiknya, dan magnetometer dengan sensitifitas tinggi akan merespon intensitas dan distribusi secara lateral medan magnetik Bumi yang dipengaruhi kondisi geologi dibawah permukaan bumi[3]. Metoda ini sudah banyak diaplikasikan pada berbagai lingkup permasalahan seperti: pencarian benda logam yang terpendam, pemetaan utilitas dari bahan besi yang terpendam, studi patahan, eksplorasi geotermal, eksplorasi mineral, eksplorasi benda arkeologi dan lain sebagainya[4]. Pada bidang nuklir, metoda ini juga sudah diterapkan diberbagai bidang permasalahan seperti eksplorasi uranium serta studi tapak untuk rencana pembangunan PLTN[5,6,7].

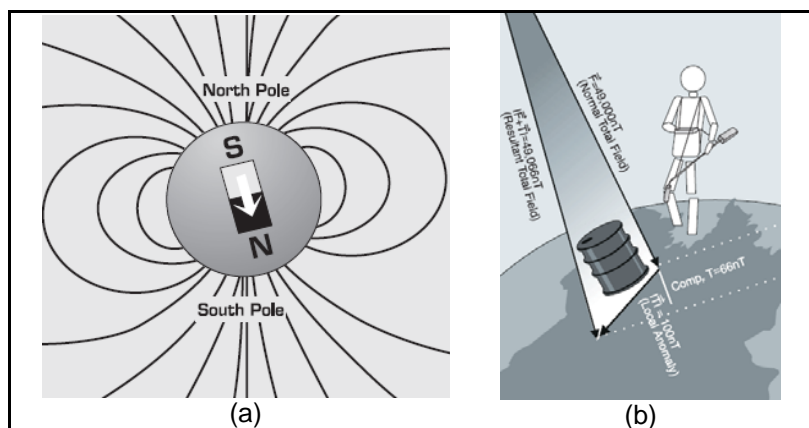
Lokasi pengambilan data lapangan berada area calon tapak RDE di Kawasan Puspipstek-Serpong dan sekitarnya, dimana secara geografis meliputi Kabupaten Bogor Propinsi Jawa Barat dan Kotamadya Tangerang Selatan Propinsi Banten (Gambar 1). Secara astronomis dibatasi oleh koordinat Latitude: $6,30^{\circ}$ - $6,50^{\circ}$ LS dan Longitude: $106,61^{\circ}$ - $106,71^{\circ}$ BT.



Gambar 1. Lokasi pengambilan data geomagnetik di Puspipstek Serpong dan sekitarnya.

DASAR TEORI

Medan magnetik bumi dapat digambarkan secara sederhana sebagai suatu magnet raksasa dengan kutub utara menuju ke arah selatan (Gambar 2a). Hal ini mengapa jarum kompas selalu menunjuk ke arah utara, karena tertarik oleh kutub magnet yang memiliki tanda berlawanan magnet Bumi. Medan magnetik bumi di titik-titik permukaan bumi adalah vektor, sehingga medan tersebut mempunyai arah dan intensitas. Inklinasi dan deklinasi menggambarkan orientasi lokal vektor medan magnetik.



Gambar 2. (a) Sketsa medan magnetik Bumi; (b) Interaksi medan magnetik Bumi dengan objek magnetik.

Intensitas medan magnetik bumi umumnya memiliki satuan gamma atau nanoTesla (nT). NanoTesla merupakan satuan SI, dan 1 nT sama dengan 1 gamma. Nilai medan magnetik yang diamati di seluruh permukaan bumi memiliki kisaran 25000 nT sampai 70000 nT.

Magnetometer medan total dengan opsi gradiometer adalah alat ukur yang mengukur amplitudo skalar dari vektor medan magnetik. Medan magnetik utama adalah medan magnetik bumi yang ditunjukkan oleh vektor F pada Gambar 2(b). Gangguan medan magnetik lokal oleh objek magnetik dinyatakan dalam simbol vektor T . Medan vektor lokal ini menambah medan vektor bumi, sehingga menghasilkan medan vektor total ($F + T$).

Terdapat dua pengukuran didalam survei geomagnetik yaitu pengukuran intensitas medan magnetik total dan medan gradiomagnetik. Medan gradiomagnetik merupakan gradien (laju perubahan) dari medan geomagnetik terhadap jarak horisontal diantara dua sensor yang diukur secara bersamaan dan simultan[3].

Teknik reduksi ke kutub adalah metoda untuk menghilangkan ketergantungan terhadap inklinasi medan magnetik bumi yang digunakan untuk mengetahui pola respon anomali ketika diukur pada inklinasi vertikal (di kutub)[8,9]. Sedangkan teknik *upward continuation* adalah perhitungan matematika yang digunakan untuk memproyeksikan data geomagnetik pada bidang datar pada elevasi yang lebih tinggi[8,9]. Teknik ini digunakan untuk menghilangkan respon anomali geomagnetik dengan panjang gelombangnya pendek yang umumnya dipengaruhi oleh objek magnetik di atau dekat permukaan. Persamaan (1) berikut adalah persamaan matematis upward berupa integrasi permukaan dari perubahan medan geomagnetik (ΔF) dari elevasi nol menuju elevasi tertentu.

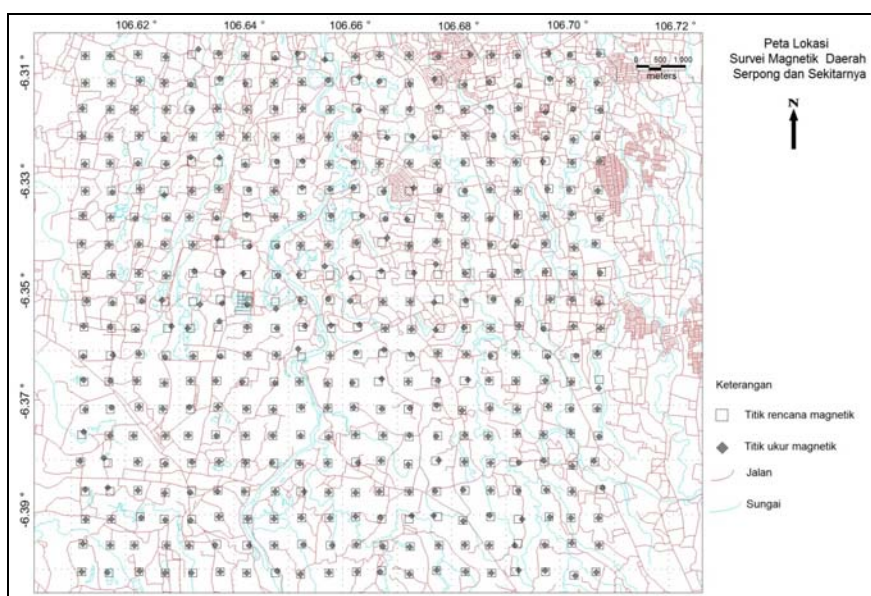
$$\Delta F(x, y, -h) = \frac{h}{2\pi} \iint \frac{\Delta F(x_0, y_0) dx_0 dy_0}{((x-x_0)^2 + (y-y_0)^2 + h^2)^{3/2}} \dots\dots\dots (1)$$

METODOLOGI PENELITIAN

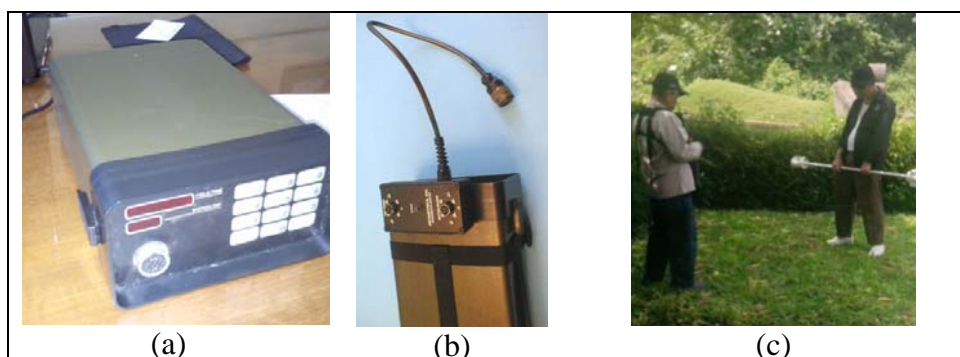
Metodologi yang dilakukan dalam survei geomagnetik pada prinsipnya terdiri dari tiga bagian yaitu: pengambilan data lapangan (akusisi/survei), pengolahan data (prosessing) dan deskripsi atau analisa hasil. Sebelum kegiatan akusisi, perlu dilakukan pengumpulan data sekunder dan pembuatan peta rencana kerja lapangan yang terdiri dari peta kontur, peta wilayah, dan peta rencana stasiun (Gambar 3). Pada saat akusisi juga memerlukan pengetahuan tentang parameter harga IGRF (*International Geomagnetic Reference Field*) di Wilayah Serpong dan sekitarnya, dimana diperoleh harga inklinasi $-30,83^\circ$, deklinasi 0.69° dan medan total sebesar 44627,16 nT. Peralatan yang digunakan dalam survei magnetik adalah alat ukur *magnetometer* (Gambar 4a) dan peralatan tambahan gradiometre switch (Gambar 4b) serta peralatan pendukung yang bisa dilihat pada Tabel 1. Pengambilan data

geomagnetik di lapangan adalah berupa data medan gradiomagnetik. Teknik survei ini berbeda dengan survei magnetik biasa yang menggunakan dua alat yaitu satu sebagai rover dan satu lagi sebagai BS (*Base Station*). Teknik ini menggunakan satu alat sebagai rover dengan memasang dua sensor secara horisontal dan tanpa pengukuran BS, sehingga tidak lagi memperhitungkan nilai koreksi harian magnetik.

Studi geomagnetik dilakukan di daerah penelitian dengan titik tengahnya lokasi rencana pembangunan RDE dengan radius sekitar 5km dan jarak interval antar titik pengukuran sekitar 500m. Total jumlah titik pengukuran adalah 400 titik. Pengukuran data gradiomagnetik horisontal. Ada dua sensor yang terpisah pada jarak sekitar 1,2m yang dipasang pada stick aluminium membentang pada posisi horisontal barat-timur (Gambar 4c). Kedua sensor harus dihadapkan ke arah utara, dimana tanda utara bisa dilihat dibagian atas sensor. Jarak sensor dengan alat ukur magnetometer dibuat semaksimal mungkin sesuai ukuran kabel untuk menghindari pengaruh medan elektromagnetik pada *elektronik circuit*. Selanjutnya dilakukan pembacaan medan magnetik pada kedua sensor, dimana pada saat tombol switch gradiomagnetik ditekan, maka akan terjadi pengukuran medan magnet total dua kali untuk sensor 1 dan 2 dengan interval waktu sekitar 5 detik. Kedua nilai selanjutnya dicatat di dalam *logbook* disertai koordinat, waktu dan kondisi lokasi sekitar apabila ada yang perlu dicatat seperti jarak dari rumah, kabel listrik, tiang listrik dan lain lain.



Gambar 3. Peta rencana dan realisasi lokasi stasiun pengukuran (lokasi RDE tepat berada di tengah).

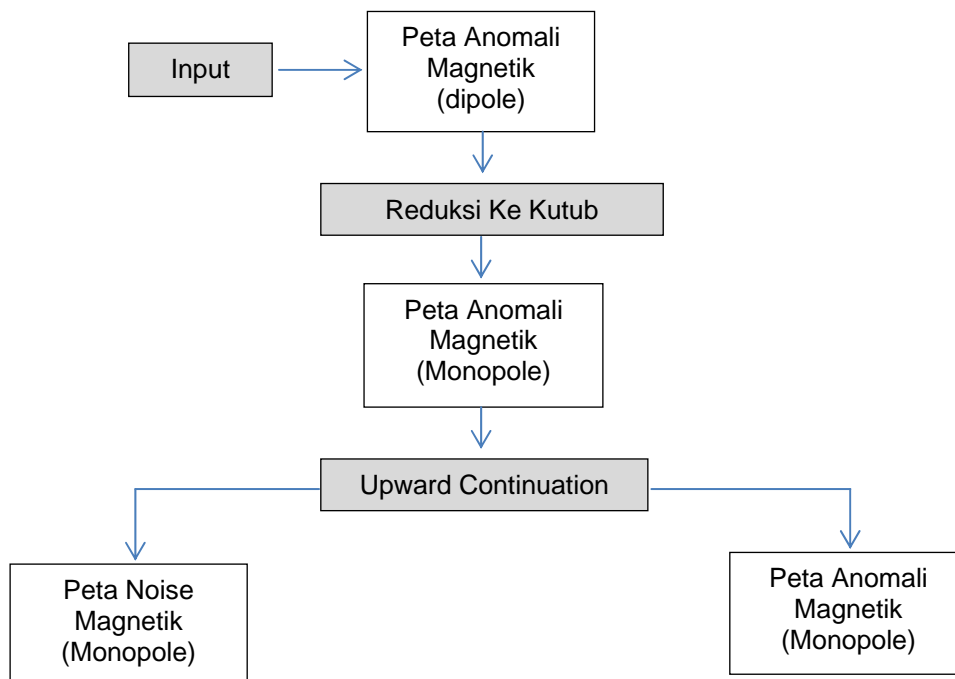


Gambar 4. (a) Magnetometer tampak atas; (b) Magnetometer dengan gradiometer tool, (c) Posisi pengukuran data magnetik dengan 1 orang pengukur dan 1 orang pembawa sensor.

Tabel 1. Peralatan dan bahan dalam survei magnetik.

No	Nama Alat dan Bahan	Jumlah	Satuan
1	G-856AX console	1	buah
2	Sensor	2	buah
3	Stick dari alumunium	1	meter
4	Rechargeable battery	1	pak
5	Kabel sinyal sensor	2	set
6	Switch gradiometer	1	buah
7	Tas gendong alat ukur magnetik	1	buah
8	GPS handheld Garmin 62Cx	1	buah
9	Buku <i>log book</i>	2	buah
10	Alat tulis	4	buah

Metodologi pengolahan data gradiomagnetik pada prinsipnya adalah bagaimana melakukan *filtering* terhadap respon gradiomagnetik yang tidak diinginkan. Teknik processing data gradiomagnetik menggunakan metoda analisa tingkat lanjut yaitu teknik reduksi ke kutub dan *upward continuation*. teknik pengolahan ini akan menghilangkan medan gradiomagnetik yang disebabkan oleh objek magnetik di atau dekat permukaan yang dianggap sebagai gangguan atau *noise*. Tahapan pengolahan data yaitu: (1) Data gradiomagnetik hasil pengukuran digunakan sebagai data input, (2) dilakukan proses reduksi ke kutub untuk menghasilkan data anomali gradiomagnetik monopole, (3) kemudian data di *upward continuation* yang memisahkan antara respon medan gradiomagnetik dengan respon gangguan/ noise. Secara sederhana dapat digambarkan melalui diagram alir pada Gambar 5 sebagai berikut:



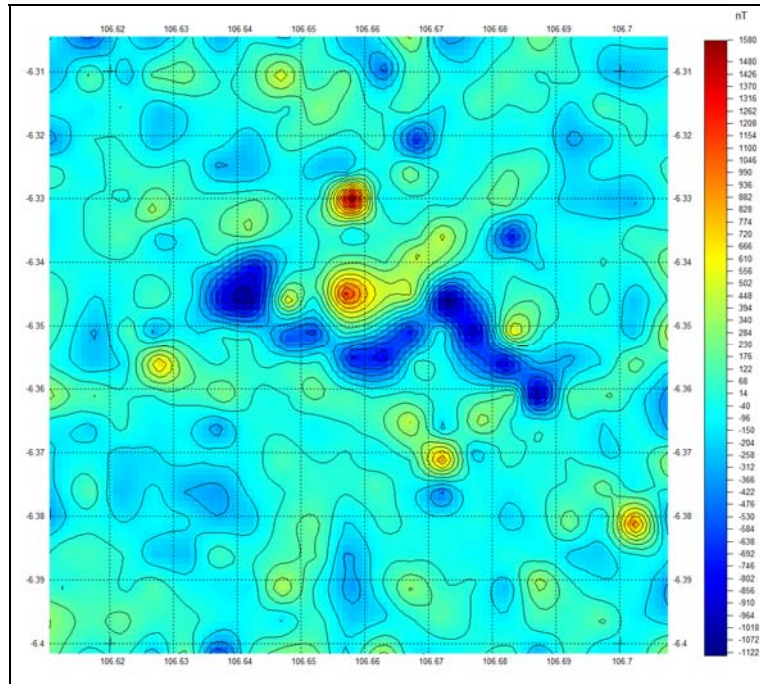
Gambar 5. Diagram alur tahapan pengolahan data geomagnetik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

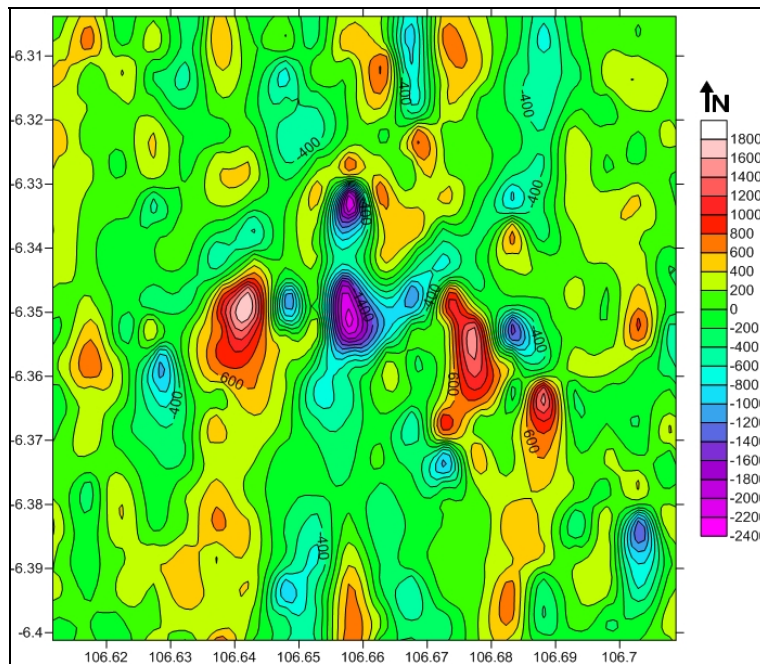
Studi geomagnetik di Daerah Puspipetek-Serpong dan sekitarnya menghasilkan peta anomali medan geomagnetik (Gambar 6). Peta tersebut memperlihatkan distribusi laju perubahan medan geomagnetik atau laju geomagnetik yang terukur di lapangan secara lateral dengan rentang nilai sekitar 0-1500 nT. Respon laju geomagnetik ini disebabkan oleh variasi sifat magnetik batuan di bawah permukaan bumi serta objek-objek buatan manusia yang bersifat magnetik (seperti pipa besi tertanam, pondasi tertanam, kabel listrik tertanam dan sebagainya) yang terletak di atau dekat permukaan. Karena daerah penelitian merupakan wilayah perkotaan dengan pemukiman padat penduduk, sehingga banyak terdapat objek magnetik (logam, besi, baja) yang berfungsi sebagai fasilitas atau utilitas umum (seperti tiang listrik, sutet, tiang telepon dan lain sebagainya). Respon laju magnetik dari objek-objek magnetik di permukaan ini dianggap sebagai medan pengganggu (*disturbance*) karena dapat mempengaruhi nilai terukur laju geomagnetik, sehingga didalam pengolahannya perlu dilakukan upaya penghilangan respon gangguan tersebut (*filtering*).

Gambar 7 memperlihatkan peta anomali laju geomagnetik yang merupakan hasil dari proses transformasi ke kutub (*reduction to pole*). Proses ini merupakan penyederhanaan terhadap data anomali geomagnetik melalui perhitungan matematis untuk mengetahui posisi sumber anomali berdasarkan bentuk respon anomali di wilayah kutub [10]. Bila dibandingkan antara peta laju geomagnetik pada Gambar 6 dan Gambar 7, maka terlihat peta hasil transformasi Gambar 7 relatif lebih jelas dalam menggambarkan pola distribusi anomalnya. Rentang perubahan laju geomagnetik sekitar 0-2400 nT, dimana nilai perubahan tinggi terlihat di area bagian tengah yang memanjang realtif ke arah selatan dan utara.

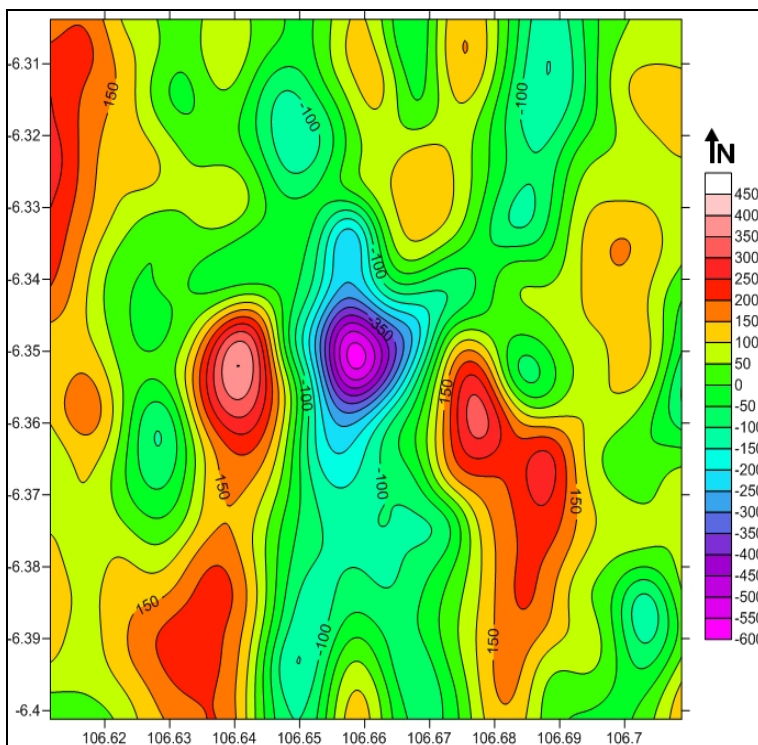
Setelah melalui proses penyederhanaan respon anomali, maka selanjutnya dilakukan proses filtering yang akan memisahkan harga laju geomagnetik dari pengaruh kondisi geologi atau objek di bawah permukaan, dengan objek pengganggu di/ dekat permukaan (*noise*). Proses filtering menggunakan metoda *upward continuation* yang merupakan suatu teknik untuk menonjolkan respon anomali yang berasal dari pengaruh geologi atau objek bawah permukaan dengan kedalaman tertentu[5]. Gambar 8 memperlihatkan peta anomali laju geomagnetik yang dihasilkan dari proses filtering, sedangkan Gambar 9 adalah respon *noise*-nya. Gambar 10 merupakan interpretasi hasil pengukuran dan pengolahan yang menggambarkan distribusi medan laju geomagnetik yang terdiri dari tiga zona anomali yaitu *westpart*, *centerpart*, dan *eastpart*. Zona *wespart* terlihat berada di bagian barat laut daerah penelitian dengan nilai laju geomagnetik sekitar 100-250 yang terdistribusi memanjang sekitar 4km. Zona *centerpart* terlihat dibagian tengah daerah penelitian yang memanjang relatif utara selatan dengan kisaran nilai laju geomagnetik sekitar 50-450 nT. Zona *eastpart* terlihat dibagian timur daerah penelitian yang memanjang relatif utara selatan dengan kisaran laju geomagnetik sekitar 50-250 nT.



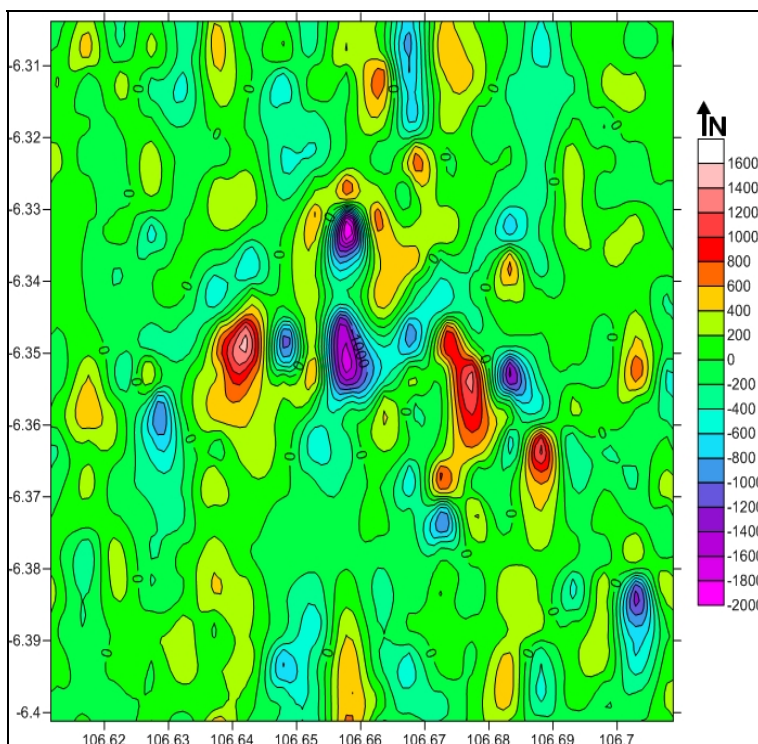
Gambar 6 Peta anomali magnetik observasi di daerah Puspiptek Serpong dan sekitarnya.



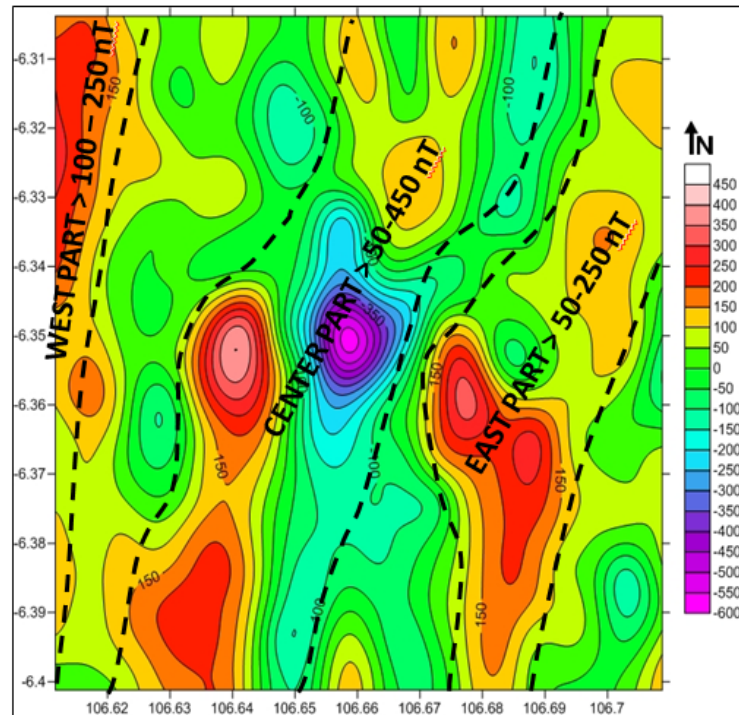
Gambar 7. Peta anomali magnetik hasil transformasi ke kutub di daerah Puspiptek Serpong dan sekitarnya.



Gambar 8. Peta anomali laju geomagnetik hasil filtering *upward continuation* Puspiptek Serpong dan sekitarnya.



Gambar 9 Peta laju geomagnetik noise di daerah Puspiptek Serpong dan sekitarnya.



Gambar 10 Interpretasi peta laju geomagnetik yang terdiri tiga zona (*westpart*, *centerpart* dan *eastpart*).

KESIMPULAN

Pengaruh objek magnetik di atau dekat permukaan memiliki laju perubahan medan magnet dari 400-2000 nT dan dianggap noise. Berdasarkan peta anomali gradiomagnetik terdapat tiga zona anomali yaitu *westpart*, *centerpart*, dan *eastpart*. *Westpart* adalah zona bagian barat dengan rentang harga anomali geomagnetik sekitar 100-250 nT. *Centerpart* adalah zona bagian tengah dengan rentang harga anomali geomagnetik sekitar 50-450 nT. *Eastpart* merupakan zona anomali bagian timur dengan rentang harga anomali geomagnetik sekitar 50-250 nT. Penyebaran semua zona relatif dari utara-selatan yang kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi geologi batuan dasar dimana zona bagian tengah memiliki sifat kerentanan magnetik yang relatif lebih tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kepala PKSEN atas pendanaan kegiatan penelitian. Terima kasih juga disampaikan kepada Kepala PTBGN yang telah memberi dukungan atas pelaksanaan kegiatan penelitian ini serta KPTF yang telah memberi arahan untuk sempurnanya tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. PERKA BATAN NOMOR 5 TAHUN 2015 TENTANG "RENCANA STRATEGIS BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL TAHUN 2015-2019".
2. TELFORD, W.M., GELDART, L. P., SHERRIF, R.E., and KEYS, D. A., "*Applied Geophysics: Magnetic Method*", Cambridge University Press, Cambridge, London, New York, Melbourne, 1990.
3. Scintrex, "Magnetic Applications Guide", SCINTREX Limited, Canada, 1996.

4. Jose Rivas,"*Short Course on Surface Exploration for Geothermal Resources: GRAVITY AND MAGNETIC METHODS*", *UNU-GTP and LabGeo*, El Salvador, 17-30 Oktober, 2009.
5. IAEA,"*Advances In Airborne and Ground Geophysical Methods for Uranium Exploration*", IAEA Nuclear Energy Series, No. NF-T-1.5, 2013.
6. Alexander R. McBirney, Leonello Serva, M. Guerra, Charles B. Connor,"*Volcanic and seismic hazards at a proposed nuclear power site in central Java*", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 126, Hal. 11-30, 2003.
7. *Lithuanian National Report*, "*Convention on Nuclear Safety Seventh Lithuanian National Report*", State Nuclear Power Safety Inspectorate (VATESI),ISSN. 2424-5658, 2016.
8. Ganiyu S. A., Badmus B. S., Awoyemi M. O., Akinyemi O. D. dan Olurin O T.,"*Upward Continuation and Reduction to Pole Process on Aeromagnetic Data of Ibadan Area, South-Western Nigeria*", *Earth Science Research*, Vol. 2 No. 1, Hal. 66-73, 2013.
9. Al-Garni M. A.,"*Magnetic Survey for Delineating Subsurface Structures and Estimating Magnetic Sources Depth, Wadi Fatima, KSA*", *Journal of King Saud University (Science)*, Vol 22, Hal. 87-96, 2010.

STUDI PENGARUH TEMPERATUR BAHAN BAKAR PADA KRITIKALITAS REAKTOR HOMOGEN MENGGUNAKAN SCALE

Arif Isnaeni

BAPETEN, Jl. Gajah Mada no. 8, Jakarta Pusat 10120
email: a.isnaeni@bapeten.go.id

ABSTRAK

STUDI PENGARUH TEMPERATUR BAHAN BAKAR PADA KRITIKALITAS REAKTOR HOMOGEN MENGGUNAKAN SCALE. Aqueous Homogeneous Reactor (AHR) adalah suatu bentuk reaktor yang menggunakan bahan bakar larutan uranium yang homogen. AHR memiliki karakteristik unik yang membedakan dengan reaktor non daya konvensional. Bahan bakar reaktor berupa larutan homogen campuran garam uranium dan juga moderator yang berada di dalam satu bejana reaktor. Saat ini sebagian besar radioisotop diproduksi di reaktor riset dan reaktor produksi isotop (reaktor heterogen) dengan metode iradiasi target yang mengandung bahan fisil U-235 diperkaya. Sebenarnya radioisotop tersebut juga dihasilkan di dalam bahan bakar reaktor, tapi tidak diekstrak. Berbeda dengan reaktor homogen, dimana bahan bakar dan target menjadi satu kesatuan. Sehingga seluruh radioisotop yang diperlukan dapat di ekstrak dari larutan bahan bakar. Bahan bakar tersebut akan menjadi bahan bakar bekas sebagai limbah radioaktif. Secara umum terdapat banyak sekali aspek yang perlu dipertimbangkan dalam mendesain reaktor yang aman dan sesuai standar keselamatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari temperatur terhadap kritikalitas dari reaktor AHR. Simulasi perubahan temperatur dan kerapatan larutan bahan bakar pada reaktor homogen menggunakan program SCALE dengan bahan bakar Uranil Nitrat yang dilarutkan dengan H₂O menunjukkan reaktor memiliki koefisien reaktivitas negatif terhadap temperatur dan kerapatan larutan bahan bakar. Fitur ini merupakan salah satu kelebihan dari reaktor homogen, sifat ini meningkatkan keselamatan reaktor homogen (AHR).

Kata kunci: Temperatur, Mo-99, uranyl nitrat, reaktor homogen, SCALE

ABSTRACT

STUDY EFFECT OF FUEL TEMPERATURE ON AQUEOUS HOMOGENEOUS REACTOR CRITICALITY USING SCALE. Aqueous Homogeneous Reactor (AHR) is a type of reactor using homogeneous uranium solution. AHR has unique characteristics that distinguish it from conventional non-power reactors. The reactor fuel is a homogeneous solution of uranium salt mixture and moderator inside a reactor vessel. Currently most of the radioisotopes are produced in research reactors and isotope production reactors (heterogenic reactors) with target irradiation methods containing U-235 enriched material. Actually the radioisotope is also produced in the reactor fuel, but it is not extracted. The fuel will become spent fuel as radioactive waste. In contrast to homogeneous reactors, where fuel and targets become one unity. All the required radioisotopes can be extracted from the fuel solution. In general there are many aspects of consideration in designing safe reactors as safety standards. This study aims to determine the effect of temperature on the criticality of the AHR reactor. Simulation of temperature and density change of fuel at homogeneous reactor using SCALE program with Uranil Nitrate fuel dissolved with H₂O, it shows that reactor has negative density and temperature reactivity coefficient. This feature is one of the advantages of a homogeneous reactor, this property improves the safety of homogeneous reactors (AHR).

Keywords: Temperature, Mo-99, uranyl nitrate, homogeneous reactor, SCALE.

PENDAHULUAN

Aqueous Homogeneous Reactor (AHR) adalah suatu bentuk reaktor yang menggunakan bahan bakar larutan uranium yang homogen. AHR memiliki karakteristik unik yang membedakan dengan reaktor non daya konvensional. Bahan bakar reaktor berupa larutan homogen campuran garam uranium dan moderator yang berada di dalam satu

bejana reaktor. Daya yang digunakan dalam pengoperasian reaktor relatif rendah, antara 50 - 300 kW [1].

Perubahan daya reaktor akan mengubah temperatur larutan bahan bakar reaktor. Perubahan temperatur akan mengakibatkan perubahan kerapatan atom di dalam larutan bahan bakar. Perubahan kerapatan atom akan mempengaruhi kritikalitas dari reaktor homogen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari temperatur terhadap kritikalitas dari reaktor AHR, yaitu dengan memberikan variasi temperatur *input* pada program SCALE, selain itu juga dilakukan variasi densitas atom dari larutan bahan bakar.

Secara umum terdapat banyak sekali aspek yang perlu dipertimbangkan dalam mendesain reaktor yang aman dan sesuai standar keselamatan. Pada saat reaktor beroperasi, reaktor harus memiliki nilai reaktivitas positif sehingga dapat terjadi reaksi fisi berantai. Nilai reaktivitas ini berkaitan dengan nilai kritikalitas reaktor. Dimana nilai reaktivitas dapat bernilai positif jika nilai kritikalitas (*keff*) lebih besar dari 1.

Beberapa negara telah memanfaatkan reaktor berbahan bakar cair sebagai alat produksi isotop medis. China mengembangkan *Medical Isotopes Production Reaction* (MIPR) untuk produksi Mo-99 dan I-131. MIPR menggunakan daya termal 200 kW dengan pengayaan uranium tinggi sebesar 90% [2]. Rusia mengembangkan *Homogeneous Aqueous Solution nuclear Reactors* (HASR) untuk produksi Mo-99, Xe-133, dan Sr-89. HASR menggunakan daya termal 50 kW masih dengan pengayaan tinggi sebesar 90% [3]. Selain HASR, Rusia juga mengembangkan reaktor ARGUS untuk produksi isotop Mo-99. ARGUS menggunakan daya termal 20 kW dengan pengayaan masih tinggi sebesar 90% [4]. USA mengembangkan *Medical Isotopes Production System* (MIPS) untuk produksi Mo-99 dengan daya termal 200 kW [5]. Beberapa isotop yang dihasilkan dari reaksi fisi AHR antara lain Xe-133, Mo-99, Sr-89, Y-90, dan I-131 [1].

Permintaan radioisotop Mo-99 meningkat di Jepang, China, dan Korea Selatan [6]. Permintaan radio-isotop Mo-99 di dunia sekitar 12000 Ci per minggu, sehingga rata-rata kebutuhan Mo-99 di dunia adalah sekitar 600000 Ci per tahun [7].

Pembuatan radioisotop untuk kebutuhan kedokteran nuklir dilakukan dengan reaktor nondaya. Reaktor nondaya adalah reaktor nuklir yang tidak digunakan sebagai pembangkit energi, tetapi digunakan untuk penelitian dan pembuatan isotop [8]. Reaktor nondaya pada umumnya menggunakan reaktor nuklir dengan pengayaan tinggi [9].

Saat ini sebagian besar radioisotop diproduksi di reaktor riset dan reaktor produksi isotop (reaktor heterogen) dengan metode iradiasi target yang mengandung bahan fisil U-235 diperkaya. Sebenarnya radioisotop tersebut juga dihasilkan di dalam bahan bakar reaktor, tapi tidak diekstrak. Bahan bakar tersebut akan menjadi bahan bakar bekas sebagai limbah radioaktif. Berbeda dengan reaktor homogen, dimana bahan bakar dan target menjadi satu kesatuan. Sehingga seluruh radioisotop yang diperlukan dapat diekstrak dari larutan bahan bakar.

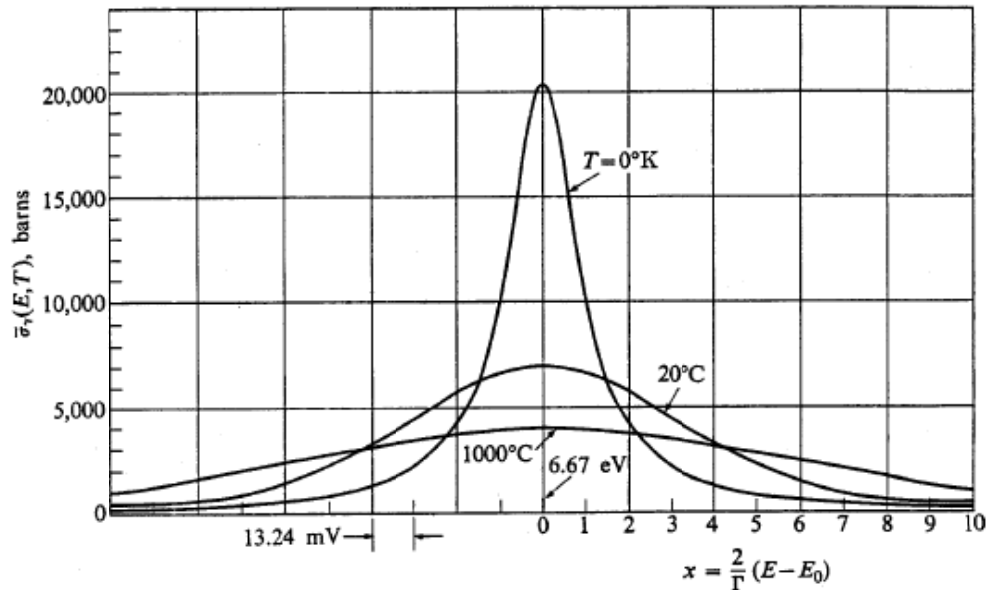
TEORI

Efek Doppler

Perubahan temperatur pada reaktor terjadi pada campuran bahan bakar dan pendingin atau moderator. Koefisien reaktivitas temperatur bahan bakar adalah perubahan pada reaktivitas teras akibat perubahan temperatur bahan bakar. Koefisien reaktivitas temperatur bahan bakar pada kebanyakan reaktor bernilai negatif, sebagai akibat dari fenomena yang disebut efek Doppler [10].

Efek Doppler ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Tampang lintang neutron mengalami resonansi pada tingkat energi tertentu. Pada inti-inti atom berat, misalnya Uranium, resonansi ini hampir seluruhnya disebabkan oleh absorpsi, bukan hamburan.

Nukleus atau inti atom yang ada di dalam atom selalu bergerak akibat energi termal yang dimilikinya. Sebagai akibat dari gerakan termal ini, suatu berkas neutron yang menumbuk inti atom, bagi inti atom yang berada di dalam atom target akan melihatnya seperti memiliki sebaran energi yang kontinu sekalipun berkas neutron tersebut bersifat monoenergetik. Keadaan ini memiliki efek seperti bentuk resonansi. Dapat difahami bahwa ketikaampang lintang dirata-ratakan terhadap seluruh gerakan inti atom, resonansi ini menjadi lebih rendah dan lebih lebar. Efek ini disebut sebagai pelebaran Doppler (*Doppler broadening*), dan efek ini menjadi lebih nyata ketika temperatur atom target lebih tinggi seperti dilukiskan pada Gambar 1. Patut diperhatikan bahwa meskipun bentuk daerah resonansi ini berubah terhadap temperatur, luasan total daerah resonansi pada dasarnya adalah sama.



Gambar 1. Efek Pelebaran Doppler untukampang lintang tangkapan untuk U238 pada energi resonansi 6.67 eV [11]

AHR

AHR adalah suatu bentuk reaktor yang menggunakan bahan bakar larutan uranium yang homogen. Beberapa kelebihan dari reaktor homogen untuk produksi isotop medis adalah biaya yang rendah, massa kritis kecil (daya rendah), penanganan bahan bakar sederhana, karakteristik pengolahan dan pemurnian, dan keselamatan pasif yang melekat [1]. Volume void yang diciptakan oleh gelembung di larutan bahan bakar akan memberikan koefisien reaktivitas umpan balik negatif yang kuat [12].

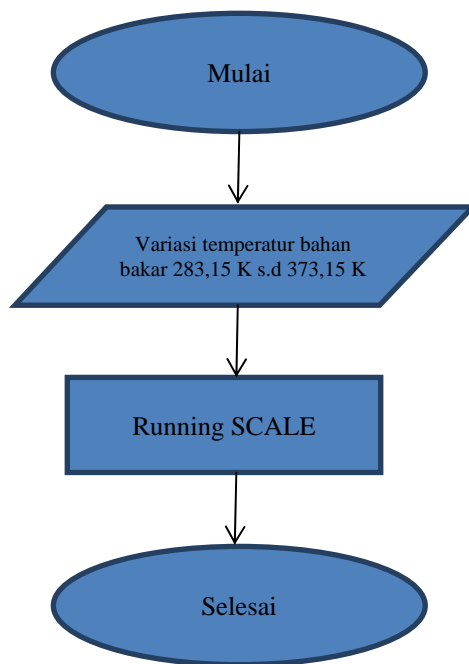
Sebelumnya telah dilakukan analisis produksi Mo-99 pada reaktor homogen dengan bahan bakar Uranil Nitrat menggunakan program ORIGEN dan MCNP. Reaktor kritis dengan volume bahan bakar 24,7 liter [13].

SCALE

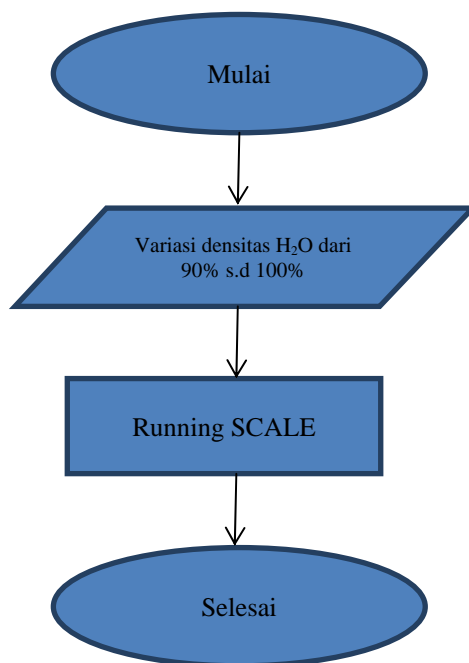
SCALE merupakan program simulasi dan pemodelan yang digunakan untuk analisis keselamatan dan desain sistem nuklir serta reaktor dimana dikembangkan, diuji dan dikelola oleh divisi sistem nuklir dan reaktor di *Oak Ridge National Laboratory* (ORNL). SCALE menyediakan modul program yang komprehensif, terverifikasi dan tervalidasi serta sangat *user friendly* (mudah digunakan) untuk perhitungan analisis keselamatan kritikalitas, fisika reaktor, perisai radiasi, karakteristik suku sumber, analisis ketidak pastian dan sensitivitas. [14].

METODOLOGI

Pada penelitian ini digunakan bejana reaktor dalam bentuk silinder, bahan bakar reaktor berupa Uranil Nitrat yang dilarutkan dalam H₂O, simulasi perhitungan kritikalitas dilakukan dengan menggunakan program SCALE dengan cara memvariasikan temperatur bahan bakar dan densitas dari larutan sebagai simulasi munculnya void.



Gambar 2. Simulasi perubahan temperatur bahan bakar menggunakan SCALE



Gambar 3. Simulasi perubahan densitas H₂O menggunakan SCALE

Berikut parameter reaktor dalam penelitian ini:

Tabel 1. Parameter Teras Reaktor

Parameter	Nilai
Daya Reaktor (termal)	200 kW
Bahan Bakar	Uranyl Nitrat
Konsentrasi bahan bakar	250 gram U/liter
Pengayaan	19,75 %
Diameter Teras (cm)	30
Tinggi Bahan Bakar (cm)	30
Tinggi Reaktor (cm)	100
Bejana Reaktor	Stainless steel-304
Tebal Bejana (cm)	0,5
Reflektor (radial)	Beryllium
Ketebalan Reflektor (cm)	30

Tabel 2. Stainless steel-304 [11]

Nuklida	atom/barn.cm
Chromium	$1,74 \times 10^{-2}$
Manganese	$1,52 \times 10^{-3}$
Iron	$5,81 \times 10^{-2}$
Nickel	$8,51 \times 10^{-3}$

Perhitungan Kerapatan Atom:

Suatu atom dapat terdiri dari beberapa isotop. Perbedaan massa isotop dapat mempengaruhi massa atom rata-rata, dijelaskan pada persamaan [15]:

$$A = \left[\frac{wf_1}{A_1} + \frac{wf_2}{A_2} + \dots + \frac{wf_i}{A_i} \right]^{-1} \quad (1)$$

Dimana :

A = massa atom rata-rata (gr/mol)

wf_1 = fraksi berat isotop 1

wf_2 = fraksi berat isotop 2

wf_i = fraksi berat isotop i

A_1 = massa atom isotop 1

A_2 = massa atom isotop 2

A_i = massa atom isotop i

Uranyl Nitrate dengan pengkayaan U-235 sebesar 19,75 wt.%, maka:

$$wf_{U-235} = 0,1975$$

$$wf_{U238} = 0,8025$$

$$A_{U-235} = 235,04 \text{ g/mole}$$

$$A_{U238} = 238,05 \text{ g/mole}$$

$$\bar{A}_U = \left[\frac{0,1975}{235,04} + \frac{0,8025}{238,05} \right]^{-1} = 237,449 \text{ g/mole}$$

Jika diketahui suatu isotop memiliki densitas ρ (gr/cc) dan massa isotop A (gr/mol), maka densitas atom dinyatakan dengan persamaan [15]:

$$N = \frac{\rho N_A}{A} \quad (2)$$

Dimana :

N = densitas atom (atom/cc)

ρ = densitas material (gr/cc)

N_A = bilangan Avogadro

$$= 6,02 \times 10^{23} \text{ (atom/mol)}$$

= massa atom (gr/mol)

Konsentrasi bahan bakar 250 gram U/liter atau 0,25 gram U/cc.

$A_U = 237.4494309$ g/mole.

$$N_U = \frac{0.25 \times 0.6022 \times 10^{24}}{237.4494309} = 6.340 \times 10^{20} \text{ atom/cc}$$

$$1 \text{ barn} = 10^{-24} \text{ cm}^2$$

Sehingga

$$\begin{aligned} N_U &= 6,340 \times 10^{20} \text{ atom/cc} \\ &= 6,340 \times 10^{-4} \text{ atom/barn.cm} \end{aligned}$$

Fraksi atom dapat dihitung menggunakan rumus berikut [15]:

$$af_i = wf_i \times \frac{\bar{A}}{A_i} \quad (3)$$

Dimana

af_i = fraksi atom isotop i

wf_i = fraksi berat isotop i

A = berat atom rerata (g/mole)

A_i = fraksi berat atom isotop i (g/mole)

Larutan Uranyl Nitrate dengan pengkayaan U-235 sebesar 19.75 wt.%

$$wf_{U-235} = 0,1975$$

$$wf_{U238} = 0,8025$$

$$A_{U-235} = 235,04 \text{ g/mole}$$

$$A_{U238} = 238,05 \text{ g/mole}$$

$$A_U = 237,4494309 \text{ g/mole}$$

$$af_{235} = 0.1975 \times \frac{237.4494309}{235.04} = 0.1995$$

$$af_{238} = 0.8025 \times \frac{237.4494309}{238.05} = 0.8005$$

Kemudian dihitung densitas atom U-235 dan U-238:

$$N_{U_{235}} = 0.1995 \times 6.340 \times 10^{-4} = 1.265 \times 10^{-04} \text{ atom/barn.cm}$$

$$N_{U_{238}} = 0.8005 \times 6.340 \times 10^{-4} = 5.075 \times 10^{-04} \text{ atom/barn.cm}$$

Di dalam uranyl nitrate ($UO_2(NO_3)_2$) terdapat 1 atom U, 2 atoms N and 8 atoms O

$$\begin{aligned} N_N &= N_U \times 2 \\ &= 6,340 \times 10^{-4} \times 2 \\ &= 1,268 \times 10^{-3} \text{ atom/barn.cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_O &= N_U \times 8 \\ &= 6,340 \times 10^{-4} \times 8 \\ &= 5,072 \times 10^{-3} \text{ atom/barn.cm} \end{aligned}$$

Konsentrasi bahan bakar 250 gram U/liter, $A_U = 237,4494309$ g/mole.

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi U} &= \frac{250 \text{ gram U/Liter}}{237.4494309 \text{ g/mol}} \\ &= 1.052855755 \text{ mol/Liter}\end{aligned}$$

Pada uranyl nitrate ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$) terdapat 1 atom U, hal ini berarti mol U sama dengan mol $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$

$\text{concentration UO}_2(\text{NO}_3)_2 = \text{concentration U} = 1,0528 \text{ mole/Liter}$

$A_U = 237,4494309$ g/mole;

$A_{\text{Oxygen}} = 15,999$ gram/mole;

$A_{\text{Nitrogen}} = 14,007$ gram/mole:

$$\begin{aligned}\text{Berat atom UO}_2(\text{NO}_3)_2 &: \\ &= A_U + (8 \times A_{\text{Oxygen}}) + (2 \times A_{\text{Nitrogen}}) \\ &= 237,4494309 + (8 \times 15.999) + (2 \times 14.007) \\ &= 393,4554309 \text{ gram/mole}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi UO}_2(\text{NO}_3)_2 &: \\ &= 1,052855755 \text{ mol/liter} \times 393.4554309 \text{ gram/mol} \\ &= 414,251815 \text{ gram/liter}\end{aligned}$$

Densitas $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 = 2.81$ gram/cc

Konsentrasi Uranil Nitrat =

$$\begin{aligned}&= \frac{414.251815 \text{ gram/Liter}}{2.81 \text{ gram/cc}} \\ &= 147.4205747 \text{ cc Uranyl Nitrate / Liter bahan bakar} \\ &= 0.1474205747 \text{ Liter Uranyl Nitrate / Liter bahan bakar}\end{aligned}$$

Bahan bakar terdiri atas campuran Uranyl Nitrate ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$) dan air (H_2O).

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi air pada 1 liter bahan bakar} & \\ &= 1 - \text{konsentrasi UO}_2(\text{NO}_3)_2 \text{ pada satu liter larutan bahan bakar} \\ &= 1 - 0,1474205747 \\ &= 0,852579425 \text{ liter air/liter bahan bakar}\end{aligned}$$

Densitas $\text{H}_2\text{O} = 997,047$ gram/liter fuel solution

$$\begin{aligned}\text{Konsentrasi H}_2\text{O} &: \\ &= 0,852579425 \times 997.047 \\ &= 850,0617582 \text{ gram/liter} \\ &= 0,8500617582 \text{ gram/cc}\end{aligned}$$

$A_{\text{Hydrogen}} = 1,008$ gram/mol

$A_{\text{Oxygen}} = 15,999$ gram/mole

$$\begin{aligned}N_{\text{H}_2\text{O}} &= \frac{0.8500617582 \times 0.6022 \times 10^{24}}{15.999 + (2 \times 1.008)} \\ &= 2.842 \times 10^{22} \text{ atom/cc} \\ &= 2.842 \times 10^{-2} \text{ atom/barn.cm}\end{aligned}$$

Di dalam H_2O terdapat 1 atom H and 2 atom O

$$N_{\text{O}} = N_{\text{H}_2\text{O}}$$

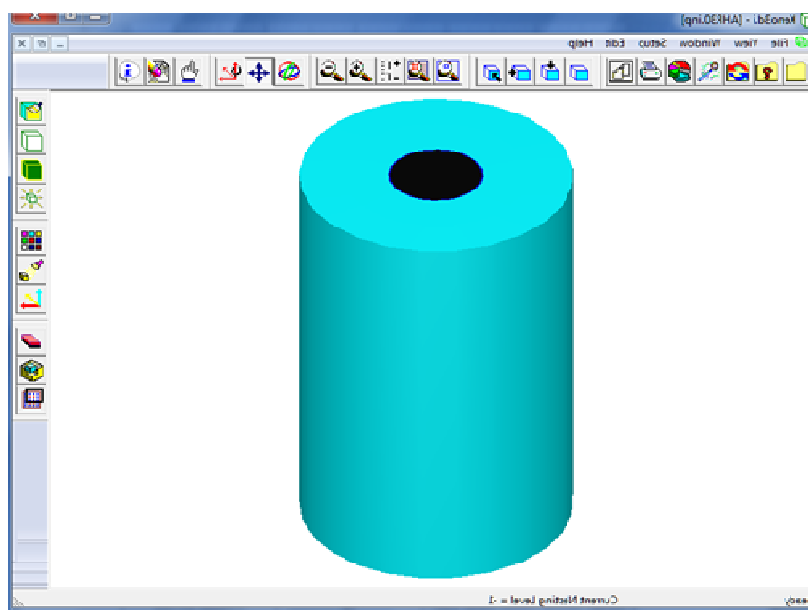
$$\begin{aligned} &= 2,842 \times 10^{-2} \text{ atom/barn.cm} \\ N_H &= 2 \times N_{H_2O} \\ &= 2 \times 2,842 \times 10^{-2} \\ &= 5,683 \times 10^{-2} \text{ atom/barn.cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total } N_O &= N_O \text{ di dalam } UO_2(NO_3)_2 + N_O \text{ di dalam } H_2O \\ &= 5,072 \times 10^{-3} \text{ atom/barn.cm} + 2,842 \times 10^{-2} \text{ atom/barn.cm} \\ &= 3,349 \times 10^{-2} \text{ atom/barn.cm} \end{aligned}$$

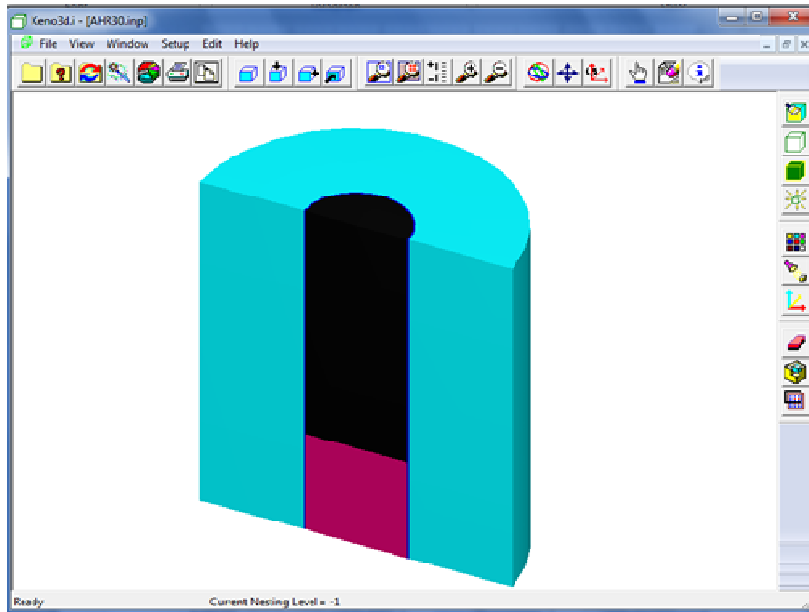
Tabel 3. Kerapatan Atom pada Bahan Bakar Baru.

Isotop	atom/barn.cm
U-235	1,26504531144E-04
U-238	5,07525204789E-04
O-16	3,34878465916E-02
N-14	1,26805947187E-03
H-1	5,68312174084E-02

Dalam penelitian ini temperatur larutan bahan bakar divariasikan: 283.15 K, 293.15 K s.d 373.15 K. Input-input tersebut di simulasikan (di-*running*) menggunakan program SCALE. Model geometri reaktor dapat dilihat pada Gambar 4:



Gambar 4. Tampilan pada Keno 3d



Gambar 5. Tampilan irisan pada Keno 3d

Masukan dari densitas atom untuk larutan Uranil Nitrat dan bejana reaktor ditampilkan pada Gambar 6.

Name	MX	ROTH	VF	ADEN	Temp(K)
u-235	1		0	0.0001268059	283.15
u-238	1		0	0.0005072238	283.15
o-16	1		0	0.005072238	283.15
n-14	1		0	0.001268059	283.15
h2o	1	0.8500618	1		283.15
chromium	2		0	0.0174	283.15
manganese	2		0	0.00152	283.15
iron	2		0	0.0581	283.15
nickel	2		0	0.00851	283.15
beryllium	3		1		283.15

Gambar 6. Input Material

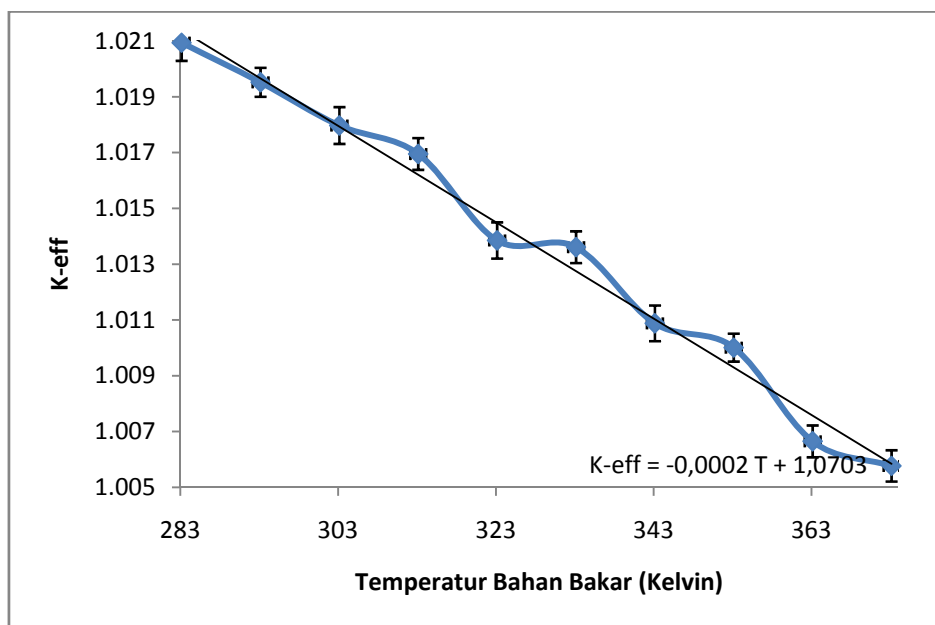
HASIL

Simulasi perhitungan kritikalitas dilakukan dengan menggunakan program SCALE dengan cara memvariasikan temperatur bahan bakar. Berikut hasil dari *running* menggunakan program SCALE:

Tabel 4. Temperatur bahan bakar vs k-eff

Temperatur bahan bakar (K)	<i>keff</i>	Standar deviasi
283,15	1,02094	0,00065
293,15	1,01952	0,00052
303,15	1,01797	0,00066
313,15	1,01695	0,00057
323,15	1,01385	0,00065
333,15	1,01361	0,00057

Temperatur bahan bakar (K)	<i>k_{eff}</i>	Standar deviasi
343,15	1,01088	0,00064
353,15	1,01001	0,00050
363,15	1,00665	0,00057
373,15	1,00577	0,00056



Gambar 7. Temperatur bahan bakar vs k-eff

Dari Tabel 4. dapat dilihat bahwa k-eff turun dengan kenaikan temperatur bahan bakar. Hal ini diakibatkan oleh efek doppler. Pada Gambar 7 didapatkan persamaan regresi linier dengan persamaan:

$$k\text{-eff} = -0,0002 T + 1,0703 \quad (4)$$

Tabel 5. Temperatur bahan bakar vs reaktivitas (ρ)

Temperatur bahan bakar (K)	ρ
293,15	-0,00136
303,15	-0,00149
313,15	-0,00099
323,15	-0,00301
333,15	-0,00023
343,15	-0,00266
353,15	-0,00085
363,15	-0,00330
373,15	-0,00087

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa reaktor memiliki koefisien reaktivitas negatif terhadap temperatur. Karakter ini bagus untuk keselamatan operasi reaktor nuklir. Kenaikan daya reaktor akan mengakibatkan kenaikan temperatur bahan bakar, dengan sifat reaktivitas negatif maka daya reaktor lebih mudah untuk dikendalikan. Selain itu kenaikan temperatur akan menurunkan kerapatan larutan bahan bakar.

Tabel 6. Densitas H₂O vs kritikalitas dan reaktivitas (ρ)

Densitas H ₂ O	Kritikalitas	ρ
100 %	1.02094 ± 0.00065	
99 %	1.01795 ± 0.00070	-0.0028770
98 %	1.01576 ± 0.00059	-0.0021180
97 %	1.01148 ± 0.00061	-0.0041658
96 %	1.00946 ± 0.00063	-0.0019784
95 %	1.00747 ± 0.00063	-0.0019567
94 %	1.00396 ± 0.00052	-0.0034702
93 %	1.00175 ± 0.00055	-0.0021974
92 %	0.99889 ± 0.00057	-0.0028582
91 %	0.99656 ± 0.00058	-0.0023406
90 %	0.99355 ± 0.00076	-0.0030400

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa reaktor memiliki koefisien reaktivitas negatif terhadap void (densitas H₂O). Karakter ini bagus untuk keselamatan operasi reaktor nuklir. Kenaikan daya reaktor akan mengakibatkan kenaikan temperatur dan menimbulkan munculnya void (penurunan densitas H₂O), dengan sifat reaktivitas negatif maka daya reaktor lebih mudah untuk dikendalikan.

KESIMPULAN

Simulasi perubahan temperatur bahan bakar pada reaktor homogen menggunakan program SCALE dengan bahan bakar Uranil Nitrat yang dilarutkan dengan H₂O menunjukkan kritikalitas reaktor turun dengan persamaan $k\text{-eff} = -0,0002 T + 1,0703$, reaktor memiliki koefisien reaktivitas negatif terhadap temperatur dan void (densitas H₂O). Fitur ini merupakan salah satu kelebihan dari reaktor homogen, sifat ini meningkatkan keselamatan reaktor homogen (AHR).

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Agus Waluyo, ST, MT dan Dwi Cahyadi, ST, M.Eng yang telah memfasilitasi penelitian ini menggunakan Program SCALE di Pusat Pengkajian Sistem dan Teknologi Pengawasan Instalasi dan Bahan Nuklir - BAPETEN.

DAFTAR PUSTAKA, ARIAL 10 BOLD

1. IAEA. "Homogeneous Aqueous Solution Nuclear Reactor for The Production of Mo-99 and Other Short Lived Radioisotopes". IAEA-TECDOC-1601, 2008.
2. SONG, XIAOMING, and NIU, WENHUA. "Optimization of 200 Kw Medical Isotope Production Reactor Design." Homogeneous Aqueous Solution Nuclear Reactor for The Production of Mo-99 and Other Short Lived Radioisotopes. IAEA-TECDOC-1601. 2008.
3. BARANAEV, Y.D., et al. "Medical Complex For Radioisotope Production." Homogeneous Aqueous Solution Nuclear Reactor for The Production of Mo-99 and Other Short Lived Radioisotopes. IAEA-TECDOC-1601, 2008.
4. PAVSHOOK, V.A. "Effective Method of 99Mo and 89Sr Production Using Liquid Fuel Reactor. Homogeneous Aqueous Solution Nuclear Reactor for The Production of Mo-99 and Other Short Lived Radioisotopes". IAEA-TECDOC-1601, 2008.
5. REYNOLDS, EVANS, Medical Isotope Production System. B&W Technical Service Group, 2007.
6. LI, MAOLIANG, et al. "The Progress Report Of Aqueous Homogeneous Reactor For Medical Isotope Production In China. Homogeneous Aqueous Solution Nuclear Reactor for The Production of Mo-99 and Other Short Lived Radioisotopes". IAEA-TECDOC-1601, 2008.
7. PONSARD, B. "The ⁹⁹Mo/^{99m}Tc Generator Shortage. Radioisotopes Project Manager: BR2 Reactor Luxembourg", Hell. J. Nucl. Med., 2011, 14(1), 49-55, 2011.
8. PP No 43 Tahun 2006 tentang Perijinan Reaktor Nuklir, BAPETEN, Jakarta, 2006

9. HUISMAN, M.V. "Medical Isotopes Production Reactor". Delft University of Technology, 2013
10. ROHMAN BUDI, "Koefisien Reaktivitas Temperatur Bahan Bakar Reaktor Kartini, Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology Vol. X, No. 2", Halaman 59-70 Jakarta, 2009.
11. J. R. LAMARSH, "Introduction to Nuclear Reactor Theory, 2nd ed.", Addison-Wesley, Reading, MA, 1983.
12. YUNZHAO LI, et al., "FMSR: A code system for in-core fuel management calculation of aqueous homogeneous solution reactor", Nucl. Eng. Des. 240:p.763, 2009.
13. ISNAENI ARIF, et al, "Analysis of Mo-99 Production Capacity in Uranyl Nitrate Aqueous Homogeneous Reactor using ORIGEN and MCNP", Atom Indonesia Vol. 40 No. 1, 2014
14. WALUYO AGUS, "Kajian tentang Peningkatan Kompetensi SDM melalui Pengembangan Kemampuan Program Komputer SCALE", BAPETEN, Jakarta, 2014.
15. HARMON, CHARLES D., ROBERT D. BUSCH, et all, "Criticality Calculations with MCNP: A Primer", The University of New Mexico, Albuquerque, 1994.

STUDI KETERSEDIAAN THORIUM UNTUK MENINGKATKAN KEAMANAN ENERGI NUKLIR

Abimanyu Bondan, Siti Alimah, Hadi Suntoko

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

ABSTRAK

STUDI KETERSEDIAAN THORIUM UNTUK MENINGKATKAN KEAMANAN ENERGI NUKLIR. Kajian ketersediaan thorium untuk meningkatkan penyediaan bahan bakar nuklir dilakukan. Saat ini sebagian besar reaktor nuklir di dunia telah menggunakan bahan bakar uranium. Penggunaan bahan bakar uranium secara terus menerus akan menyebabkan menurunnya sumberdaya uranium. Oleh karena itu, bahan bakar nuklir alternatif seperti thorium perlu dikembangkan. Thorium adalah bahan fertil (dapat biak), sehingga penggunaannya sebagai bahan bakar, thorium harus diubah menjadi bahan fisil terlebih dahulu, yakni bisa dicampur dengan bahan fisil seperti uranium (U-235) diperkaya, plutonium (Pu-239) atau U-233. Thorium jika menyerap neutron akan menjadi U-233 yang menghasilkan energi sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar nuklir. Tujuan studi ini adalah mengetahui ketersediaan thorium untuk meningkatkan penyediaan bahan bakar nuklir. Metodologi yang digunakan adalah kajian literatur dan analisis. Hasil studi menunjukkan bahwa sumberdaya spekulatif thorium di Indonesia tersebar di daerah sabuk granit timah sebesar 133.668 ton pada tahun 2016. Ketersediaan sumber daya thorium dunia terbesar adalah di negara India sebesar 846,000 ton. Kata kunci: thorium, bahan fertil, uranium, bahan bakar nuklir, keamanan.

ABSTRACT

AVAILABILITY STUDY OF THORIUM TO INCREASE NUCLEAR ENERGY SCURITY. Study of the availability of thorium to increase the supply of nuclear fuel elements have been done. Nuclear reactors today use uranium fuel. The use of uranium as a nuclear fuel continuously will cause the availability of uranium reserves as a source of fissile material decrease. Therefore, an alternative raw materials such as thorium needs to be developed. Thorium is a fertile material. Therefore for use as a fuel, thorium mixed with fissile material such as enriched uranium (U-235), plutonium (Pu-239) or U-233. In case of absorbing neutrons Thorium will be U-233 and produces energy that can be used as nuclear fuel. The aim of this study was to determine the availability of thorium to increase the supply's nuclear fuel. The methodology used is a literature review and analysis. The study shows that the speculative thorium resources in Indonesia spread in the Granite Belt region of 133 668 tonnes in 2016. The availability of the world's largest thorium resource is in India amount of 846,000 tons.

Keywords: thorium avibility, fertile material, uranium, nuclear fuel element.

PENDAHULUAN

Dewasa ini, teknologi reaktor nuklir yang sedang beroperasi di dunia sebagian besar menggunakan bahan bakar uranium. Penggunaan bahan bakar uranium secara terus menerus akan menyebabkan cadangan uranium semakin lama semakin menipis. Oleh karena itu, bahan bakar alternatif untuk meningkatkan penyediaan bahan bakar nuklir perlu dikembangkan, yaitu thorium. Penggunaan thorium sebagai bahan bakar, adalah dalam bentuk thorium oksida (berkisar 60-70%) yang dicampur dengan bahan fisil uranium (U-235) diperkaya, plutonium (Pu-239) atau U-233 yang diperoleh dari olah ulang bahan bakar thorium [1,2]. Karena thorium merupakan bahan dapat biak, yang apabila menyerap neutron akan dikonversi menjadi bahan fisil (bahan dapat belah). Proses perubahan ini dapat dijelaskan sebagai berikut: thorium jika menyerap neutron dan selama lebih kurang 28 hari akan menjadi U-233 yang sifatnya fisil sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar reaktor nuklir.

Beberapa tipe reaktor yang dapat menggunakan bahan bakar nuklir berbasis thorium adalah PWR, BWR, PHWR, FBR, HTGR dan MSR. Pada reaktor PWR dan BWR telah dikaji dan diuji coba model desain teras berbahan bakar thorium, diantaranya Indian Point I PWR (Amerika Serikat), Borax IV dan Elk River BWR (Amerika Serikat), dan reaktor air ringan

pembiak (*Light Water Breeder Reactor* - LWBR) Shippingport (Amerika Serikat). Reaktor berpendingin gas (HTGR) dengan menggunakan thorium sebagai bahan bakar juga telah dioperasikan, yaitu Dragon (Inggris), Peach Bottom (Amerika Serikat), AVR (Jerman), THTR (Jerman) dan Fort St. Vrain (Amerika Serikat) [3]. Reaktor temperatur tinggi generasi IV berbahan bakar thorium juga telah didesain, yaitu PBMR (Afrika Selatan), GTMHR (USA), reaktor lelehan garam (MSR) dan reaktor berbasis akselerator atau Accelerator Driven System (ADS). Perkembangan lain pemanfaatan thorium pada CANDU-6 (PHWR), adalah dalam tahap perhitungan desain. Thorium juga telah diteliti sebagai bahan bakar reaktor cepat dengan daya 100MWe pada Advanced Fast Reactor-100 (AFR-100).

Thorium ada dalam beberapa bentuk isotop, diantara yang tersedia di alam, lebih dari 99,99% thorium alam adalah thorium-232 (bahan yang akan diubah menjadi bahan bakar nuklir), sisanya adalah thorium-230 dan thorium-228 [4]. Thorium alam ditemukan dalam mineral monasit, thorit (thorium silikat), orangit dan thorianit (mineral radioaktif yang tersusun dari thorium oksida dan uranium) [5]. Diantara berbagai mineral tersebut, monasit memiliki kandungan thorium cukup tinggi, yaitu dapat mencapai sekitar 12%, namun rata-rata mengandung sekitar 6-7%[5]. Pemanfaatan thorium sebagai bahan bakar nuklir akan menghasilkan nilai tambah pasir monasit yang sangat tinggi. Untuk mendapatkan sejumlah energi yang sama, dibutuhkan thorium yang lebih sedikit, sebagai contoh untuk mendapatkan listrik sebesar 1 giga watt dibutuhkan 4 juta ton batubara, sementara dengan uranium membutuhkan 200 juta ton, dan dengan menggunakan thorium hanya membutuhkan 100 ton.

Saat ini, BATAN berencana membangun dan mengoperasikan Reaktor Daya Eksperimental (RDE) untuk mendukung kebijakan pemerintah di bidang energi dan ketenagalistrikan. RDE direncanakan untuk mendemonstrasikan teknologi pembangkitan listrik dan aplikasi panas proses untuk industri, sehingga RDE akan bertipe HTGR. Reaktor HTGR merupakan salah satu PLTN yang dapat menggunakan bahan bakar berbasis thorium, meskipun masih perlu dilakukan penelitian dan pengembangan terlebih dahulu.

Untuk mengetahui agar ketersediaan bahan bakar nuklir berbasis thorium tidak menemui kendala di kemudian hari, maka studi ketersediaan thorium untuk produksi bahan bakar reaktor perlu dilakukan. Oleh karena itu tujuan penulisan makalah ini adalah mengetahui ketersediaan thorium untuk meningkatkan penyediaan bahan bakar nuklir. Metode yang digunakan dalam penyusunan makalah ini adalah kajian literatur dan analisis. Hasil studi diharap dapat menjadi masukan penyediaan bahan bakar nuklir, guna menyongsong pembangunan RDE di Indonesia.

TEORI

Thorium ditemukan dalam jumlah kecil di beberapa batuan dan tanah. Beberapa kelebihan thorium sebagai bahan bakar dibanding uranium adalah thorium tidak perlu pengkayaan, limbah aktivitas tinggi dan berumur panjang lebih rendah dibandingkan bahan bakar uranium, keterdapatannya thorium lebih banyak 3-4 kali dibanding endapan uranium. Thorium terdapat dalam mineral thorianit, ytrokrisit, zirkelit, zirkon, thorit, thalenit, thortveit, gadolinit, alanit, schelkinit, xenotim dan monasit [6]. Sifat-sifat kimia dari thorium dan logam tanah jarang (Rare Earth Element) pada dasarnya sama, sehingga pemisahannya sulit dan memakan waktu. Konsentrat tanah jarang harus diproses secara kimia untuk memisahkan dari komponen lain dari mineral pembentuk dan pengotor.

Karakteristik Endapan Thorium

Deposit Thorium biasanya berasosiasi dengan unsur-unsur tanah jarang lainnya. Seperti U,Ce,Y,Li dan unsur tanah jarang lainnya. Ada beberapa model keterdapatannya deposit U-Th, diantaranya yang berhubungan dengan proses magmatisme dan model deposit yang berhubungan dengan sedimentasi. Tipe deposit yang berhubungan dengan proses magmatisme diantaranya adalah IOCG (*Iron Oxide Copper Gold*), *Intrusive – pegmatite hosted* dan *Volcanic – Caldera hosted*, batuan tersebut dapat menjadi batuan induk atau batuan sumber mineral Thorium. Batuan induk yang mengandung thorium kemudian tererosi dan tersaring secara alamiah, endapan thorium akan terakumulasi pada endapan-endapan sungai dan pantai. Tipe deposit Uranium-Thorium sedimen diantaranya *Sedimentary Phosphorite* (disebut sebagai tipe *Phosphorite*), Tipe *Black Shale*, dan tipe *Sandstone Host*. Deposit ini kebanyakan berasal dari cekungan-cekungan sedimen tua [7].

Di Indonesia deposit Thorium pada umumnya ditemukan pada asosiasi granit. sehingga mayoritas endapan thorium ditemukan pada jalur timah. Cebakan monasit primer

terbentuk melalui beberapa fase, yaitu pertama fase pneumatolitik, selanjutnya fase kontak pneumatolitik–hidrotermal tinggi dan fase terakhir adalah hipotermal–mesotermal. Fase yang terakhir ini merupakan fase terpenting dalam penambangan karena mempunyai arti ekonomis dimana larutan yang mengandung timah dan monasit dengan komponen utama silika (SiO_2) mengisi perangkap pada jalur sesar, kekar, dan zona lemah lainnya. Sedangkan untuk cebakan monasit sekunder terbentuk dari cebakan monasit primer yang mengalami pelapukan, tererosi, tertransportasi, dan terendapkan sebagai endapan koluvial, kipas aluvial, aluvial sungai, maupun aluvial lepas pantai. Endapan monasit primer pada umumnya terdapat pada batuan granit, sedangkan endapan monasit sekunder terdapat pada sungai-sungai tua dan dasar lembah baik yang terdapat di darat maupun di laut. Granit merupakan batuan sumber dan endapan aluvial merupakan tempat akumulasi monasit sekunder [5].

Cebakan endapan Thorium membentang sepanjang Malaysia, Pulau Bangka, Belitung, dan Kalimantan Barat. Mineralisasi thorium dipengaruhi oleh proses geologi sebagai berikut:

1. Alterasi hidrotermal, yaitu perubahan mineralogi dan komposisi kimia yang terjadi ketika batuan berinteraksi dengan larutan hidrotermal [8]. Sehingga mineralisasi granit berubah dan muncul kandungan thorium.
2. Proses Pelarutan dan pengendapan thorium akibat air meteorik
3. Proses Supergene, yaitu anomali kandungan thorium pada tanah laterit sedangkan pada batuan sekitarnya tidak terlalu tinggi.

Ketersediaan Thorium

Kelimpahan thorium dapat mencapai 3-4 kali lebih banyak dibanding uranium alam dan belum tereksplorasi secara komersial sehingga dapat menjaga keberlangsungan energi nuklir. Untuk melihat ketersediaan bahan baku thorium di pasaran dunia maka perlu dilihat berbagai produsen/pemasok thorium di dunia. Tabel 1 memperlihatkan perkiraan sumber thorium di dunia [9].

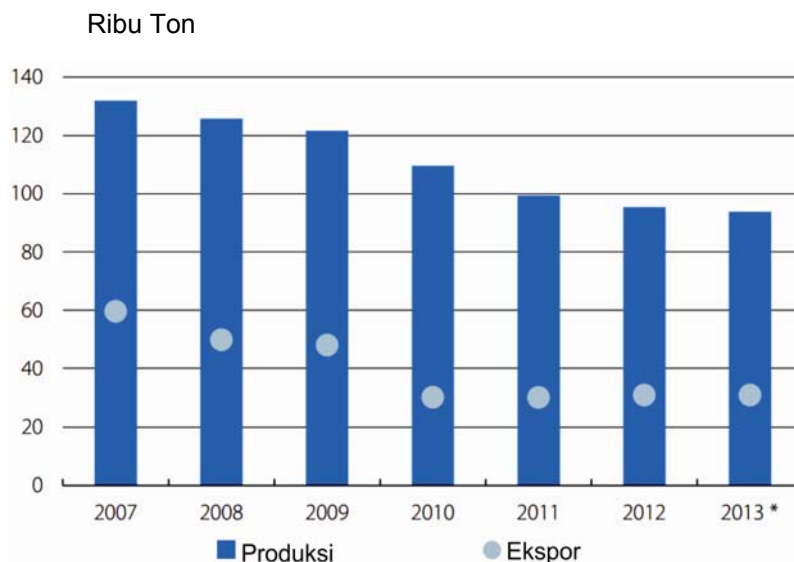
Tabel 1. Perkiraan sumber thorium di dunia [9]

No	Nama Negara	Jumlah Thorium (ton)
1	India	846,000
2	Brasil	632,000
3	Australia	595,000
4	Amerika Serikat	595,000
5	Mesir	380,000
6	Turki	374,000
7	Venezuela	300,000
8	Kanada	172,000
9.	Rusia	155,000
10.	Afrika	148,000
11.	China Selatan	100,000
12.	Norway	87,000
13.	Greenland	86,000
14.	Finland	60,000
15.	Sweden	50,000
16.	Kazakhstan	50,000
17.	Negara lain	1,725,000
Total		6,355,000

Monasit merupakan mineral yang mengandung unsur-unsur tanah jarang (REE) yang mempunyai nilai ekonomis tinggi. Thorium, uranium, scandium, yttrium dan 15 unsur-unsur yang termasuk dalam lantanida biasanya terdapat dalam mineral monasit. Monasit dapat ditemukan sebagai endapan plaser pantai dan sungai. Monasit sebagai limbah hasil penambangan timah di Pulau Bangka menghasilkan unsur uranium, thorium, RE dan fosfat. Monasit memiliki kandungan thorium berbeda-beda, tergantung dari proses terbentuknya, batuan sumber penyusun endapan monasit, dan proses yang bekerja selama endapan monasit tersebut terbentuk.

Secara umum terdapat 3 (tiga) jenis monasit dengan perbedaan komposisi, yang tidak selalu mengandung unsur radioaktif seperti thorium, yaitu: monasit-(Ce) dengan formula $(\text{Ce,La,Nd,Th,Y})\text{PO}_4$, monasit-(La) dengan formula $(\text{La,Ce, Nd})\text{PO}_4$, dan monasit-(Nd) dengan formula $(\text{Nd,La,Ce})\text{PO}_4$

Untuk saat ini, ekstraksi unsur tanah jarang di dunia hanya ada di satu negara saja, yaitu Tiongkok dengan lebih dari 90% produksi dunia. Namun demikian Tiongkok juga sebagai konsumen terbesar unsur-unsur tanah jarang tersebut, terhitung 70% dari total produksi dunia [10]. Hasil produksi unsur-unsur tanah jarang dan kuota ekspor dari Tiongkok dapat dilihat di Gambar 1.



Gambar 1. Produksi dan kuota ekspor Rare Earth Element (REE) Tiongkok [10]

Monasit selain diperoleh dari batuan, juga diperoleh dari produk samping tambang timah. Di Indonesia terutama diperoleh dari hasil tailing penambangan timah. Dikarenakan Indonesia berada pada jalur Tin Belt, maka cadangan bijih timah beserta material ikutannya termasuk Monasit juga melimpah. Berdasarkan dari data Pusat Sumber Daya Geologi dalam neraca mineral logam tahun 2013, Indonesia mempunyai sumberdaya hipotetik monasit sebesar 1,5 milyar ton [11]. Dengan potensi sebesar itu maka pengolahan monasit di Indonesia menjadi sangat menarik terutama untuk menghasilkan thorium sehingga akan meningkatkan penyediaan bahan bakar nuklir.

Untuk memperoleh thorium dari monasit dilakukan proses pelindihan, pemisahan dan pengendapan. Selanjutnya dilakukan kalsinasi pada temperatur 1100°C untuk memperoleh serbuk thorium oksida. Sedangkan untuk meningkatkan serbuk thorium oksida menjadi grade nuklir dilakukan lagi proses ekstraksi, stripping, pengendapan dan kalsinasi. Selanjutnya dibentuk menjadi pellet dan bahan bakar, yang kemudian dirakit menjadi bahan bakar. Penggunaan bahan bakar nuklir berbasis thorium oksida umumnya berkisar antara 60-70% yang digunakan sebagai campuran dengan bahan bakar uranium oksida (UO₂) di dalam bahan bakar nuklir reaktor eksperimental maupun reaktor daya[1].

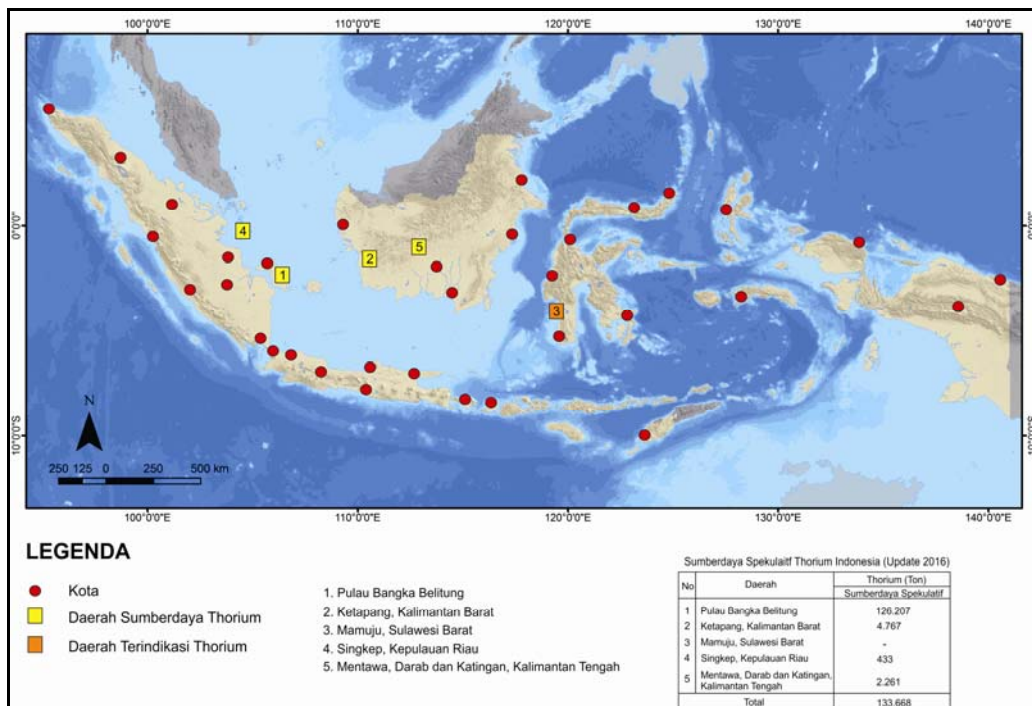
PEMBAHASAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang mempunyai sumber daya alam thorium, karena seperti diketahui Indonesia dilewati oleh jalur sabuk granit. Granit di Indonesia berasosiasi dengan timah yang dapat ditemukan di Jalur Timah, Diantaranya Bangka-Belitung, Kalimantan Barat (Karimata, Ketapang, Rirang, Tanah Merah). Selain itu juga penelitian sumberdaya thorium dilakukan di daerah Mamuju, Sulawesi Barat, Daerah Mamuju merupakan daerah eksplorasi baru yang cukup menarik, karena memiliki kadar Th dan U yang cukup tinggi. Kadar Th dan U yang tinggi dalam batuan terdapat di sebaran batuan vulkanik Adang [12].

Sumber daya thorium di Pulau Bangka bertipe cebakan plaser atau cebakan yang dipengaruhi oleh proses endapan sungai. Keberadaan thorium di Pulau Bangka terutama hanya terdapat dalam mineral monasit, yang dikategorikan sebagai cebakan (deposit) monasit yang terendapkan dan terkonsentrasi sebagai cebakan plaser baik sebagai plaser sungai maupun plaser pantai, seperti cebakan plaser monasit yang terdapat di Australia dan India [5]. Selain Bangka Belitung potensi sumberdaya thorium juga terdapat di pulau

Singkep [13,14] yang memiliki setting geologi yang sama dengan Bangka Belitung. Sama halnya dengan Pulau Bangka, keberadaan sumberdaya thorium yang ada di Kalimantan Barat juga berasal dari endapan plaser. Sebaran endapan thorium terakumulasi pada endapan sungai, rawa, dan pantai. mineral radioaktif dalam mineral berat dikenali dari data hasil analisis butir. Keberadaan thorium di daerah Kepulauan Riau sampai Kalimantan Barat berkaitan dengan sebaran batuan granitik dan endapan plaser hasil lapukannya. Batuan granitik berumur Trias tersebut merupakan bagian dari “sabuk granit timah” yang membentang dari Indochina – Semenanjung Thailand – Malaysia – Kepulauan Riau – Bangka Belitung – Kalimantan Barat dan kaya dengan endapan timah [12]

Proses pembentukan dan akumulasi thorium di daerah Mamuju berbeda dengan pembentukan di Bangka Belitung dan Ketapang Kalimantan Barat. Proses akumulasi thorium di Kabupaten Mamuju lebih terkait dengan proses vulkanisme batuan alkalin basal, alterasi hidrothermal, pengkayaan supergen dan lateritisasi. Pada beberapa sampel batuan dari batuan vulkanik Adang dilakukan analisis XRF. Kadar thorium yang terdapat di dalam batuan mencapai 1100 ppm pada beberapa sampel batuan yang diambil [15]. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sampai dengan tahun 2016 sumberdaya spekulatif thorium di Indonesia adalah 133.668 Ton. Dengan jumlah sumberdaya di Pulau Bangka Belitung paling besar dengan 126.207 ton, jumlah sumberdaya spekulatif di Ketapang sebesar 4.707 ton, Singkep Kepulauan Riau sebesar 433 ton, dan di Kabupeten Mentawa, Dereb dan Katingan Provinsi Kalimantan Barat sebesar 2.261 ton [16]. Keterdapatn sumberdaya spekulatif thorium di Indonesia sampai dengan tahun 2016 dapat dilihat pada gambar 2.

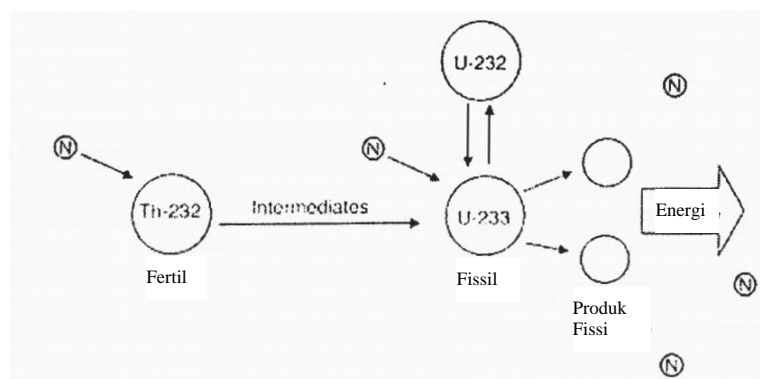


Gambar 2. Peta sumberdaya spekulatif thorium di Indonesia (update 2016) [16]

Proses ekstraksi thorium dari alam telah diupayakan. dalam skala laboratorium. proses ekstraksi dengan metode pengendapan telah dikuasai. Di Indonesia telah diperoleh hasil kajian untuk mendapatkan ThO₂ melalui proses penggerusan, dekomposisi, filtrasi sampai dengan pengendapan untuk mendapatkan ThO₂ dari monasit [17,18]. Dan hasil dari uji laboratorium pengolahan monasit menjadi logam tanah jarang (RE) oksida telah dikembangkan dengan hasil berupa RE₂O₃ sebanyak 45kg dengan kemurnian 93,59% dan Th 1143 ppm [19]. Dengan dikuasainya teknologi produksi thorium dari pengolahan monasit maka prospek produksi thorium akan meningkat.

Pada Tabel 1 terlihat urutan sumber daya thorium terbesar dari India, Brasil, Australia, Amerika Serikat, Mesir, Turki dan Venezuela. Seperti skema pada gambar 3, apabila

thorium menyerap neutron maka dihasilkan U-233 yang bersifat fisil [1]. Penggunaan bahan bakar thorium bertujuan untuk mengurangi penggunaan bahan bakar uranium oksida dan sebagai bahan bakar alternatif sehingga keamanan dan kemandirian energi nuklir dapat terjamin.



Gambar 3. Proses peluruhan Th-232 menjadi U-233 setelah menyerap neutron [1]

Beberapa reaktor daya dan reaktor eksperimen yang telah menggunakan thorium sebagai bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 2. Isotop fertil Th-232 bersifat seperti U-238, yang bila menyerap neutron akan menjadi Th-233, kemudian meluruh menjadi Pa-233 dengan memancarkan β , dan selanjutnya akan meluruh menjadi isotop fisil U-233 [20].



Tabel 2. Penggunaan Thorium Pada Reaktor Daya Dan Ekperimen [3]

Nama dan Negara	Type	Power	Bahan Bakar	Masa Operasi
AVR, Jerman	HTGR Experimen (Pebble bed reactor)	15 MW(e)	Driver Th+235U, partikel bahan bakar berlapis oksida dan dikarbida	1967 – 1988
THTR, Jerman	HTGR Reaktor Daya (Pebble Type)	300 MW(e)	Driver Th+235U, partikel bahan bakar berlapis oksida dan dikarbida	1985 - 1989
Lingen, Jerman	BWR Irradiasi-testing	60 MW(e)	Pelet uji bahan bakar Th,Pu)O ₂	Ditutup pada 1973
Dragon, Inggris OECD-Euratom, Swedia, Norwegia & Swiss	HTGR Experimental (Pin-in-Block Design)	20 MWt	Driver Th+235U, partikel bahan bakar berlapis oksida dan dikarbida	1966 – 1973
Peach Bottom, USA	HTGR Experimental (Blok Prismatic)	40 MW(e)	Driver Th+235U, partikel bahan bakar berlapis oksida dan dikarbida	1966 – 1972
Fort St Vrain, USA	HTGR Power (Prismatic Block)	330 MW(e)	Driver Th+235U, partikel bahan bakar berlapis oksida dan dikarbida	1976 - 1989

MSRE ORNL, USA	MSBR	7.5 MWt	233U Molten Fluorides	1964 - 1969
Shippingport & Indian Point, USA	WBR PWR (Pin Assemblies)	100 MW(e) 285 MW(e)	Driver Th+235U Pelet oksida	1977 - 1982 1962 - 1980
Borax IV & Elk River Reactors, USA	BWRs (Pin Assemblies)	2.4 MW(e) 24 MW(e)	Driver Th+235U Pelet oksida	1963 - 1968
SUSPOP/KSTR KEMA, Netherlands	Aqueous Homogenous Suspension (Pin Assemblies)	1 MWt	Th+ HEU Pelet oksida	1974 - 1977
KAMINI, CIRUS, & DHRUVA, India	MTR Thermal	30 kWt 40 MWt 100 MWt	Al-233U Driver Fuel 'J' rod of Th & ThO ₂ 'J' rod of ThO ₂	Operasi
KAPS 1&2, KGS 1&2, RAPS 2,3&4, India	PHWR (Pin Assemblies)	220 MW(e)	Pelet ThO ₂	Dilanjutkan pada PHWR baru
FBTR, India	LMFBR (Pin Assemblies)	40 MWt	Selimut ThO ₂	Operasi

KESIMPULAN

Sumberdaya spekulatif thorium di Indonesia saat ini terdapat di sepanjang sabuk granit timah yang membentang dari Kepulauan Riau, Bangka Belitung sampai Kalimantan Barat serta potensi kandungan thorium di daerah Mamuju Sulawesi Barat diperkirakan sejumlah 133.668 ton. Ketersediaan sumber daya thorium dunia terbesar terdapat di negara India. Dengan adanya sumber daya thorium di Indonesia dan dunia, maka ketersediaan ini dapat meningkatkan penyediaan bahan bakar nuklir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan pada Kepala Pusat PKSEN Bapak Yarianto Sugeng Budi Susilo dan Kepala Bidang Kajian Data Tapak Bapak Sriyana. yang telah memberikan arahan dan masukan dalam penulisan. Serta Kepala Bidang Eksplorasi Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir, Bapak Heri Syaeful yang telah mendukung dalam penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Purwadi Kasino Putro, dkk., "Pembuatan Serbuk Thorium Oksida dari Pasir Monasit sebagai Bahan Bakar Nuklir", Laporan Teknis Program Intensif Peneliti dan Perekayasa, Ristek 2010.
2. Palanki Balakrishna, "ThO₂ and (U,Th)O₂ Processing- A Review", natural science Vol. 4, November 2012.
3. IAEA, "Thorium Fuel Cycle—Potential Benefits and Challenges", IAEA-TECDOC-1450, 2005
4. "Chemical and Physical information", <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp147-c3.pdf> diakses Februari 2013.
5. Ngadenin, H. Syaeful, K. S. Widana, and M. Nurdin, "Potensi Thorium dan Uranium di Kabupaten Bangka Barat", Eksplorium, vol. 35, no. 2, pp. 69–84, 2014
6. Erlan Dewita, "Analisis Potensi Thorium Sebagai Bahan Bakar Nuklir Alternatif PLTN", Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, Vol 14. No. 1, Juni 2012
7. Saleem S Drera, Klara I Bjork, Julian F Kelly, "Thorium Fuef Production And Results From Begining Of Life Irradiation", Progress in Nuclear Energy, 2013.
8. Browne P.R.L., 1991, "Hydrothermal Alteration and Geothermal Systems", Geology Lecture Course, University of Auckland, New Zealand.

9. World Nuclear Association, <http://www.world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Thorium/>, diakses Februari 2017.
10. Caixa Bank Research, "Commodities a Source of Growth", Monthly Report Economic and Financial Market Outlook, 2014
11. Pusat Sumber Daya Geologi ESDM, "Neraca Sumber Daya Mineral", 2013.
12. Tjokrokardono Soeprapto, "Tinjauan Sumberdaya Monasit di Indonesia Sebagai Litbang/Industri Superkonduktor", Seminar IPTEK Nuklir dan Pengelolaan Sumberdaya Tambang, Vol 11, Mei 2002
13. Bambang Soetopo, dkk, "Laporan Eksplorasi Thorium di Jalur Timah, Tahapan Survei Tinjau", PTBGN-BATAN, 2015
14. Ngadenin dan Adhika Junara K, "Identifikasi Keterdapatan Mineral Radioaktif Pada Granit Muncung Sebagai Tahap Awal Untuk Penilaian Prospek uranium dan Thorium di Pulau Siangkep", Eksplorium, Vol 37 No 2, Hal 63-72, 2016
15. I Gde Sukadana, dkk, "Tectonic Setting of Adang Volcanic Complex in Mamuju Region, West Sulawesi Province", Eksplorium, Vol 36 No.1 Hal 31-44, Jakarta, 2015
16. PTBGN, "Sumberdaya Mineral Radioaktif di Indonesia", Laporan Teknis, 2016, tidak dipublikasi.
17. Hafni Lissa N, dkk, "Kebutuhan Desain Awal Pada pilot Plant Pengolahan Monasit Menjadi Thorium Oksida (ThO₂)", Eksplorium, Vol 35, No 2 Hal 131-141, Jakarta, 2014
18. Kurnia Trinopiawan dan Sumiarti, "Pemisahan Thorium dari uranium pada Monasit dengan Metode Pengendapan", Eksplorium Vol 33 No 1 Hal 55-62, 2012.
19. Hafni Lissa N, dkk, "Kebutuhan Desain Awal Pada pilot Plant Pengolahan Monasit Menjadi Thorium Oksida (ThO₂)", Eksplorium, Vol 35, No 2 Hal 131-141, Jakarta, 2014
20. Liu Chanyun, "Design and Neutronic of Thorium Fuel in pressurized Water Reactors", KTH Engineering Science, Sweden, 2008

DISKUSI/TANYA JAWAB:

1. PERTANYAAN: Sufiana Solihat (PKSEN-BATAN)

- Apa yang dimaksud dengan "cebakan"?
- Diantara lokasi-lokasi sumberdaya Thorium yang telah diketahui berdasarkan hasil kajian, jika dilakukan eksploitasi Th di Indonesia, kira-kira di lokasi mana yang pertama kali akan dieksploitasi dan apa pertimbangannya?

JAWABAN: Abimanyu Bondan (PKSEN - BATAN)

- Cebakan adalah kumpulan dari suatu mineral ekonomis dalam tanah atau batuan, yang terkumpul dalam suatu wadah lelehan proses-proses tertentu.
- Lokasi yang paling mungkin untuk dikembangkan adalah Bangka Belitung, dikarenakan endapan Thorium di Pulau Bangka Belitung terkumpul dalam bentuk limbah dari pertambangan timah berupa 'tailing', sehingga pemisahannya dari mineral pengotor akan lebih mudah jika dibandingkan dengan yang masih berada di dalam batuan sumber. Selain itu infrastruktur Pulau Bangka untuk pengolahan Th dari monasit dirasa lebih siap daripada lokasi lainnya, yaitu adanya Pilot Plant pengolahan monasit yang sudah ada di PT Timah kerjasama dengan BATAN.

2. PERTANYAAN: Denissa Beauty Syahna (PKSEN-BATAN)

- Diantara Kepulauan Riau, Bangka Belitung sampai Kalimantan Barat dan Mamuju dimana yang paling banyak sumberdaya Thorium nya?

JAWABAN: Abimanyu Bondan (PKSEN - BATAN)

- Diantara semua lokasi penelitian tentang keterdapatan sumberdaya Thorium, sumberdaya di Pulau Bangka Belitung paling besar dengan 126.207 ton, namun perlu diingat bahwa angka ini masih sumberdaya spekulatif tahun 2016, tidak menutup kemungkinan ke depannya daerah lain menjadi lebih besar dari Pulau Bangka Belitung.

KAJIAN SISTEM MANAJEMEN DOSIS PADA DAUR ULANG ZAT RADIOAKTIF TERBUNGKUS CESIUM-137 YANG SUDAH TIDAK DIGUNAKAN

Suhaedi Muhammad¹, Susyati², Rr.Djarwanti, RPS³

^{1,2}Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Kawasan Nuklir Pasar Jumát, Jakarta 12440

³Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka, Kawasan Nuklir Serpong, Tangsel 15310

email: suhaedi.muhammad62@gmail.com

ABSTRAK

KAJIAN SISTEM MANAJEMEN DOSIS PADA DAUR ULANG ZAT RADIOAKTIF TERBUNGKUS CESIUM-137 YANG SUDAH TIDAK DIGUNAKAN. Trend kebutuhan zat radioaktif terbungkus Cesium-137 untuk operasi *well logging* penambangan minyak dan batu bara diketahui meningkat signifikan dari tahun ke tahun. Selama ini, pemenuhan kebutuhan tersebut adalah melalui impor produk dengan harga yang relatif mahal. Terbitnya Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif, telah membuka peluang bagi Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) untuk melakukan daur ulang zat radioaktif terbungkus yang sudah tidak digunakan, yang berasal dari penghasil limbah. Kegiatan daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pasar akan zat radioaktif tersebut dengan harga wajar. Untuk melindungi dan menjamin keselamatan pekerja radiasi pelaksana daur ulang zat radioaktif tersebut dari paparan radiasi berlebih, pihak pemegang izin daur ulang (PI) berkewajiban memenuhi persyaratan proteksi dan keselamatan radiasi yang meliputi justifikasi, limitasi dosis serta optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi. Tujuan kajian ini adalah memberi masukan kepada pihak PI bahwa salah satu cara yang dapat dilakukan oleh pihak PI dalam memenuhi kewajiban menjaga besarnya dosis yang diterima oleh pekerja radiasi pelaksana daur ulang agar tetap dibawah nilai batas dosis (NBD) adalah dengan menerapkan sistem manajemen penerimaan dosis atau sistem manajemen dosis. Metode yang dapat diterapkan oleh pihak PI adalah dengan membatasi dosis yang diterima oleh pekerja radiasi yang bertugas untuk kurun waktu 1(satu) minggu, tidak boleh lebih besar 75% dari NPD mingguan. Hasil penerapan sistem manajemen dosis adalah pihak PI dapat segera mengetahui jika terdapat pekerja radiasi yang menerima dosis melebihi NPD tetapi masih dibawah NBD atau yang menerima dosis melebihi NBD. Dengan mengetahui hal tersebut, tindakan antisipatif dan/atau korektif yang diperlukan dapat dilakukan oleh pihak PI secara lebih dini.

Kata kunci: sistem manajemen dosis, zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan, daur ulang

ABSTRACT

ASSESSMENT OF DOSE MANAGEMENT SYSTEM ON RECYCLING OF UNUSED SEALED RADIOACTIVE MATERIAL CESIUM-137. Trend needs of sealed radioactive material Cesium-137 for well logging operations of oil and coal mining known significantly increasing from year to year. During this time, the fulfillment of those needs are through the import of products at a relatively high price. The issuance of Government Regulation No. 61 Year 2013 on Radioactive Waste Management has opened up opportunities for The National Nuclear Energy Agency (BATAN) to carry out the recycling of unused sealed radioactive material derived from waste producers. The recycling activity of unused sealed radioactive material Cs-137 is expected to meet the market demand for such radioactive material at a fair price. In order to protect and ensure the safety of radiation workers involved in the recycling of such radioactive material from excessive radiation exposure, the license holder of recycling (PI) must meet the protection and radiation safety requirements which includes justification, dose limitation and optimization of radiation protection and safety. The purpose of this study is to provide input to the IP that one of the ways in which the PI may be able to perform its obligation to maintain the dose received by radiation workers involved in recycling remains below the dose limit value (NBD) is to apply dose-acceptance management system or dose management system. The result of applying the dosage management system is that the PI can immediately know if there are radiation workers receiving doses exceeding NPD but still under NBD or those receiving doses exceeding NBD. By knowing this, necessary anticipatory and/or corrective action may be undertaken by the PI side earlier.

Keywords: dose management system, unused sealed material Cs-137, the recycling

PENDAHULUAN

Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif menyebutkan bahwa zat radioaktif terbungkus yang sudah tidak digunakan yang berasal dari penghasil limbah, dapat/boleh didaur ulang oleh pihak Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) setelah sebelumnya dilakukan kajian keselamatan yang sesuai dengan standar, pedoman, persyaratan dan/atau prosedur yang ditetapkan oleh Kepala BATAN. Salah satu zat radioaktif terbungkus yang sudah tidak digunakan yang dapat didaur ulang adalah Cesium-137, yang secara rutin banyak digunakan pada penambangan minyak dan batu bara. Trend kebutuhan zat radioaktif terbungkus Cesium-137 untuk operasi *well logging* penambangan minyak dan batu bara diketahui meningkat signifikan dari tahun ke tahun. Selama ini, pemenuhan kebutuhan tersebut adalah melalui impor produk dengan harga yang relatif mahal. Kegiatan daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 diharapkan dapat memenuhi kebutuhan pasar akan zat radioaktif tersebut dengan harga wajar. Untuk melakukan daur ulang zat radioaktif tersebut, terlebih dahulu harus dilakukan kajian keselamatan terhadap bungkus / kemasan zat radioaktif demi menjamin keselamatan pelaksanaan daur ulang.

Untuk melindungi dan menjamin keselamatan pekerja radiasi pelaksana daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan, sesuai dengan Pasal 21 Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radioaktif dan Pasal 10 Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir, pihak pemegang izin daur ulang (PI) berkewajiban memenuhi persyaratan proteksi dan keselamatan radiasi yang meliputi justifikasi, limitasi dosis dan optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi [1,2].

Salah satu cara yang dapat dilakukan oleh pihak PI dalam memenuhi kewajiban menerapkan prinsip limitasi dosis serta optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi dengan menjaga besarnya dosis yang diterima oleh pekerja radiasi pelaksana daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 agar tetap dibawah nilai batas dosis (NBD) adalah dengan menerapkan sistem manajemen penerimaan dosis atau sistem manajemen dosis.

Penerapan sistem manajemen dosis tersebut dimaksudkan agar dosis yang diterima oleh pekerja radiasi pelaksana daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan, serendah mungkin yang dapat dicapai, dengan mempertimbangkan faktor sosial dan ekonomi, sebagaimana tercantum pada Pasal 34 Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007.

Dengan menerapkan sistem manajemen dosis, pihak PI dapat memperkirakan besarnya dosis yang diterima oleh pekerja radiasi pelaksana daur ulang sumber radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan dan dapat mengetahui secara lebih dini adanya penerimaan dosis berlebih (penerimaan dosis yang melebihi Nilai Batas Dosis (NBD) sehingga dapat segera mengantisipasi keadaan tersebut dengan melakukan tindakan antisipatif dan/atau korektif yang diperlukan.

POKOK BAHASAN

Pokok bahasan pada karya tulis berjudul kajian sistem manajemen dosis pada daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan, meliputi [3] :

1. Penetapan sumber potensi penerimaan dosis.
2. Kebijakan penerapan nilai batas dosis (NBD).
3. Kebijakan penerapan nilai pembatas dosis (NPD).
4. Manajemen penerimaan dosis.
5. Perkiraan besarnya dosis.
6. Evaluasi penerimaan dosis.
7. Tindak lanjut penerimaan dosis.

METODOLOGI

Pustaka acuan yang digunakan pada pembuatan karya tulis berjudul kajian sistem manajemen dosis pada daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan adalah dokumen sebagai berikut :

1. Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan Radiasi Pengion Dan Keamanan Sumber Radioaktif,
2. Peraturan Pemerintah Nomor 61 Tahun 2013 tentang Pengelolaan Limbah Radioaktif,

3. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir dan
4. Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 tahun 2016 tentang Pengolahan Limbah Radioaktif Tingkat Rendah Dan Tingkat Sedang [1,2,3,4].

Metode yang digunakan adalah :

1. Kajian berbasis pada pasal-pasal terkait yang tercantum pada dokumen produk hukum dari institusi pemerintah RI dan badan pengawas.
2. Kajian berbasis pengalaman melaksanakan kegiatan daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan.

Diketahui terdapat beberapa tahapan kegiatan daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan, yaitu :

1. Pengeluaran *outer capsule* dari pembungkus luar / kontener transport.
2. Pengeluaran *inner capsule* yang berisi zat radioaktif Cs-137 dari dalam *outer capsule*.
3. Pengeluaran zat radioaktif Cs-137 dari dalam *inner capsule*.
4. Pemasukan zat radioaktif Cs-137 ke dalam *inner capsule* yang baru.
5. Pengukuran aktivitas dan standarisasi zat radioaktif terbungkus Cs-137 hasil daur ulang.

Terhadap tahapan kegiatan tersebut diatas, pihak PI dapat melakukan penetapan atas potensinya pada penerimaan dosis pekerja radiasi pelaksana daur ulang. Dan selanjutnya, dari data hasil pemantauan / pengukuran penerimaan dosis pekerja radiasi pelaksana daur ulang, pihak PI dapat menerapkan kebijakan pembatasan penerimaan dosis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumber Potensi Penerimaan Dosis

Terhadap tahapan kegiatan daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan dilakukan penetapan sebagai sumber potensi penerimaan dosis pekerja radiasi pelaksana daur ulang. Rincian tahapan kegiatan daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan adalah sebagai berikut :

Pengeluaran *outer capsule* dari pembungkus luar

Kegiatan pengeluaran *outer capsule* berukuran diameter 3 cm dan tinggi 10 cm dari pembungkus luar / kontener transport merupakan salah satu tahapan kegiatan daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan yang memberikan kontribusi penerimaan dosis yang signifikan.

Sumber potensi penerimaan dosis pada tahapan kegiatan ini berasal dari laju paparan radiasi yang terjadi ketika tutup kontener transport dibuka sampai dengan *outer capsule* keluar dari kontener transport.

Pengeluaran *inner capsule* yang berisi zat radioaktif Cs-137 dari dalam *outer capsule*

Outer capsule yang di dalamnya terdapat *inner capsule* berukuran diameter 1,5 cm dan tinggi 6 cm umumnya ditutup dengan sistem ulir. Untuk mengeluarkan *inner capsule* yang berisi sumber radioaktif Cs-137 dapat dilakukan dengan membuka tutup *outer capsule*. Kegiatan ini dilakukan di dalam *fume hood* atau *hot cell*, menggunakan alat ragum dan sistem *master slave manipulator*.

Sumber potensi penerimaan dosis pada tahapan kegiatan ini berasal dari laju paparan radiasi yang terjadi ketika tutup *outer capsule* dibuka sampai dengan *inner capsule* keluar dari *outer capsule*.

Pengeluaran zat radioaktif Cs-137 dari dalam *inner capsule*

Zat radioaktif Cs-137 yang terdapat di dalam *inner capsule* umumnya berbentuk butiran granul berukuran diameter 0-2 mm atau potongan kawat berukuran diameter 1 mm dan tinggi 2 mm. Zat radioaktif Cs-137 dikeluarkan dari dalam *inner capsule* kemudian ditempatkan pada piringan gelas berukuran diameter 10 cm. Tiap-tiap butiran granul atau potongan kawat diukur aktivitasnya menggunakan *dose calibrator*. Kegiatan ini dilakukan di dalam *fume hood* atau *hot cell*.

Sumber potensi penerimaan dosis pada tahapan kegiatan ini berasal dari laju paparan radiasi yang terjadi ketika zat radioaktif Cs-137 dikeluarkan dari dalam *inner capsule* kemudian ditempatkan pada piring gelas kecil dan ketika dilakukan pengukuran aktivitasnya menggunakan *dose calibrator* (ketika dimasukkan dan dikeluarkan dari dalam *dose calibrator*).

Pemasukan zat radioaktif Cs-137 ke dalam *inner capsule* yang baru

Untuk keperluan pewadahan zat radioaktif Cs-137 digunakan *inner capsule* baru yang terbuat dari bahan *stainless steel* serie 304 berukuran diameter 6 mm, tinggi 8 mm dan tebal 1 mm. Banyaknya zat radioaktif Cs-137 yang dimasukkan ke dalam *inner capsule* disesuaikan dengan besarnya aktivitas yang dibutuhkan. Variasi aktivitas Cs-137 yang digunakan untuk operasi *well logging* penambangan minyak atau batu bara adalah : 25 mCi, 50 mCi, 100 mCi, 150 mCi dan 200 mCi. Zat radioaktif Cs-137 yang sudah dimasukkan ke dalam *inner capsule* selanjutnya diukur aktivitasnya dengan menggunakan *dose calibrator*.

Apabila aktivitas yang terukur telah sesuai dengan aktivitas yang dibutuhkan / diinginkan, misalnya 25mCi (plus minus satu standar deviasi atau ± 2 mCi), selanjutnya kapsul ditutup dengan penutup dan dilas secara atomis dengan metode pengelasan Tungsten Inert Gas (*TIG welding method*).

Inner capsule yang telah ditutup dengan metode pengelasan TIG selanjutnya didekontaminasi (dibersihkan dari pengotor radioaktif) dengan air dan alkohol serta dilakukan tes usap menggunakan kertas saring dan diukur aktivitasnya. *Inner capsule* akan dinyatakan bebas kontaminasi apabila hasil pengukuran aktivitas kertas saring tersebut berada dibawah nilai 150 dpm (5 nCi).

Sumber potensi penerimaan dosis pada tahapan kegiatan ini berasal dari laju paparan radiasi yang terjadi ketika sumber radioaktif Cs-137 dimasukkan ke dalam *inner capsule* kemudian ditutup dengan penutup dan dilas secara atomis dengan metode TIG.

Pengukuran aktivitas dan standarisasi zat radioaktif terbungkus Cs-137 hasil daur ulang

Inner capsule yang berisi zat radioaktif Cs-137 yang telah lolos uji mutu dikirim ke laboratorium standarisasi terakreditasi (menggunakan kontener transport) untuk dilakukan standarisasi produk. Pengukuran aktivitas *inner capsule* yang berisi sumber radioaktif Cs-137 dilakukan dengan menggunakan *dose calibrator*.

Sumber potensi penerimaan dosis pada tahapan kegiatan ini berasal dari laju paparan radiasi yang terjadi ketika dilakukan pengukuran aktivitas sumber radioaktif Cs-137 menggunakan *dose calibrator* (ketika dimasukkan dan dikeluarkan dari dalam *dose calibrator*).

Kebijakan Penerapan Nilai Batas Dosis (NBD)

Untuk melindungi dan menjamin keselamatan pekerja radiasi pelaksana daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan dari paparan radiasi berlebih, pihak PI dapat menetapkan kebijakan penerapan nilai batas dosis (NBD) sebagaimana tercantum pada Pasal 15 Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 4 Tahun 2013, yaitu [1,2] :

1. Dosis Efektif rata-rata adalah sebesar 20 mSv per tahun yang diperhitungkan selama masa 5(lima) tahun. Dosis terakumulasi selama masa 5 (lima) tahun tidak boleh melebihi 100 mSv.
2. Dosis Efektif adalah sebesar 50 mSv selama masa 1 (satu) tahun tertentu.
3. Dosis Ekuivalen untuk lensa mata rata-rata adalah sebesar 20 mSv per tahun yang diperhitungkan selama masa 5 (lima) tahun dan 50 mSv selama masa 1 (satu) tahun tertentu.
4. Dosis Ekuivalen untuk kulit sebesar 500 mSv per tahun.
5. Dosis Ekuivalen untuk tangan atau kaki sebesar 500 mSv per tahun.

Kebijakan Penerapan Nilai Pembatas Dosis (NPD)

Untuk keperluan memantau / mengawasi pelaksanaan kegiatan daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan, sesuai ketentuan yang tercantum pada Pasal 36 Peraturan Pemerintah No. 33 Tahun 2007 dan Pasal 41 - 43 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013, pihak PI dapat menetapkan nilai pembatas dosis (NPD) untuk pekerja radiasi pelaksana daur ulang [2,3].

Untuk melindungi dan menjamin keselamatan pekerja radiasi pelaksana daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan dari paparan radiasi berlebih, pihak PI dapat menetapkan kebijakan NPD yaitu sebesar 75% dari nilai Dosis Efektif rata-rata yaitu sebesar 15 mSv (75% dari 20 mSv).

Dasar pertimbangan ditetapkan sebesar 75% adalah adanya asumsi bahwa kegiatan daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan bukan merupakan kegiatan rutin mingguan.

Manajemen Penerimaan Dosis

Untuk melindungi dan menjamin keselamatan pekerja radiasi pelaksana daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan dari paparan radiasi berlebih, pihak PI dapat menetapkan kebijakan penerimaan dosis yaitu besarnya dosis yang diterima oleh pekerja radiasi yang bertugas untuk kurun waktu satu minggu tidak boleh lebih besar dari 75% dari NPD mingguan yaitu sebesar 0,225 mSv (75% dari 0,3 mSv) dimana 1(satu) tahun sama dengan 50 jam kerja efektif.

Jika terdapat pekerja radiasi yang menerima dosis lebih besar dari 0,225 mSv, maka pekerja radiasi tersebut masih diizinkan untuk bekerja asalkan akumulasi dosis yang diterima selama kurun waktu satu bulan tidak boleh lebih besar dari 75% NPD bulanan yaitu sebesar 0,9 mSv (75% dari 1,2 mSv).

Perkiraan Besarnya Dosis

Perkiraan besarnya dosis yang diterima oleh pekerja radiasi pelaksana daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan, dapat diestimasi / diperkirakan / dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut [4] :

$$\text{Dosis} = \frac{\text{Waktu Kerja} \times \text{Paparasi Radiasi}}{6000}$$

dimana, dosis dalam satuan mSv, waktu kerja dalam satuan menit, laju paparan radiasi dalam satuan mR/jam dan 6000 adalah faktor konversi dari mR ke mSv dan dari jam ke menit.

Pekerja radiasi yang menerima dosis melebihi NPD tetapi masih dibawah NBD

Jika terdapat pekerja radiasi yang menerima dosis melebihi NPD tetapi masih dibawah NBD, maka sesuai Pasal 45 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013, pihak PI berkewajiban melakukan kaji ulang pelaksanaan prosedur operasi dan kaji ulang analisis penetapan NPD [3].

Yang dimaksud prosedur operasi adalah prosedur pengawasan kegiatan daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan. Sedangkan analisis penetapan NPD adalah analisis terhadap metode yang digunakan oleh pihak PI dalam menetapkan NPD untuk kegiatan daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan.

Pekerja radiasi yang menerima dosis melebihi NBD

Jika terdapat pekerja radiasi yang menerima dosis melebihi NBD, maka pihak PI berkewajiban melakukan upaya tindak lanjut sebagaimana yang ditetapkan pada Pasal 18 – 22 Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013 [2].

Tindak Lanjut Penerimaan Dosis

Kaji ulang Nilai Pembatas Dosis

Jika terdapat pekerja radiasi yang menerima dosis melebihi NPD tetapi masih dibawah NBD, maka pihak PI berkewajiban melakukan kaji ulang terhadap pelaksanaan prosedur yang digunakan.

Pihak PI berkewajiban melakukan kaji ulang terhadap prosedur yang digunakan pada daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan, guna mengetahui apakah semua tahapan kerja telah efektif dan efisien. Bila ternyata belum efektif dan efisien, maka prosedur tersebut harus segera direvisi dan revisinya harus disahkan oleh satuan / unit jaminan kualitas.

Selain itu, pihak PI juga berkewajiban melakukan kaji ulang terhadap analisis yang digunakan pada penetapan NPD. Kaji ulang meliputi: kaji ulang beban dan frekuensi

pekerjaan, kaji ulang potensi penerimaan dosis, kaji ulang riwayat pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja radiasi, kaji ulang kondisi sarana dan fasilitas serta kaji ulang riwayat penerimaan dosis.

Tindak lanjut penerimaan dosis berlebih

Jika terdapat pekerja radiasi yang menerima dosis melebihi NBD, maka dalam hal pekerja radiasi menerima Dosis Efektif rata-rata melebihi 20 mSv dalam masa 1(satu) tahun tetapi masih kurang dari 50 mSv, maka pihak PI berkewajiban [3] :

- a. Mengkaji ulang besarnya laju paparan radiasi dan mengambil langkah korektif yang diperlukan.
- b. Membatasi penerimaan Dosis Efektif pekerja radiasi tersebut sehingga yang bersangkutan selama masa 5 (lima) tahun tidak mendapatkan Dosis Efektif sebesar 100 mSv.
- c. Melaporkan kejadian tersebut kepada Kepala BAPETEN dengan menyertakan deskripsi tentang kronologis, analisis penyebab terjadinya penerimaan dosis berlebih tersebut dan tindakan proteksi radiasi korektif yang telah dilakukan.

KESIMPULAN

Berdasarkan kajian tersebut di atas, dibuat kesimpulan bahwa dalam memenuhi kewajiban menerapkan prinsip limitasi dosis serta optimisasi proteksi dan keselamatan radiasi yaitu menjaga besarnya dosis yang diterima oleh pekerja radiasi pelaksana daur ulang agar tetap dibawah nilai batas dosis (NBD), pihak PI dapat menerapkan sistem manajemen penerimaan dosis atau sistem manajemen dosis. Sebelum menerapkan sistem manajemen dosis, pihak PI perlu mendeskripsi sumber potensi penerimaan dosis yang terdapat pada tahapan kegiatan daur ulang zat radioaktif terbungkus Cs-137 yang sudah tidak digunakan. Terhadap tahapan kegiatan tersebut dilakukan penetapan atas potensinya pada penerimaan dosis pekerja radiasi pelaksana daur ulang. Dari hasil pemantauan / pengukuran penerimaan dosis pekerja radiasi pelaksana daur ulang pihak PI dapat menerapkan kebijakan pembatasan penerimaan dosis. Metode yang dapat diterapkan oleh pihak PI adalah dengan membatasi dosis yang diterima oleh pekerja radiasi yang bertugas untuk kurun waktu 1(satu) minggu, tidak boleh lebih besar 75% dari NPD mingguan. Hasil penerapan sistem manajemen dosis adalah pihak PI dapat segera mengetahui jika terdapat pekerja radiasi yang menerima dosis melebihi NPD tetapi masih dibawah NBD atau yang menerima dosis melebihi NBD. Dengan mengetahui hal tersebut, tindakan antisipatif dan/atau korektif yang diperlukan dapat dilakukan oleh pihak PI secara lebih dini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Sekretariat Negara, Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2007 tentang Keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif, Jakarta, 2007.
2. Sekretariat Negara, Peraturan Pemerintah No. 61 Tahun 2013 Tentang Pengelolaan limbah radioaktif, Jakarta, 2013.
3. Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan keselamatan radiasi dalam pemanfaatan tenaga nuklir, Jakarta, 2013.
4. Badan Pengawas Tenaga Nuklir, Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 tahun 2016 tentang Pengolahan limbah radioaktif tingkat rendah dan tingkat sedang, Jakarta, 2016.
5. Muhammad Suhaedi et.al., Gagasan penentuan nilai pembatas dosis untuk IPRR, Disampaikan Pada Seminar Nasional Teknologi Dan Aplikasi Reaktor Nuklir (PRSG-BATAN), 3 Oktober 2012, Serpong, 2012.
6. Muhammad Suhaedi et.al., Kaji Ulang Nilai Pembatas Dosis Berdasarkan Peraturan Kepala BAPETEN Nomor 4 Tahun 2013, Disampaikan Pada Seminar Nasional Teknologi Dan Aplikasi Reaktor Nuklir, PRSG-BATAN, Serpong, 24 September 2014.
7. Muhammad Suhaedi et.al., Penerapan nilai pembatas dosis sebagai upaya perlindungan terhadap keselamatan pekerja radiasi, Disampaikan Pada Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan Lingkungan dan Pengembangan Teknologi Nuklir – PTKMR-BATAN, Jakarta, 25 Agustus 2015.
8. Muhammad Suhaedi et.al., Kajian dosis radiasi bagi petugas keahlian pada fasilitas produksi radioisotop dan radiofarmaka, Disampaikan Pada Seminar Nasional Sains Dan Teknologi Nuklir 2015, Bandung, 03 Desember 2015.

ANALISIS DATA RADIOMETRI SEKTOR LEMAJUNG, KALAN, KALIMANTAN BARAT

Heri Syaeful, Suharji, Dhatu Kamajati

Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional

Jl. Lebak Bulus Raya No. 9, Pasar Jumat, Jakarta Selatan

email: syaeful@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS DATA RADIOMETRI SEKTOR LEMAJUNG, KALAN, KALIMANTAN BARAT. Pemetaan radiometri merupakan salah satu metoda dalam eksplorasi uranium. Analisis data radiometri diperlukan untuk mendapatkan hubungan antara data hasil pengukuran di permukaan dengan data bijih uranium yang didapatkan dari pekerjaan pemboran. Hasil analisis diharapkan dapat jadi acuan dalam prediksi keberadaan bijih uranium di bawah permukaan berdasarkan data radiometri permukaan, dengan memperhatikan proses oksidasi, pelapukan, dan aliran air yang berlangsung setelah pembentukan bijih. Selain itu analisis juga bertujuan untuk menguji prosedur interpretasi log gamma (ILG). Metode yang dilakukan dalam analisis adalah pembuatan peta iso-kadar dan rasio kadar, dan mengkomparasi data permukaan dengan bawah permukaan dan data dosis radiasi dengan kadar unsur. Hasil analisis menunjukkan terdapat korelasi yang baik antara data bijih uranium di bawah permukaan dengan data kadar U, rasio U/K, dan rasio U/Th. Dalam rangka analisis kesesuaian aplikasi metoda ILG untuk mendapatkan kadar U dari data TC GR maka disimpulkan terdapat korelasi yang sangat baik antara kedua data tersebut.

Kata kunci: radiometri, eksplorasi, uranium, *gamma ray*

ABSTRACT

ANALYSIS OF RADIOMETRIC DATA OF LEMAJUNG SECTOR, KALAN, WEST KALIMANTAN. Radiometric mapping is one of the methods in uranium exploration. Radiometric data analysis is needed to obtain the relationship between surface measurement data and uranium ore data obtained from drilling work. The result of the analysis is expected to be a reference in predicting the existence of uranium ore below the surface based on surface radiometry data, taking into account processes of oxidation, weathering, and water flow which is a modification factor after ore formation. In addition, the analysis also aims to test the gamma log interpretation procedure (ILG). Methodology applied on analysis is create the iso-grade and ratio map, and compares the surface with sub-surface data and dose rate with element grade data. The results show that there is a good correlation between uranium ore data below the surface with U, U/K, and U/Th ratio. In order to analyze the suitability of the application of the ILG method to obtain the U content of the TC GR data, it is concluded that there is a very good correlation between the two data.

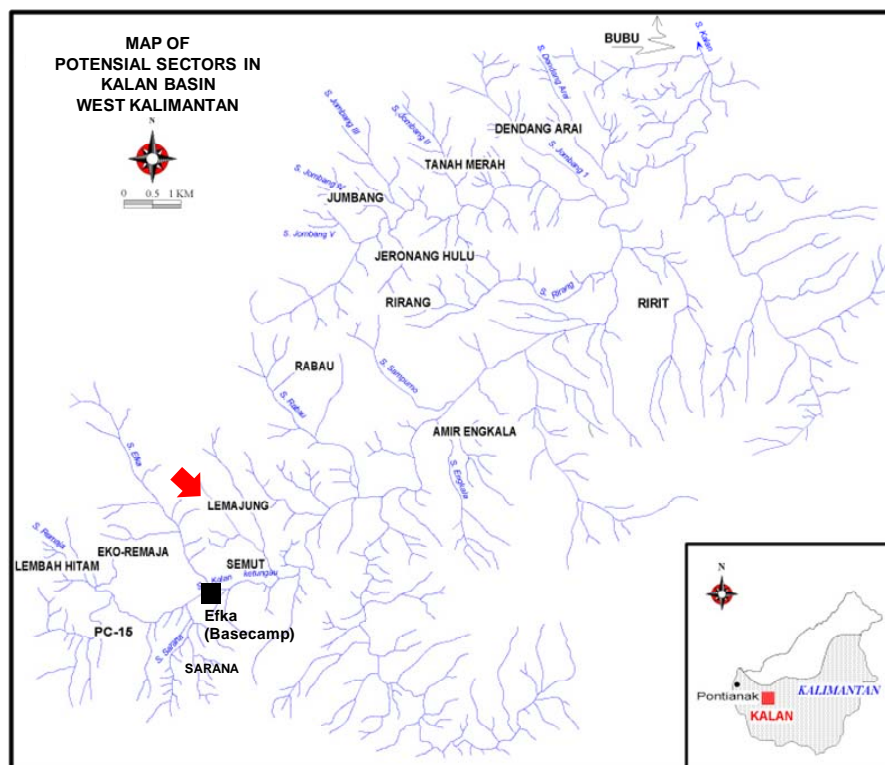
Keywords: radiometry, exploration, uranium, *gamma ray*

PENDAHULUAN

Kalan adalah salah satu daerah mineralisasi uranium (U) di Kalimantan Barat. Secara geografis daerah Kalan terletak di Lembah S. Kalan bagian hulu, merupakan cabang kiri S. Ella Ilir yang bermuara di S. Melawi dan secara administratif termasuk dalam wilayah Kecamatan Ella Ilir, Kabupaten Melawi, Kalimantan Barat. Mineralisasi uranium berupa urat mengisi fraktur, breksi tektonik, dan sekistositas batuan, terdiri dari mineral uraninit, branerit, dan davidit dan berasosiasi dengan sulfida, terdapat pada batuan metamorfik regional. Karakter mineralisasi termasuk karakter batuan induknya berbeda-beda sesuai dengan posisi geografi dan kondisi geologi setempat. Posisi geologi zona mineralisasi Kalan, terdiri dari 16 sektor yaitu: Jumbang I, Jumbang II, Jumbang III, Tanah Merah, Dendang Arai; Rabau Hulu, Jeronang Hulu, Rirang Hulu, Eko-Remaja, Lembah Hitam, Lemajung, Semut, Kalan Ketungau, Sarana, Amir Engkala, dan Tiga Dara (Gambar 1) [1].

Pada tahun 2013 dilakukan kegiatan reevaluasi sumberdaya uranium di sektor Lemajung. Kegiatan mencakup pemboran geologi, logging geofisika, pemetaan geologi/radiometri, pemodelan geologi, dan estimasi sumberdaya. Penelitian ini bertujuan

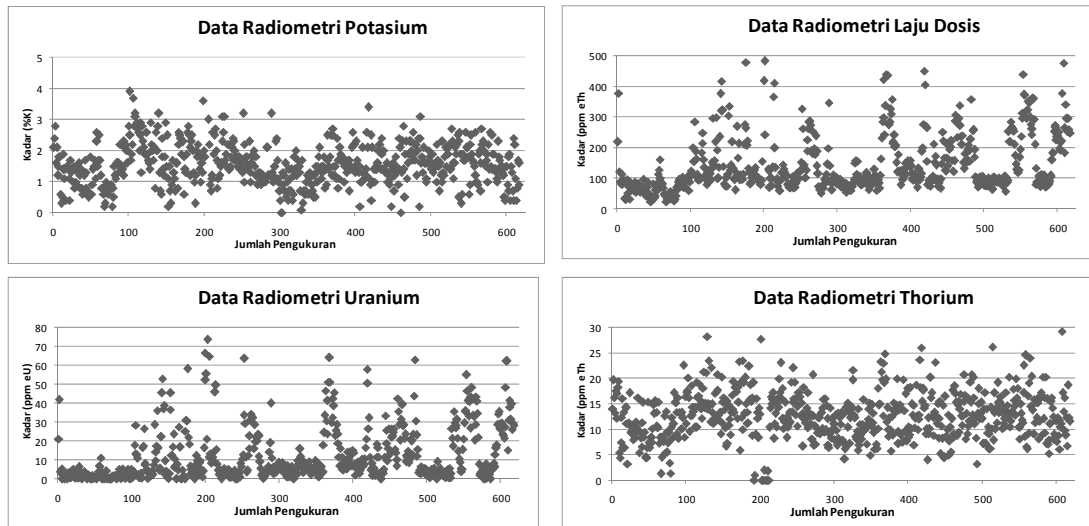
untuk mendapatkan data korelasi antara data radiometri dengan jenis satuan batuan dan area sebaran anomali, dan menganalisis korelasi antara nilai *total count gamma ray* (TC GR) atau dosis radiasi gamma dengan kadar uranium yang merupakan prinsip dasar instruksi kerja/prosedur interpretasi log gamma, yang menghasilkan data kadar uranium pada lubang bor dari konversi data log gamma.



Gambar 1. Sektor potensial di Cekungan Kalan, Kalimantan Barat

METODOLOGI

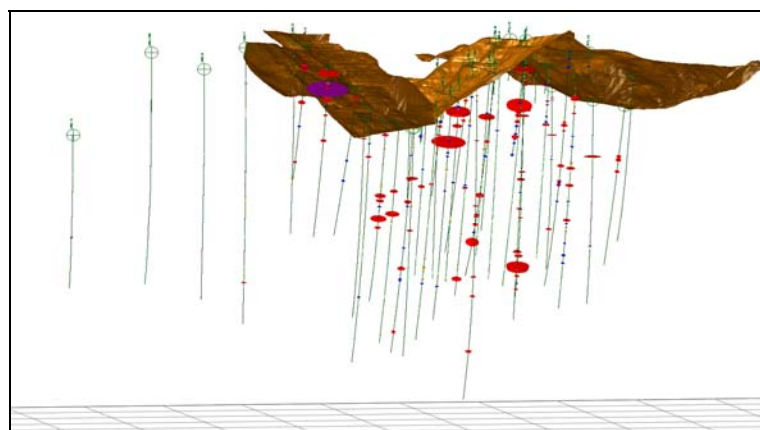
Spektrometri sinar gamma telah digunakan sejak tahun 1960an untuk eksplorasi uranium, pemetaan geologi, dan studi lingkungan. Prosedur dalam pengukuran, kalibrasi instrument dan prosesi data telah tersedia dengan sangat baik [2]. Secara prinsip metoda ini mengukur kelimpahan potassium, thorium dan uranium yang merupakan *naturally occurring radioactive materials (NORM)* di permukaan bumi [3]. Data yang digunakan adalah data hasil pengukuran *ground radiometric* menggunakan alat RS125. Pengukuran lapangan dilakukan secara acak dengan pertimbangan akses dan morfologi yang terjal. Sebaran titik-titik pengukuran diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik sebaran titik pengukuran berdasarkan kadar

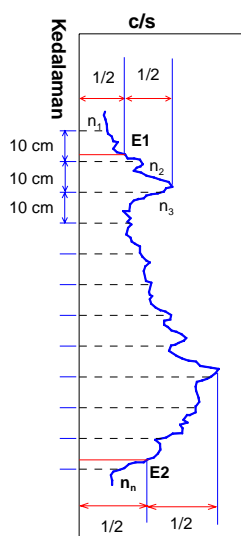
Metode yang digunakan dalam analisis terhadap data radiometri adalah:

- analisis pembuatan peta menggunakan sistem 6 dimensi, yaitu peta potassium (K), thorium (Th), uranium (U), rasio U/Th, rasio Th/K, dan rasio U/K [4]. Interpretasi dari data rasio U/Th atau Th/U dapat digunakan untuk membedakan derajat differensiasi [5]. Selain itu untuk mempelajari proses-proses geomorfologi dan pelapukan dapat dengan mengamati mobilisasi radioelemen K oleh aliran air dan pelarutan. Unsur tersebut jauh lebih mudah termobilisasi daripada U dan Th. Penentuan litologi dan alterasi yang terkait dengan mineralisasi dapat pula dilakukan [6]. Karakter dari anomali radiometrik yang berasosiasi dengan bawah permukaan dan tersingkapnya mineralisasi U bergantung pada bentuk mineralisasi U, batuan *host*, dan tatanan geologi. Beberapa kondisi batasan untuk identifikasi mineralisasi U atau batasan nilai anomali yang terdeteksi dipermukaan diantaranya konsentrasi U antara 4-20 ppm, asosiasi Th antara 5-40 ppm, rasio Th/U < 1, U/K > 5-10, dan Th/K antara 4-5 [7].
- komparasi antara hasil pengukuran radiometri di permukaan dengan keberadaan bijih di bawah permukaan yang diketahui dari hasil pemboran sebelumnya. Data hasil pemboran disajikan dalam bentuk kadar pada data *collar* (kedalaman dan kadar U) (Gambar 3).



Gambar 3. Penampang tiga dimensi menunjukkan morfologi, lubang bor dan keberadaan uranium

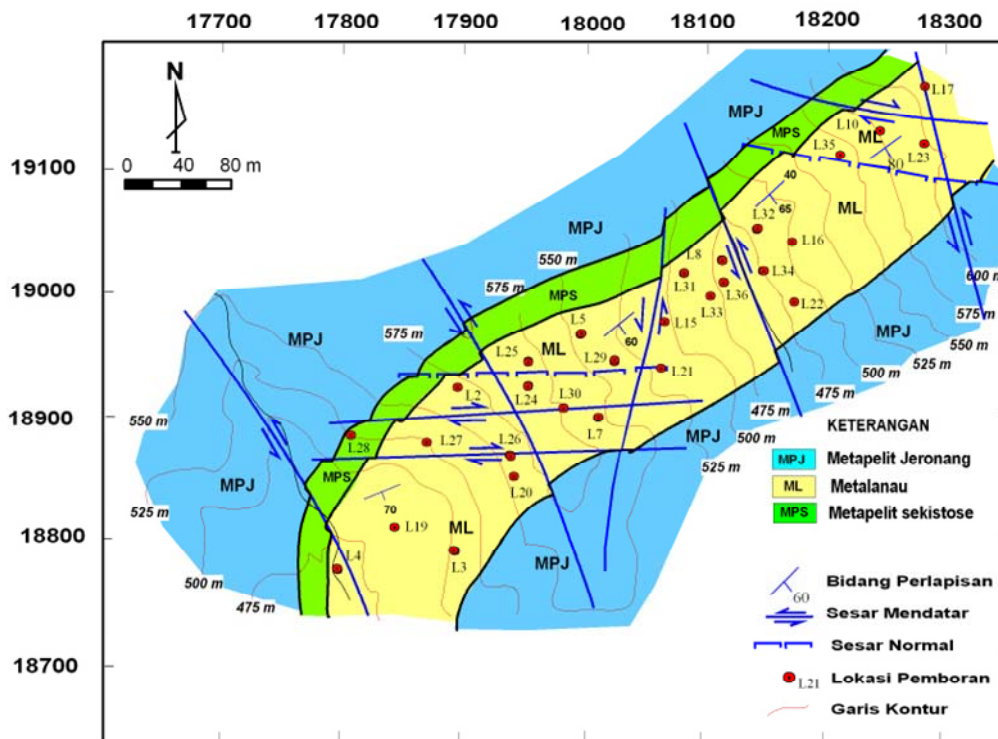
- analisis kesesuaian penerapan Interpretasi Log Gamma (ILG) atau mendapatkan data kadar uranium dari data log sinar gamma. Interpretasi log gamma (ILG) merupakan suatu metoda untuk mendapatkan data kadar uranium dari konversi nilai bacaan sinar gamma yang terbaca pada saat pengukuran logging di dalam lubang bor. Tahapan ILG dengan metoda area total yaitu menghitung ketebalan bijih dengan mengkoreksi ketebalan semu yang terbaca pada logging terhadap sudut antara bidang mineralisasi dengan lubang bor, menghitung faktor koreksi lubang bor, menghitung area terkoreksi, menghitung *apparent grade thickness*, menghitung kadar-tebal rata-rata, menghitung kadar terkoreksi, dan menghitung kadar. ILG dilakukan secara terpisah untuk masing-masing bidang mineralisasi yang terbaca pada log gamma (Gambar 4) [8]. Dalam rangka menguji kesesuaian aplikasi metoda ini di sektor Lemajung untuk mendapatkan kadar U dari nilai bacaan gamma total, maka perlu dilakukan korelasi antara data U dan data TC GR atau dosis radiasi untuk mendapatkan hubungan kesesuaian aplikasi.



Gambar 4. Interpretasi log gamma menggunakan metoda *total area* [8]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Litologi sektor Lemajung terdiri atas metapelite biotit, metapelite sekistosan, metabatuanau dan metapelite andalusit. Metapelite biotit, segar berwarna abu-abu kehijauan, lapuk abu-abu kecoklatan, ukuran butir lempung. Komposisi mineral terdiri dari feldspar, kuarsa, biotit, andalusit dan mineral opak. Metapelite sekistosan, segar berwarna abu-abu kehijauan, lapuk abu-abu kecoklatan, ukuran butir lempung. Komposisi mineral terdiri atas feldspar, serisit, kuarsa, biotit, klorit dan mineral opak. Metabatanau, segar berwarna abu-abu, lapuk abu-abu kecoklatan, ukuran butir lanau hingga pasir halus. Komposisi mineral terdiri atas feldspar, kuarsa, andalusit, biotit dan mineral opak. Semua tipe mineralisasi tersebut hanya terdapat di lapisan favorabel (metabatanau dan metapelite sekistosan), di lapisan steril baik metapelite andalusit maupun metapelite biotit mineralisasi tidak dijumpai (Gambar 5) [9]. Pola mineralisasi uranium dapat dikelompokkan menjadi 3 tipe, yaitu mineralisasi U yang berbentuk lensa dan berasosiasi dengan turmalin, berarah Barat-Timur dan vertikal, mineralisasi U yang menempati bidang-bidang terbuka berarah Barat-Timur miring 70° ke Utara dan sejajar S1, berasosiasi dengan kuarsa feldspatik dan pirit dengan ketebalan berkisar antara 1 cm hingga 2 m, dan mineralisasi uranium yang mengisi fraktur-fraktur terbuka berarah N $110-130^\circ$ E miring 70° ke Timur Laut hingga subvertikal.



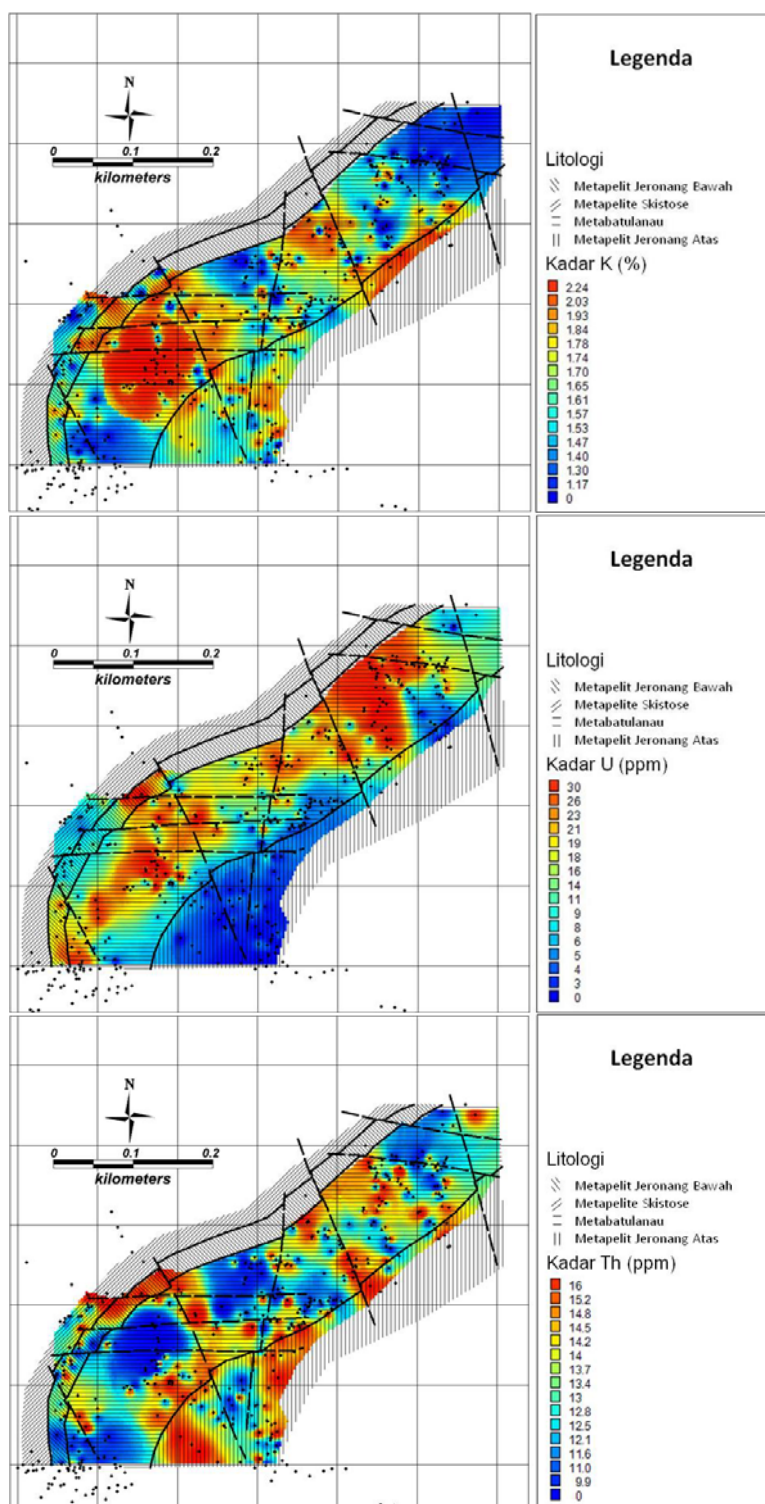
Gambar 5. Peta geologi sektor Lemajung Barat[9]

Berdasarkan hasil pengukuran lapangan didapatkan variasi harga K, U, Th, dan dosis radiasi (Tabel 1). Kadar U tinggi terukur di sekitar daerah yang teramati merupakan bijih uranium. Beberapa bukaan paritan yang telah dilakukan memberikan visual yang sangat jelas terhadap bentuk dan arah bijih uranium yang tersingkap. Kadar maksimum U berada pada nilai 1370 ppm.

Tabel 1. Variasi harga

	K (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Dosis Radiasi (nSv/th)
Minimum	0	0	2,7	50,9
Maksimum	11	1.370	144,4	9.653
Rata-rata	1,5	27,34	14,82	251,68
Standar deviasi	0,86	82,39	9,35	575,37

Pembuatan peta radiometri dilakukan dengan menggunakan metoda *inverse distance*. Sebelumnya dilakukan iterasi terlebih dahulu untuk menentukan besaran grid dan radius pengaruh agar hasil peta radiometri mendekati kondisi lapangan. Ukuran grid ditentukan sebesar 3 m, dan jarak pengaruh sebesar 250 m dengan menggunakan teknik rata-rata. Selanjutnya *overlay* dilakukan dengan peta geologi agar diketahui hubungan antara jenis litologi dan kadar radionuklida. Pada peta radiometri K didapatkan anomali pada daerah tengah-barat daya, lokasi berada pada lereng yang terjal dengan kemiringan berkisar 45°. Beberapa hipotesa pada daerah anomali tersebut diantaranya adalah hubungan dengan alterasi potasik yang menyebabkan nilai K dapat mencapai 11%. Pada lokasi tersebut nilai kadar U sangat tinggi mencapai 1370 ppm dan kadar Th 144,4 ppm. Berdasarkan kondisi ini diperkirakan terjadi alterasi pada kondisi tekanan dan suhu yang cukup tinggi yang menyebabkan radionuklida K, U, dan Th dapat terakumulasi pada satu tubuh bijih (Gambar 6).



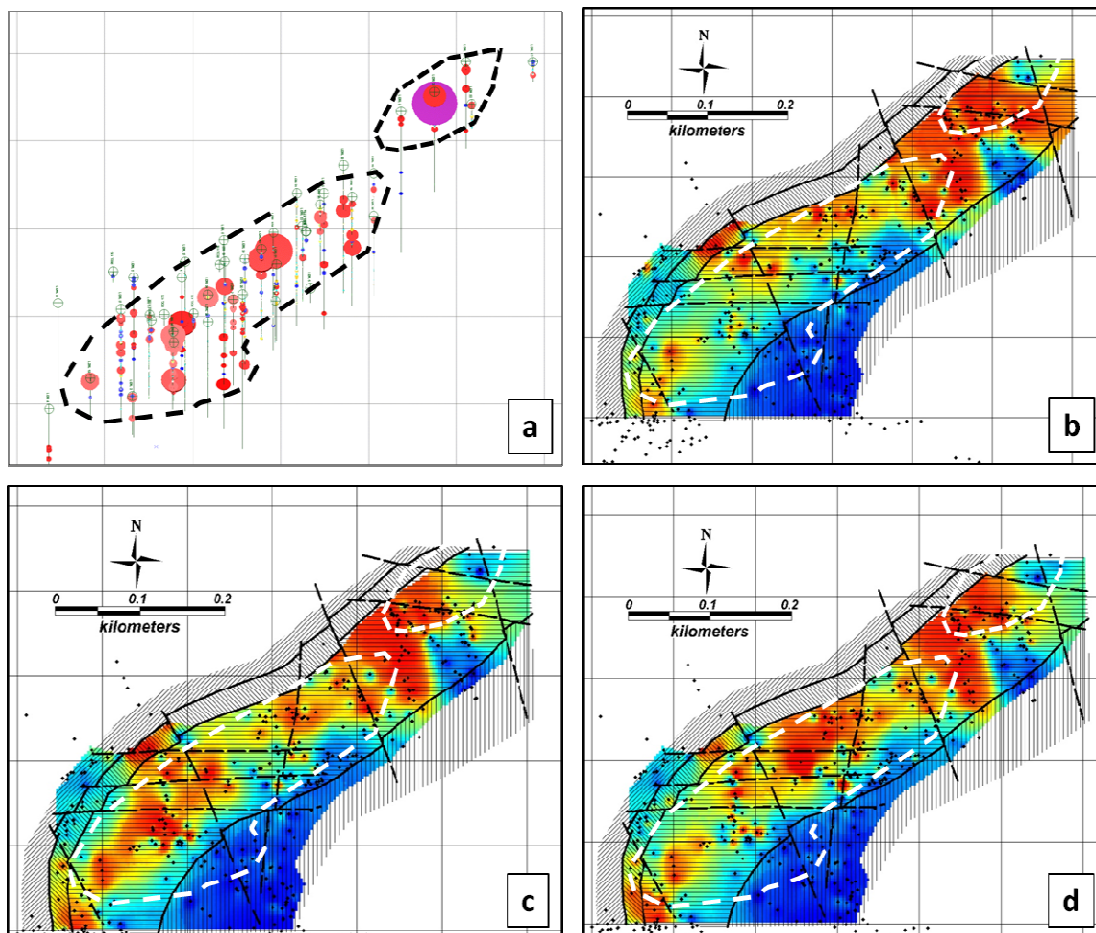
Gambar 6. Peta radiometri K, U, dan Th

Analisis rasio dan teknik pengolahan statistik dapat meningkatkan indikasi anomali. Khusus pada metoda rasio, endapan polimetalik (Au-Co-Cu-Bi-W-As) Sue-Dianne di Kanada yang berjarak 20 km di bagian utara dari sistem hidrotermal, ditemukan pertama kali dengan metoda rasio U/Th pada saat survey regional tahun 1974. Endapan uranium di sekitar sistem hidrotermal berhubungan dengan beberapa urat *pitchblende*. Di La Libertad-Nikaragua, sebaran urat epitermal kuarsa pada lava basaltik berumur Tersier memiliki pola peningkatan konsentrasi K, rasio Th/K dan rasio K U/Th mendekati urat mineralisasi emas

[2]. Di daerah Mamuju, Sulawesi Barat peta rasio U/K digunakan sebagai *targeting area* program eksplorasi lanjutan dihubungkan dengan proses alterasi dan pengendapan uranium [3].

Pembuatan peta rasio di lokasi penelitian untuk memprediksi proses-proses yang terjadi pada saat mineralisasi terutama berhubungan dengan migrasi fluida yang terjadi pada saat metamorfisme regional. Suhu pembentukan mineralisasi di sektor Lemajung yang berada satu jalur dengan sektor Lembah Hitam dan Remaja, berdasarkan data suhu pembentukan bijih berkisar antara 260-270°C [1]. Bidang mineralisasi menunjukkan kontrol litologi dan tektonik, pada batuan yang paling halus (metapelit) bidang mineralisasi mempunyai arah relatif yang tidak berbeda dengan arah jurus sekistositas, sedangkan pada metabatulanau yang lebih massif bidang mineralisasi mengikuti bidang rekahan tertentu yang arah jurusnya menyudut cukup besar terhadap arah jurus bidang sekistositas atau bidang perlapisan, bentuk yang pada umumnya berbentuk breksi mineralisasi [10].

Sebagai pembandingan untuk prediksi data permukaan dan data bawah permukaan adalah data lubang bor dan kadar uranium yang mencerminkan terdapatnya lokasi bijih (Gambar 7a). Data bijih uranium tersebut terdapat pada kedalaman 0-300 m. Overlay area bijih dilakukan untuk mendapatkan komparasi spasial terhadap data permukaan radiometri. Perbandingan dengan peta rasio U/K mendapatkan gambaran kesesuaian kadar tinggi yang terdapat di bagian timur laut (warna ungu), sedangkan di bagian tengah sampai barat daya anomali rasio U/K tidak merefleksikan keberadaan bijih di bawah permukaan (Gambar 7b). Perbandingan dengan data kadar uranium mencerminkan anomali permukaan untuk bijih yang berada di bagian barat daya, sedangkan di timur laut tidak mencerminkan anomali permukaan (Gamber 7c). Perbandingan dengan data rasio U/Th mencerminkan korelasi dengan data bawah permukaan untuk anomali di bagian tengah, sedangkan di bagian lainnya tidak mencerminkan korelasi.

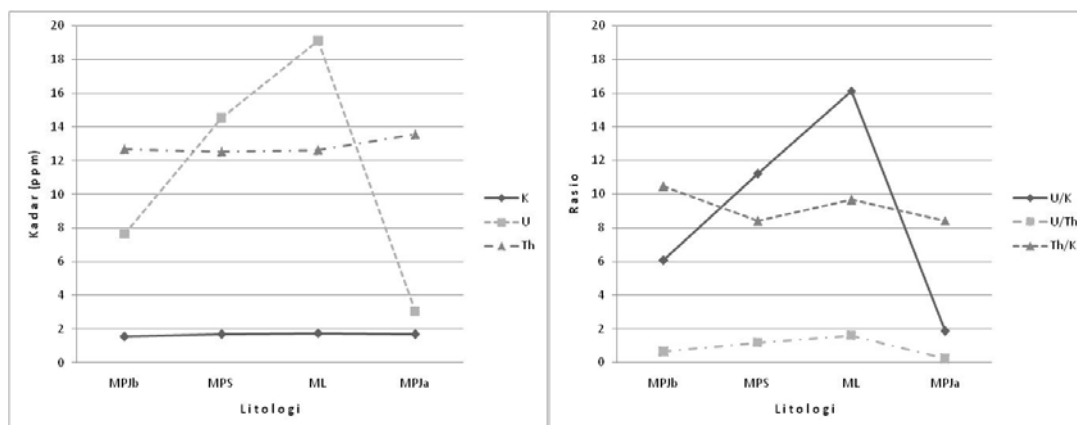


Gambar 7. (a) Peta proyeksi lubang bor dan kadar uranium dipermukaan, (b) Peta rasio kadar U/K, (c) Peta radiometri U, dan (d) Peta rasio kadar U/Th

Dalam rangka mendapatkan hubungan antara data radiometri dan jenis litologi dilakukan analisis statistik dasar. Analisis mencakup nilai minimum, maksimum, rata-rata, dan standar deviasi. Data statistik rata-rata ditampilkan pada Tabel 2. Berdasarkan hubungan data radiometri dan rasio radionuklida untuk masing-masing jenis litologi diketahui untuk kandungan K tidak terdapat perbedaan pada litologi yang berbeda, begitupun untuk kandungan Th, sedangkan kandungan U terdapat perbedaan signifikan dimana rata-rata kadar untuk Metapelit Jeronang Bawah (MPJb) sebesar 7,64 ppm dan Metapelit Jeronang Atas sebesar 3,04 ppm. Kedua batuan tersebut merupakan batuan steril dimana bijih uranium tidak pernah ditemukan. Sedangkan pada batuan Metapelit sekistosan dan Metabatulanau yang merupakan batuan favorabel keterdapatan uranium, kadar uranium mencapai 14,52 ppm dan 19,10 ppm secara berurutan (Gambar 8a). Berdasarkan hubungan data rasio, anomali ditemukan secara kontras pada rasio U/K dan U/Th (Gambar 8b).

Tabel 2. Data statistik kadar dan rasio radionuklida berdasarkan jenis litologi

Litologi	K	U	Th	U/K	U/Th	Th/K
MPJb	1,56	7,64	12,67	6,05	0,65	10,44
MPS	1,69	14,52	12,53	11,20	1,18	8,39
ML	1,76	19,10	12,61	16,13	1,60	9,67
MPJa	1,7	3,04	13,56	1,86	0,24	8,43



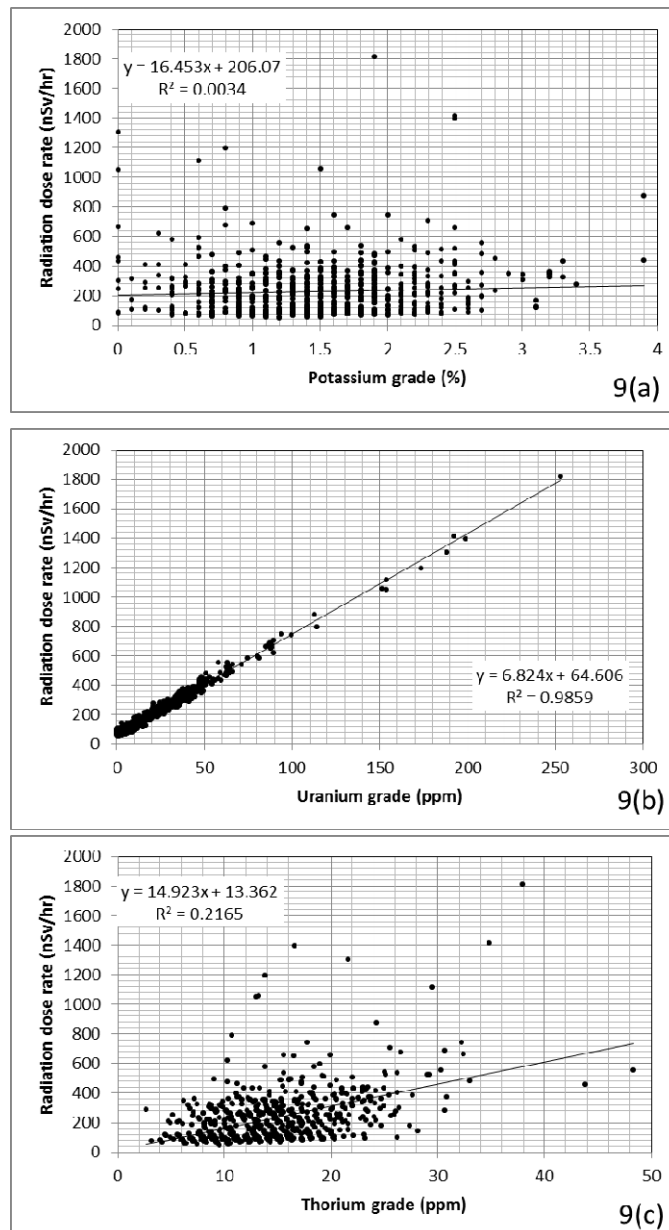
Gambar 8. (a) Kadar K, U, dan Th dan (b) Rasio kadar U/K, U/Th dan Th/K, pada masing-masing jenis litologi.

Data assay atau kadar dari bidang mineralisasi untuk pemodelan dan estimasi sumberdaya uranium didapatkan dari konversi data logging *gamma-ray*. Di industri pertambangan uranium, logging lubang bor merupakan metode dasar pada eksplorasi dan delineasi endapan uranium. Logging *gamma-ray* merupakan teknik paling efektif untuk mendelineasi mineralisasi uranium dan mengestimasi kadar bijih uranium. Pengukuran logging *gamma-ray* pada lubang bor dilakukan dengan alat Mountsopris MGX-II.

Kadar uranium untuk pemodelan dan estimasi sumberdaya didapatkan dari data TC GR, menggunakan metoda interpretasi log gamma (ILG). Tahapan ILG dengan metoda *total area* yaitu menghitung ketebalan bijih dengan mengkoreksi ketebalan semu yang terbaca pada logging terhadap sudut antara bidang mineralisasi dengan lubang bor, menghitung faktor koreksi lubang bor, menghitung area terkoreksi, menghitung *apparent grade thickness*, menghitung kadar-tebal rata-rata, menghitung kadar terkoreksi, dan menghitung kadar [8]. ILG dilakukan secara terpisah untuk masing-masing bidang mineralisasi yang terbaca pada log gamma, dan digunakan untuk menyusun basis data *collar* yang merupakan tahap awal dalam pemodelan dan estimasi sumber daya [11][12][13].

Asumsi dasar dalam mendapatkan data kadar U dari TC GR adalah terdapat hubungan yang linear antara keduanya dan unsur radioaktif lainnya (K dan Th) tidak berkontribusi tinggi terhadap bacaan total. Dalam rangka mengetahui kesesuaian korelasi antara TC GR (diwakili dengan data dosis radiasi) dengan data K, U, dan Th maka perlu

dilakukan analisis korelasi linearitas. Hasil analisis memperlihatkan korelasi linear yang sangat rendah antara K dan dosis radiasi sebesar 0,003, atau dengan kata lain kedua parameter tidak berkorelasi (Gambar 9a). Korelasi linear yang tinggi terdapat antara U dan dosis radiasi sebesar 0,985 (Gambar 9b), atau didalam bijih terdapat hubungan yang relatif konstan antara peningkatan kadar U dengan peningkatan dosis radiasi. Korelasi linear antara Th dan dosis radiasi sangat rendah sebesar 0,236, atau tidak terdapat korelasi yang konstan antara kedua parameter (Gambar 9c). Berdasarkan hal tersebut maka data dosis radiasi atau TC GR sesuai untuk digunakan untuk mendapatkan data kadar U di lokasi penelitian.



Gambar 9. (a) Korelasi kadar K dan *dose rate*, (b) korelasi kadar U dan *dose rate*, dan (c) korelasi kadar Th dan *dose rate*.

KESIMPULAN

Pengolahan dan analisis data radiometri menggunakan metoda 6 dimensi yaitu peta potassium (K), Thorium (Th), uranium (U), rasio U/Th, rasio Th/K, dan rasio U/K sesuai untuk diaplikasikan pada eksplorasi uranium. Korelasi antara data bijih uranium dibawah

permukaan dengan hasil pemetaan radiometri permukaan di Sektor Lemajung menunjukkan korelasi yang baik dengan peta kadar U, peta rasio U/K, dan rasio U/Th. Peta-peta tersebut dapat digunakan sebagai prediktor yang baik untuk menentukan target pemboran di bawah permukaan. Berdasarkan jenis litologi kadar U, rasio U/K, dan rasio U/Th di batuan metapelit sekistosan (MPS) dan metabatuanau (ML) memiliki kontras yang baik dibandingkan pada batuan metapelit Jeronang bawah (MPJb) dan metapelit Jeronang atas (MPJa). Dalam rangka analisis kesesuaian aplikasi metoda ILG untuk mendapatkan kadar U dari data TC GR maka terdapat korelasi yang sangat baik antara kedua data tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada Kepala Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir (PTBGN) – BATAN, dan rekan-rekan di fasilitas instalasi nuklir Kalan yang telah membantu selama pekerjaan pendataan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Tjokrokardono, B. Sutopo, L. Subiantoro, and K. Setiawan, "Geologi dan Mineralisasi Uranium Kalan, Kalimantan Barat," in *Kumpulan Laporan Hasil Penelitian Tahun 2005*, 2005, pp. 27–52.
- [2] International Atomic Energy Agency (IAEA), *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data*, no. July. 2003.
- [3] H. Syaeful, I. G. Sukadana, and A. Sumaryanto, "Radiometric Mapping for Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) Assessment in Mamuju, West Sulawesi," *Atom Indones.*, vol. 40, no. 1, pp. 33–39, 2014.
- [4] J. R. Harris, "Clustering of gamma ray spectrometer data using a computer image analysis system.," 1989.
- [5] B. L. Dickson and K. M. Scott, "Interpretation of aerial gamma ray surveys-adding the geochemical factors," *AGSO J. Aust. Geol. Geophys.*, vol. 17, no. 2, pp. 187–200, 1997.
- [6] P. G. Killeen, C. J. Mwenifumbo, and K. L. Ford, "Tools and Techniques: Radiometric Methods," in *Treatise on Geophysics*, Elsevier B.V., 2015, pp. 447–524.
- [7] A.I. Krosnov, *Geophysical airborne methods of uranium deposits prognostication (in Russian)*. 1980.
- [8] Suharji and Slamet, "Instruksi Kerja Interpretasi Log Gamma." Pusat Pengembangan Geologi Nuklir, Jakarta, p. 10, 2008.
- [9] Ngadenin and P. Sularto, "Evaluasi Model Struktur Geologi dan Pola Mineralisasi Uranium Sektor Lemajung Barat, Cekungan Kalan, Kalimantan Barat," in *Prosiding Presentasi Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir V*, 2000, pp. 41–53.
- [10] H. S. Karyono, "Analisis Kontrol Tektonik pada Vein Mineralisasi di Bukit Eko, Kalan, Kalimantan Barat," in *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan ke-2 IAGI*, 1991, pp. 115–128.
- [11] A. G. Muhammad and B. Soetopo, "Pemodelan dan Estimasi Sumber Daya Uranium di Sektor Lembah Hitam, Kalan, Kalimantan Barat," *Eksplorium*, vol. 37, no. 1, pp. 1–12, 2016.
- [12] Suharji, "Re-evaluasi Sumber Daya Uranium di Sektor Semut, Kalan, Kalimantan Barat," in *Prosiding Seminar Nasional Geologi Nuklir dan Sumber Daya Tambang Tahun 2014*, 2014, pp. 35–50.
- [13] H. Syaeful, Suharji, and A. Sumaryanto, "Pemodelan Geologi dan Estimasi Sumber Daya Uranium di Sektor Lemajung, Kalan, Kalimantan Barat," in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir Tahun 2014*, 2014, pp. 329–342.

KARAKTERISASI HASIL IMOBILISASI ZEOLIT YANG MENGANDUNG LIMBAH THORIUM

Gustri Nurliati¹, Yuni K. Krisnandi²

¹ Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan 15310

² Departemen Kimia, Universitas Indonesia, Depok

Email: gustri@batan.go.id

ABSTRAK

KARAKTERISASI HASIL IMOBILISASI ZEOLIT YANG MENGANDUNG LIMBAH THORIUM. Saat ini terdapat limbah thorium di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) - BATAN yang telah dikondisikan dalam drum baja karbon 200 liter dan disimpan di tempat penyimpanan sementara limbah radioaktif. Limbah thorium ini berasal dari tanah yang tercemar larutan thorium dari pabrik kaos lampu PT. Tasuma Jaya. Thorium merupakan radionuklida pemancar alfa dan berumur paro panjang sehingga memerlukan pengelolaan dengan benar. Oleh karena itu perlu dilakukan immobilisasi limbah thorium dengan matriks tertentu untuk meminimalisasi potensi terlepasnya radioaktif ke lingkungan. Telah dilakukan immobilisasi zeolit yang mengandung limbah thorium simulasi menggunakan matriks polimer epoksi. Zeolit yang mengandung limbah thorium dicampur dengan polimer epoksi dan dicetak dalam cetakan berbentuk silinder (D=29,5 mm, t=24,5 mm). Karakterisasi blok limbah ditentukan dengan mengukur densitas, kuat tekan dan laju pelindihan. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kondisi optimal untuk blok limbah ZA2B dan NaZ adalah pada kandungan limbah 30% dengan densitas 1,0765 g/cm³, kuat tekan 58,05 MPa dan laju pelindihan 0,52 g/cm².hari untuk blok limbah ZA2B dan densitas 1,0647 g/cm³, kuat tekan 74,88 MPa dan laju pelindihan 0,52 g/cm².hari untuk blok limbah NaZ.

Kata kunci: immobilisasi, limbah thorium, resin epoksi, zeolit.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF IMMOBILIZED ZEOLITE CONTAINING THORIUM WASTE. At this time being, thorium wastes in Center for Radioactive Waste Technology (CRWT) are conditioned in 200 L stainless steel drums and kept in interim storage. This thorium waste are the contaminated soils from lantern mantle factory, PT. Tasuma Jaya. Thorium is an alpha emitter radionuclide and has long half-life, therefore it needs a proper waste management and it needs to be immobilized with the proper matrix to minimize the leaching of radionuclide to the environment. This study has done the immobilization of zeolite containing simulated thorium waste with epoxy resin. First the zeolite containing thorium waste was mixed with the epoxy resin and placed in cylindrical molds of 29.5 mm of diameter and 24.5 mm of height and allowed to cool down. The characterization of waste block was done by measuring the density, mechanical strength, and leach rate of the waste block. The measurement showed that the optimum condition of both waste block ZA2B and NaZ were for the 30 % waste loading which the density, mechanical strength, and leach rate are 1.0765 g/cm³, 58.05 MPa, and 0.52 g/cm².day respectively for ZA2B waste block and 1.0647 g/cm³, 74.88 MPa, 0.52 g/cm².day respectively for NaZ waste block.

Keywords: immobilization, thorium waste, epoxy resin, zeolite.

PENDAHULUAN

Salah satu limbah yang harus dikelola oleh Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) adalah limbah thorium. Limbah ini merupakan abu kaos lampu dan tanah yang terkontaminasi thorium dari pabrik kaos lampu PT. Tasuma Jaya. Hasil analisis menggunakan Multi Channel Analyzer (MCA) menunjukkan bahwa limbah tersebut mengandung ²²⁷Th (2,95 x 10⁻⁵ Ci.m⁻³), ²²⁸Ac (1,37 x 10⁻⁴ Ci.m⁻³), ²²⁸Th (6,54 x 10⁻³ Ci.m⁻³), dan ²²⁹Th (2,03 x 10⁻⁴ Ci.m⁻³) dan aktivitas totalnya 0,028972 Ci.m⁻³[1].

Saat ini, limbah thorium disimpan di tempat penyimpanan sementara PTLR dalam drum polietilena 100 liter dan drum ini dimasukkan ke dalam drum baja karbon 200 liter. Celah di antara drum diisi dengan beton, dan di bagian atas drum dimasukkan arang aktif untuk menyerap gas thoron, produk peluruhan thorium. Adanya thorium-228 (Th-228) dalam

limbah thorium yang mempunyai waktu paruh panjang (± 1900 tahun) menyebabkan pentingnya dilakukan penggantian wadah limbah thorium sebelum terjadi *leaching* Th-228 dan anak luruhnya ke lingkungan.

Kondisioning limbah thorium ini dapat dilakukan dengan melakukan ekstraksi thorium dari paket limbah kemudian melakukan reduksi volume dan mengunggul limbah hasil reduksi volume menggunakan matriks yang sesuai. Alternatif pelarut yang dapat digunakan untuk mengekstraksi thorium adalah NTAamide dalam larutan asam nitrat [2].

Thorium yang sudah diekstraksi ini direduksi volume nya menggunakan adsorben. Beberapa adsorben yang dapat digunakan untuk mereduksi volume limbah antara lain karbon aktif [3], resin penukar ion [4], zeolit [5], dan bentonit [6]. Grup penelitian kami [5] telah melakukan adsorpsi larutan thorium menggunakan zeolit alam yang telah dimodifikasi. Modifikasi ini meningkatkan kapasitas adsorpsi zeolit menjadi 120% jika dibandingkan dengan bentuk homoioniknya (Na-zeolit).

Setelah dilakukan reduksi volume, perlu dilakukan imobilisasi zeolit yang mengandung limbah thorium untuk meminimalisasi potensi terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya. Penelitian ini difokuskan pada imobilisasi adsorben yang telah digunakan untuk mengadsorpsi thorium. Eskander dkk[7] menggunakan semen untuk solidifikasi limbah organik cair scintillator. Polimer juga dapat digunakan sebagai matriks imobilisasi[8][1]. Mishra dkk[9] menggunakan gelas barium borosilikat untuk mengunggul limbah thorium.

Pada penelitian ini dipilih resin epoksi sebagai matriks pengunggul limbah karena epoksi merupakan resin termoset yang mempunyai kekuatan mekanik tinggi, adhesive dan prosesnya sederhana. Aisyah dkk menggunakan resin epoksi untuk mengunggul abu dan pasta yang mengandung limbah transurium[1].

Karakterisasi hasil blok limbah yang dilakukan adalah mengukur densitas, kuat tekan dan laju pelindihan. Uji densitas dilakukan untuk mengetahui homogenitas blok limbah yang dihasilkan. Uji kuat tekan dilakukan untuk mengetahui ketahanan mekanik blok limbah, dan uji lindih dilakukan untuk mengetahui potensi terlepasnya zat radioaktif ke lingkungan. Diharapkan hasil penelitian ini dapat menjadi alternative pengolahan limbah thorium di PTLR-BATAN.

METODOLOGI

Studi tentang penyerapan thorium ke dalam zeolit yang termodifikasi telah dilakukan pada penelitian sebelumnya [5]. Larutan thorium (IV) dikontakkan dengan zeolit selama 120 menit dan dianalisis dengan spektroskopi serapan atom (SAA) setelah dilakukan pemisahan zeolit melalui sentrifugasi dan penyaringan.

Proses imobilisasi diawali dengan mencampur resin bisphenol A epichlorohydrin dengan hardener (1:1) sampai homogen. Kemudian ditambahkan zeolit yang telah jenuh dengan limbah thorium dan dilakukan variasi kandungan limbah (0, 10, 20, 30, 40, 50 %w/w). Polimer-limbah diaduk sampai homogen dan dicetak dalam cetakan berbentuk silinder ($D=29,5$ mm, $t=24,5$ mm) dan didiamkan selama ± 8 jam agar kering. Produk imobilisasi disebut sebagai blok limbah yang kekuatan kimia, fisik, dan mekaniknya dikarakterisasi dengan cara menentukan densitas, kuat tekan dan laju lindih.

Uji densitas dilakukan dengan menggunakan helium pycnometer dengan parameter analisis: gas yang digunakan dry helium, suhu $22,7^{\circ}\text{C}$, tekanan 19 psi, pengulangan 10 kali. Kuat tekan blok limbah ditentukan dengan menggunakan alat tekan hidrolik, blok limbah ditekan sampai pecah. Pengujian kuat tekan dilakukan pada suhu ruang. Uji pelindihan dilakukan dengan caramerendam blok polimer limbah dalam aquadest kemudian dipanaskan dengan cara refluks pada suhu 100°C selama 1x24 jam. Air rendaman yang sudah dingin (air pelindih) kemudian dianalisis dengan menggunakan spektrometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi thorium yang terlarut dalam air pelindih tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses imobilisasi zeolit yang mengandung limbah thorium ini bertujuan untuk mengunggul limbah thorium dalam matriks padat homogen yang mempunyai karakteristik mekanik, fisik, dan kimia yang memenuhi kriteria untuk transportasi dan disposal. Hasil imobilisasi limbah dengan matriks polimer resin epoksi dapat dilihat pada Gambar 1. Adanya gelembung dalam blok limbah disebabkan oleh degradasi polimer saat proses

homogenisasi. Cota dkk [8] melakukan pencegahan terjadinya gelembung pada blok limbah dengan memberi sedikit tekanan saat proses pendinginan blok limbah.

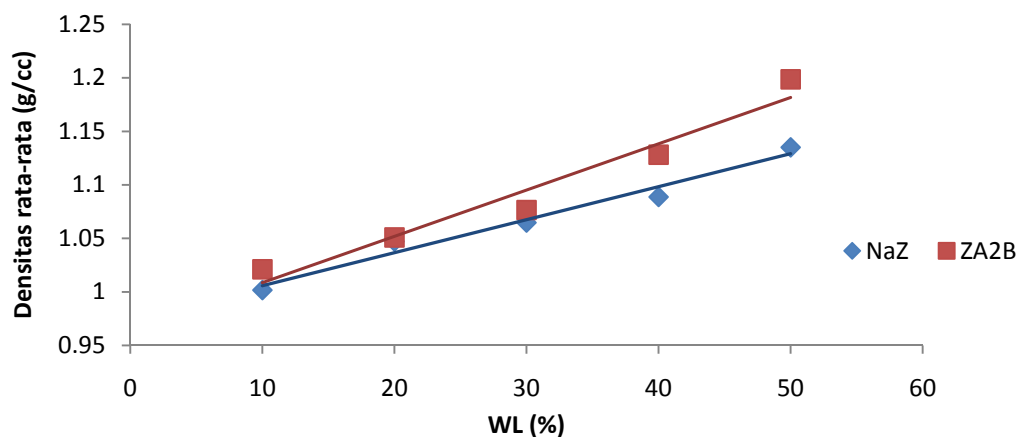


Gambar 1. Hasil imobilisasi limbah dengan matriks polimer resin epoksi

Homogenitas blok limbah ditentukan dengan mengukur densitas masing-masing blok limbah dan menghitung koefisien variasinya. Blok limbah dengan homogenitas yang baik mempunyai koefisien variasi kurang dari 5% [8]. Koefisien variasi hasil pengukuran densitas masing-masing blok limbah menunjukkan nilai kurang dari 5% yang berarti bahwa blok limbah yang dibuat mempunyai homogenitas yang baik. Statistik hasil pengukuran densitas blok limbah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel hasil karakteristik uji densitas blok limbah

Zeolit	WL(%)	Standardevisiasi (g/cm ³)	Koefisienvariasi (%)
Na-Z	10	0.0000	0.0019
	20	0.0005	0.0523
	30	0.0003	0.0300
	40	0.0001	0.0093
	50	0.0003	0.0224
ZA2B	10	0.0002	0.0240
	20	0.0001	0.0116
	30	0.0011	0.1055
	40	0.0002	0.0164
	50	0.0004	0.0311

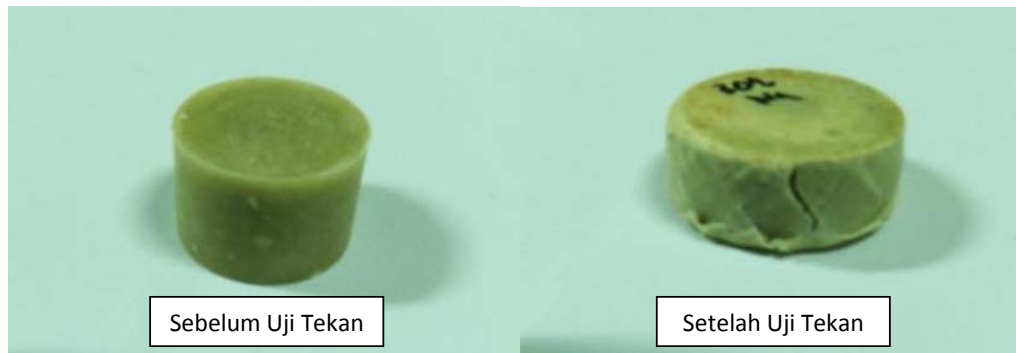


Gambar 2. Grafik densitas blok limbah

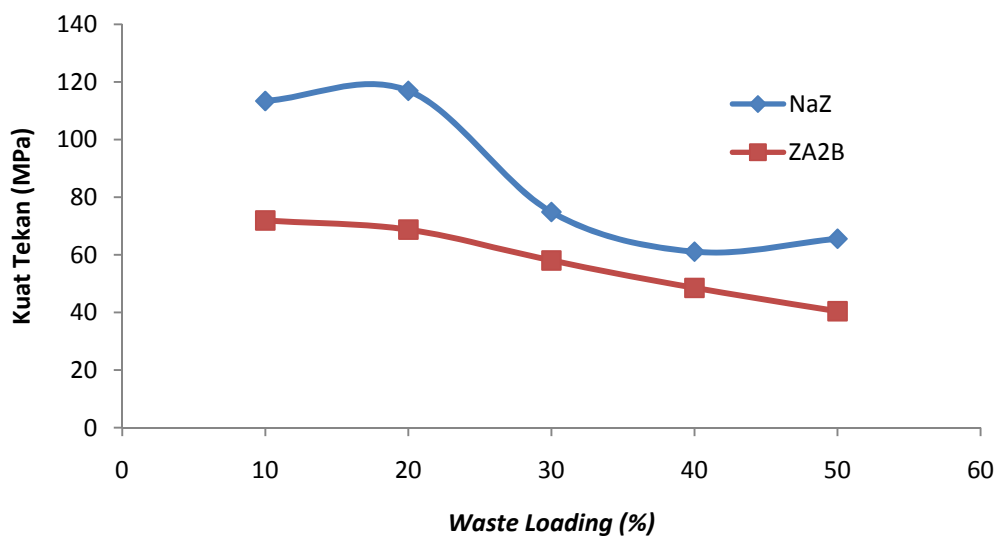
Dari Gambar 2 terlihat bahwa blok limbah yang berasal dari ZA2B mempunyai densitas yang lebih besar dibandingkan blok limbah dari NaZ. Hal ini karena mesopori yang terdapat pada ZA2B membuat ZA2B dapat mengadsorpsi thorium lebih banyak daripada NaZ sehingga saat diimobilisasi mempunyai densitas blok limbah yang lebih besar.

Karakteristik kuat tekan diperlukan untuk memperhitungkan kekuatan kemasan limbah dalam menahan beban tumpukan. Kemasan limbah yang mempunyai kuat tekan yang besar

mampu menahantumpukan yang lebih banyak yang berarti dapat menghemat luasan lahan tempat penyimpanan limbah, baik penyimpanan sementara maupun penyimpanan lestari.



Gambar 3. Perbandingan blok limbah sebelum dan setelah mengalami uji kuat tekan



Gambar 4. Grafik kuat tekan blok limbah

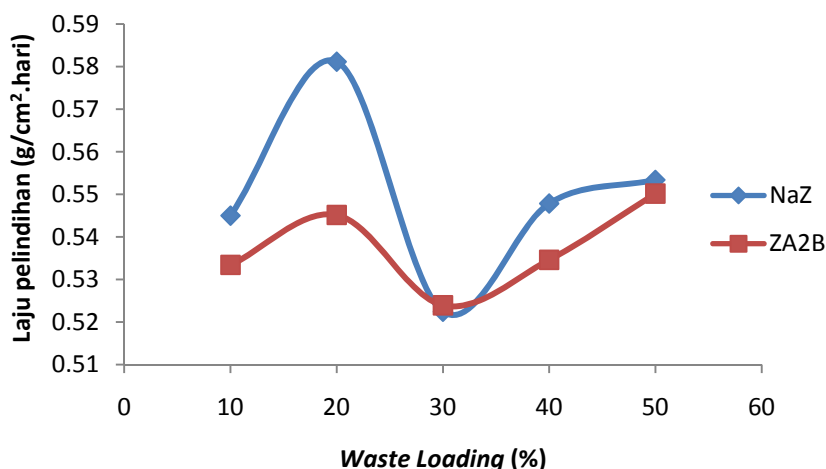
Hasil karakterisasi kuat tekan blok limbah dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4. Gambar 4 memperlihatkan bahwa blok polimer limbah zeolit ZA2B untuk semua *waste loading* mempunyai kuat tekan yang lebih rendah dibandingkan blok polimer limbah zeolit NaZ. Hal ini disebabkan oleh kurang optimalnya adsorpsi thorium pada ZA2B sehingga mesopori yang sudah terbentuk pada zeolit ZA2B belum terisi dengan optimal. Mesopori ini menyebabkan rongga yang lebih besar pada zeolit ZA2B yang membuat blok limbah ZA2B yang belum mengadsorpsi thorium secara optimal lebih rapuh dibandingkan blok limbah NaZ.

Kurangnya data kuat tekan blok limbah dalam matriks polimer menyebabkan tidak dapat ditentukan apakah hasil uji kuat tekan pada penelitian ini dapat diterima atau tidak. Berdasarkan U.S.NRC, 1991[10] standard *Waste Acceptance Criteria (WAC)* kuat tekan untuk blok limbah dalam matriks semen adalah minimum 40 MPa. Jika mengikuti standar U.S.NRC, hasil uji kuat tekan blok limbah pada penelitian ini memenuhi standar tersebut.

Laju pelindihan merupakan salah satu karakteristik blok limbah yang penting untuk mengevaluasi hasil olahan, karena tujuan akhir imobilisasi limbah adalah memperkecil potensi terlepasnya radionuklida yang ada dalam limbah ke lingkungan. Laju pelindihan adalah lepasnya sejumlah radionuklida dari blok limbah.

Pada penelitian ini uji pelindihan dilakukan dengan cara merendam blok polimer limbah dalam aquadest kemudian dipanaskan dengan cara refluks pada suhu 100°C selama 1x24 jam. Air rendaman yang sudah dingin (air pelindih) kemudian dianalisis dengan

menggunakan spektrometer UV-Vis untuk mengetahui konsentrasi thorium yang terlarut dalam air pelindih tersebut.



Gambar 5. Grafik laju pelindihan blok limbah

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa hasil uji pelindihan masih menunjukkan adanya thorium yang terlepas dari blok limbah (laju pelindihan rata-rata 0,54 g/cm².hari). Sementara hasil imobilisasi limbah yang baik adalah yang mempunyai hasil uji pelindihan negatif atau tidak ada thorium yang terdeteksi pada air pelindih. Terlepasnya thorium dari blok limbah dapat dikarenakan pengadukan yang kurang baik saat pembuatan blok limbah sehingga limbah yang akan diimobilisasi tidak homogen dan tidak terikat kuat dalam blok polimer. Dari penelitian ini, blok limbah dengan *waste loading* 30% mempunyai laju pelindihan yang paling kecil.

KESIMPULAN

Resin epoksi dapat digunakan sebagai matriks yang baik untuk imobilisasi zeolit yang mengandung limbah thorium. Hasil perhitungan koefisien variasi uji densitas menunjukkan bahwa sudah terbentuk blok limbah yang homogen. Hasil uji kuat tekan juga memenuhi standard WAC US-NRC. Hasil uji lindih menunjukkan bahwa blok limbah dengan laju lindih paling kecil adalah blok limbah dengan *waste loading* 30%. Proses ini dapat dijadikan alternative untuk kondisioning limbah thorium yang ada di PTLR. Namun perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam tentang cara mengekstraksi limbah thorium dari wadah paket limbah berupa semen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR) - BATAN yang telah menyediakan lokasi dan bahan untuk penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Sdr. Yuli Purwantodan Dwi Luhur Ibnu Saputra dari PTLR atas diskusi yang membangun serta kepada Ibu Mujinem dari Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir atas bantuannya dalam analisis densitas blok limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aisyah;, H. Martono;, and Wati, "KARAKTERISTIK HASIL IMOBILISASI ABU DAN PASTA," *J. Teknol. Pengelolaan Limbah*, vol. 10, no. 2, pp. 9–16, Jakarta(2007).
- [2] H. Huang, S. Ding, D. Su, N. Liu, J. Wang, M. Tan, and J. Fei, "High selective extraction for thorium (IV) with NTAamide in nitric acid solution : Synthesis , solvent extraction and structure studies," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 138, pp. 65–70 (2014).
- [3] C. Kütahyalı and M. Eral, "Sorption studies of uranium and thorium on activated carbon prepared from olive stones: Kinetic and thermodynamic aspects," *J. Nucl. Mater.*, vol. 396, no. 2–3, pp. 251–256(2010).

- [4] A. Rahmani-Sani, A. Hosseini-Bandegharai, S. H. Hosseini, K. Kharghani, H. Zarei, and A. Rastegar, "Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies on sorption of uranium and thorium from aqueous solutions by a selective impregnated resin containing carminic acid," *J. Hazard. Mater.*, vol. 286, pp. 152–163 (2015).
- [5] G. Nurliati, Y. K. Krisnandi, R. Sihombing, and Z. Salimin, "Studies of Modification of Zeolite by Tandem Acid-Base Treatments and its Adsorptions Performance Towards Thorium," *Atom Indones.*, vol. 41, no. 2, pp. 87–95 (2015).
- [6] D. L. Guerra, R. R. Viana, and C. Airoidi, "Adsorption of thorium cation on modified clays MTTZ derivative," *J. Hazard. Mater.*, vol. 168, no. 2–3, pp. 1504–1511 (2009).
- [7] S. B. Eskander, S. M. Abdel Aziz, H. El-Didamony, and M. I. Sayed, "Immobilization of low and intermediate level of organic radioactive wastes in cement matrices," *J. Hazard. Mater.*, vol. 190, no. 1–3, pp. 969–979 (2011).
- [8] S. Cota, T. V. S. de Oliveira, M. Senne, G. Pacheco, and M. de Albuquerque, "Immobilization of simulated evaporator concentrate waste in low density polyethylene," *Prog. Nucl. Energy*, vol. 51, no. 2, pp. 236–239 (2009).
- [9] R. K. Mishra, P. Sengupta, C. P. Kaushik, A. K. Tyagi, G. B. Kale, and K. Raj, "Studies on immobilization of thorium in barium borosilicate glass," *J. Nucl. Mater.*, vol. 360, no. 2, pp. 143–150 (2007).
- [10] U. NRC, "Waste Form Technical Position, Revision 1," U.S.NRC (1991).

ASSESSMENT OF THE RADIOLOGICAL IMPACT OF THE WASTE TREATMENT FOR HID LAMPS CONTAINING Kr-85 AND Th-232

Moch Romli, Suhartono

PTLR – BATAN, Gd. 50 Kawasan PUSPITEK Serpong, Tangerang Selatan, 15310
email: mromli@batan.go.id

ABSTRACT

ASSESSMENT OF THE RADIOLOGICAL IMPACT OF THE WASTE TREATMENT FOR HID LAMPS CONTAINING KR-85 AND TH-232. High-Intensity Discharge (HID) lamp technology utilizing a radioactive substance into its composition materials. Based on the recommendations of the regulatory body, HID lamps waste of the lighting company processed by Center for Radioactive Waste Technology (CRWT). Due HID lamps waste is new waste types accepted by CRWT which contain Kr-85 and Th-232, it is necessary to study the safety related processing will be done. For solid waste such as HID lamps, one type of processing that can be done is compaction. From the stages of activities in compaction processing, there are potential hazards of external and internal exposure. Dose contributions received by workers coming from external radiation, exposure originating from the broken lamps and the unbroken lamps, as well as internal radiation exposure from the inhalation. From the calculation, each worker earned a total radiation dose of 6.39 μSv for overall HID lamps waste received from PT. Panasonic Lighting Indonesia which is wasting in 2014.

Keywords: HID lamp, waste, Kr-85, Th-232, safety related processing, dose, compaction

ABSTRAK

KAJIAN DAMPAK RADIOLOGI DARI PENGOLAHAN LIMBAH LAMPU HID DENGAN KANDUNGAN KR-85 DAN TH-232. Teknologi lampu High-Intensity Discharge (HID) memanfaatkan radioaktif dalam komposisi materialnya. Berdasarkan rekomendasi dari badan pengawas, limbah lampu HID dari produsen lampu harus diolah oleh Pusat Teknologi Limbah Radioaktif (PTLR). Karena limbah lampu HID yang mengandung Kr-85 dan Th-232 ini merupakan limbah jenis baru yang diterima oleh PTLR, maka dibutuhkan kajian keselamatan terkait proses pengolahan yang akan dilakukan. Untuk limbah padat seperti lampu HID ini, salah satu jenis pengolahan yang dapat dilakukan adalah dengan kompaksi. Dari tahapan kegiatan dalam proses kompaksi, ada potensi bahaya baik yang berasal dari paparan eksternal dan internal. Kontribusi dosis yang diterima oleh pekerja berasal dari radiasi eksternal, berasal dari lampu yang pecah dan yang tidak pecah, dan radiasi internal yang berasal dari inhalasi. Dari hasil perhitungan, masing-masing pekerja mendapatkan total dosis 6.39 μSv selama pengolahan terhadap seluruh limbah lampu HID yang diterima dari PT. Panasonic Lighting Indonesia di tahun 2014.

Kata kunci : Lampu HID, limbah, Kr-85, Th-232, keselamatan terkait proses, dosis, kompaksi

INTRODUCTION

In 1953 United Nations Atoms for Peace address, Presiden Eisenhower specifically challenged scientist and engineers to harness the atom for humanitarian applications in medicine, agriculture, and other non-power aspects of direct benefit. Then nuclear technology, in particular radioactive substances are widely used outside the energy goals. One of the use of nuclear technology that is rapidly in the industry, ranging from the use of the process control, plant diagnostics, material development, material testing & inspection, material composition, energy (non-nuclear power), and personal care and conveniences. [1]

In use in the field of material development, unique properties owned radioactive material is widely used in specialty products. One that characteristic the properties of the radioactive substances are High-Intensity Discharge (HID) lamps. Some of lighting industry manufactures products, which may partly contain negligibly small amounts of radioactive substances. These substance are indispensable for the high performance of the products and are entirely safe as used at any time of the life cycle of the product. The application of

radioactive substances in so called "consumer products" is restricted by severe legal regulations with regard to the safety of the consumer. There are generally three reasons for the application of radioactive substances in lighting products such as : ionisation of the filling gas inside the product in order to generate free electrons for starting the ignition and enhancing the discharge, decreasing of the electron workfunction at the top of the tungsten-cathode for better emission, and improvement of the metalurgical properties of the tungsten-electrodes (especially by Th, which is resistant also at very high temperatures). These applications are only relevant in discharge lamps and starters for fluorescent lamps (function of glow switch). [2]

HID lamps that have wasted to Center for Radioactive Waste Technology (CRWT) must be managed and processed in an appropriate manner so as not to pose a hazard to workers, the public, and the environment. The purpose of this assessment was to determine the HID lamp waste management method most likely to be based on a radioactive waste installation capacity and radiological safety impacts of waste treatment method is selected.

THEORY

An assessment was carried out of doses received by workers who individuals most exposed during waste treatment of these lamps. Waste treatment process consists of several stages which contribute doses to workers. Some of the variables which give effect to the dose acceptance of worker is kind of the process and stages of processing (including work duration), the type and activity of radionuclides contained in the waste.

HID Lamps

A number of lamps are available that may contain the low level of radioactivity. The lamps fall into three broad categories : high-intensity discharge (HID) lamps; one type of electrodeless induction lamp and starters or glow switches for fluorescent lamp system, used as starting aid for fluorescent tubes and compact fluorescent lamps. All these lamps are used predominantly in professional lighting. [3]

Krypton gas containing Kr-85 is used as a starting aid in HID and electrodeless induction lamps and is generally mixed with argon and/or neon gas. This noble-gas mixture is contained in the arc tube of a lamp, which has a ceramic or quartz glass wall at least 1 mm thick. For most lamps containing K-85r, the arc tube is housed in an outer envelope made of soft glass, hard glass or quartz; the exceptions are 'burner only' quartz glass lamps which include the electrodeless induction lamps as well as some special HID lamps. The induction lamps containing Kr-85 are only sold in very small quantities. Kr-85 is also used in the glow-switches of older fluorescent lamp system, either mounted into a plastic canister as used in fluorescent tube, or as a unit permanently mounted in the base of a compact fluorescent lamp with two pins.

Naturally occurring thorium containing Th-232 and Th-228 is used as ThO₂ in the electrodes of HID lamps to improve metallurgical properties, either in thoriated tungsten electrodes or as coating electrodes. The lamps are manufactured with chemically separated thorium. This means the progeny associated with Th-232 and Th-228 are initially not present. Over a lamp's lifetime, which if conservatively assumed to be 15 years, the activity of the progeny in the decay chain of Th-232 will reach 75% of the activity of Th-232. However, for the purposes of this study, it was conservatively assumed that secular equilibrium was reached by the end of the lifetime of the lamp, when it is sent for recycling or disposal. [4]

Based on the acceptance of the HID lamps waste of PT. Panasonic Lighting Indonesia in May 2014, the technical specifications of HID lamps accepted by the Radioactive Waste Technology Center are as follows in Figure 1 and Table 1.

Treatment for Solid Radioactive Waste Treatment

Treatment for solid waste done in several ways, namely by compaction, incineration, and direct immobilization. For HID lamps waste of PT. Panasonic Lighting Indonesia, there are 3 (three) selection of the processing method. Selection of the most probable process is the method of compaction. Although the volume reduction of the incineration process is better, but considering the melting point of the composition of HID lamps are glass (1580°C) and tungsten (3422°C), the incineration facilities in CRWT not afford to burn the waste perfectly with the maximum temperature held 1100°C.

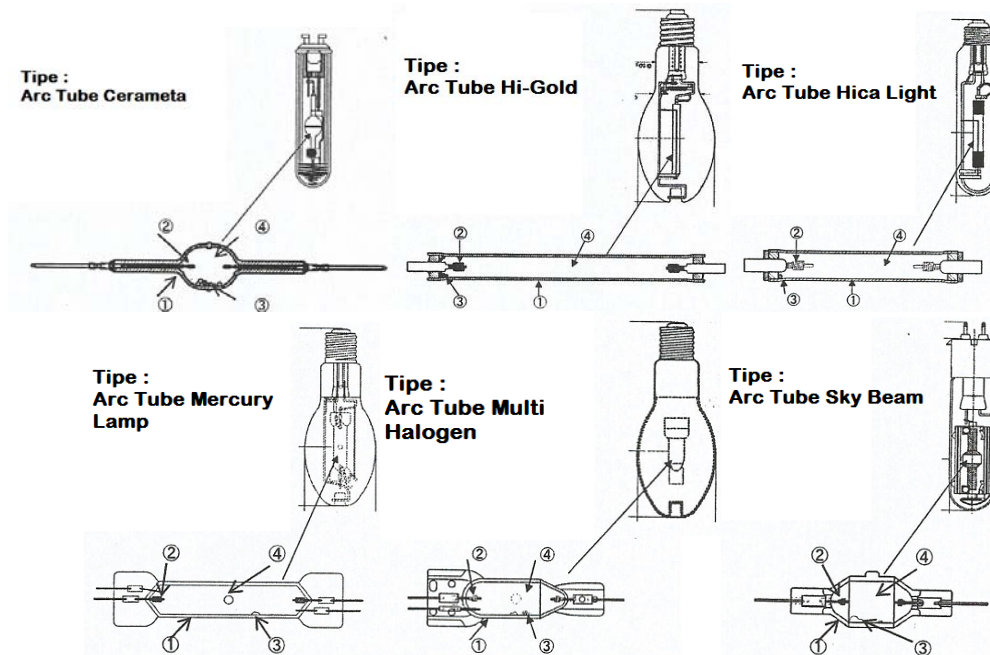


Figure 1. Technical Specification of HID Lamps from PT. Panasonic Lighting Indonesia (1 : discharge tube; 2 : electrode; 3 : enclosed metal; 4 : Filler gas) [5]

Table 1. Radionuclides contain in HID Lamps Waste from PT. Panasonic Lighting Indonesia[6]

Types of Lamps	Radionuclides	Activity@ (Bq)	Number of lamps	Activity concentration (Bq/gr)	Number of package
Mercury Lamp (H1000)	Th-232	157.5	3743	2.3	drum 200 L (1 unit)
Cerameta (M400CL)	Kr-85	2207.6	6016	146.2	drum 200 L (1 unit)
Multi Halogen (M1000L/BH-SC)	Th-232	182.1	2796	1.6	drum 100 L (1 unit)
	Kr-85	14663.4		334.3	
Sky Beam (MT1000S)	Th-232	182	1644	2.8	drum 100 L (1 unit)
	Kr-85	4640.5		128.2	
Hica Light (HICA400)	Th-232	54.8	995	2.8	drum 200 L (1 unit)
Hi-Gold (NH940L)	Th-232	79.1	1693	2.3	drum 200 L (1 unit)

Characteristics of solid radioactive waste that will be processed using the compaction must fulfill the waste acceptance criteria as follows in Table 2.

Table 2. Radioactivity Limits of Compactable Solid Waste [6]

Limit Criteria	Limitation
Alfa (α)	Maximum activity 3.7×10^6 Bq/m ³ (10^{-4} Ci/m ³),
Gross beta (β)/ gamma (γ)	Maximum activity 3.7×10^8 Bq/m ³ (10^{-2} Ci/m ³).
Dose rate in surface drum 100 L/ package	500 μ Sv/hour per drum 100 L or per package

Radiological Assessment

The study considered a range of exposure scenarios in order to estimate the highest doses that might be received by individuals who worked in waste treatment process. The dose received from HID lamps waste treatment process is the contribution of the external and internal exposure. If viewed from each of these types of HID lamps are wasting to CRWT in May 2014, the concentration of the activity of Th-232 was still under clearance restrictions in BAPETEN Head Regulation No. 16 of 2012 which is 10 Bq/g. As for the Kr-85 radionuclides are not taken into account because the clearance level Kr-85 is a noble gas that does not react with biological tissues. Nevertheless, external exposure of Kr-85 still be calculated.

HID lamps containing Kr-85, while still confined in the lamp, has the potential of gamma radiation and bremsstrahlung (resulting from beta radiation striking the ceramic layer/ quartz glass). The amount of radiation exposure bremsstrahlung arising from exposure 0.7 to gamma. While at the time the lamps had been broken, Kr-85 has the potential hazards of exposure to external radiation (beta and gamma). But no potential internal exposure for Kr-85 is a noble gas that does not react with biological tissues. Th-232 is used in HID lamps is Naturally Occuring Radioactive Material (NORM) that has been purified from his progeny through chemical processes. After a period of use of 15 (fifteen) years, the activity of progeny is an estimated 75% of the parent radionuclide activity. Th-232 and its progeny emit alpha radiation, beta, and gamma. When the HID lamp is intact with Th-232, there is a potential hazard of external exposure, but when the lamps had been broken would pose a potential hazard of external exposure and contamination.[7]

Radioactive waste treatment will be possible to do if the work area's dose rate caused not exceed 10 µSv/hr or dose produced does not exceed 15 mSv/year (dose constraint IPLR). If exceed these limits will require the intervention or any other method that produces the use of a potential radiation hazard smaller.

METHODOLOGY

The study was conducted in the following stages:

1. Determination of the type of processing
2. Identify the phases of activity and potential hazards (including the pathways of radiation exposure);
3. Calculation of the dose of each stage of activity (external and internal dose);
4. Calculation of the cumulative dose of the treatment process.

From all of the possible processing to be done, there are 3 (three) doses revenue potential originating from external and internal dose. The external dose is derived from 2 (two) different circumstances, namely that comes from exposure to radiation when the lamp is intact and by the time the lamps have been broken. By the time the lamps are still intact, in addition, there is the exposure of radionuclides Th-232, there is exposure to gamma and bremsstrahlung significant of Kr-85 beta radiation striking the ceramic layer/ quartz glass. By the time the lamps had been broken, the contribution of external exposure derived from the Th-232 and steam immersion of Kr-85. While the dose internal derived from potential inhalation of dust containing Th-232.

External dose calculation are derived from the broken lamp follows the formula :

$$D_{broken} = F_{broken} \times H_{skin} \times W_{skin} \times \frac{S_{contact}}{S_{body}} \dots \dots \dots (1)$$

- D_{broken} = the doses from external exposure to workers from handling broken lamps
- F_{broken} = the fraction of lamps broken, example 50% -> 0,5
- H_{skin} = the equivalent dose to skin (Sv/yr)
- W_{skin} = the tissue weighting factor for skin, 0,01 [8]
- S_{contact} = the area of hand (assumed : palm of hand) in contact with lamp, ±100 cm²
- S_{body} = the surface area of the body exposed to radiation, 3000 cm² [9]

While H_{skin} calculated according to the equation:

$$H_{skin} = \left(\frac{nA}{W_{segregation} \times S_{contact}} \right) \times T_{segregation} (DR_{skin(1)} + DR_{skin(40)} \times SF) \dots \dots \dots (2)$$

- n = the number of lamps containing radioactive material being processed taken
- A = the activity in each lamp (Bq)
- N_{segregation} = the numbers of workers involved with segregation & preparation the lamp
- T_{segregation} = the time spent handling lamps during the segregating & preparing process
- DR_{skinα(7)} = the equivalent gamma dose rate to basal layer of skin epidermis (7 mg/cm²) (Sv h⁻¹ Bq⁻¹ cm²)
- DR_{skinβ(40)} = the equivalent beta dose rate to basal layer of skin epidermis (40 mg/cm²) (Sv h⁻¹ Bq⁻¹ cm²)
- SF = shielding factor

The dose from handling unbroken lamps was estimated using the following equation :

$$D_{unbroken} = (1 - F_{broken}) n A T_{segregation} DR_{\alpha(7)} \dots \dots \dots (3)$$

DR_{α(30)} = the effective dose rate per unit activity concentration (Sv h⁻¹ per Bq)

For internal dose from the inhalation, calculated according to the equation:

$$D_{inh} = C_{air} T_{exp} R_{inh} DC_{inh} \dots \dots \dots (4)$$

- D_{inh} = the doses from inhalation (Sv/yr)
- C_{air} = the activity concentration in the air (Bq m⁻³)
- T_{exp} = the exposure time in process duration (h yr⁻¹)
- R_{inh} = the inhalation rate (m³ h⁻¹)
- DC_{inh} = the dose coefficient for inhalation for adult members (Sv Bq⁻¹)

If each contributor doses have been taken into account, the total dosage will be obtained by:

$$D_{tot} = D_{broken} + D_{unbroken} + D_{inh} \dots \dots \dots (5)$$

Of course, the size of each dose is derived from multiple phases of activity of the type of processing selected.

RESULTS AND DISCUSSION

With radioactive waste treatment method chosen is compacted, then identified the potential hazard to the working stages as follows in Table 3. At the dose calculation, dose revenue potential derived from transportation activities of interims storage facility, temporary storage in the processing facility (worker standing near the waste), waste segregation and the preparation activities, processing, conditioning and post-processing (including preparation and cementation).

In addition to identifying the stages of the work and the potential hazards, necessary to evaluate the characteristics of the waste acceptance criteria at HID lamps to solid waste Compacted as shown in Table 4. Activity concentration taken into account only the activity concentration of radionuclides dominant Th-232 emits alpha radiation. M400CL Cerameta lamp type and Multi Halogen M1000L/BH-SC containing only radionuclide Kr-85 are not taken into account the concentration of activity because it is assumed when compacted, the gas Kr-85 release goes to offgas system.

Some other requirements to meet the waste acceptance criteria is the maximum weight of waste packed in drums of 100 L is 30 kg, so as to estimate the number of lamps that exist within 1 (one) drum 100 L is obtained by dividing the maximum weight of the waste in drums of 100 L (i.e. 30 kg) with an average weight of 1 (one) lamp for certain types of lamps. From this calculation in addition to the maximum capacity available in drums of 100 L, also used as an evaluation concentration range activity (alpha radiation) in drums of 100 L. Based on compliance with the waste acceptance criteria, the lamps repacked into the drum 100 L with different the number of drum. Type Mercury Lamp (H1000) packed reloaded into 8 drums of 100 L, type Cerameta (M4000CL) packed reloaded into 3 drums of 100 L, type Multi Halogen (M1000L / BH-SC) packed reloaded into 4 (four) drums of 100 L, type Sky

Beam (MT2000B) packed reloaded into 4 drums of 100 L, type Hica Light (HICA400) packed into 1 drum of 100 L, and the type of Hi-Gold (NH940L) packed reloaded into 2 drums of 100 L. The number of 100 L drums results of the lamps lug affect workers' contact time for each phase of work. In addition, to calculate the contribution of radiation exposure, it should be assumed magnitude of the fraction of lamps that broke (F_{broken} as shown in Table 5) for each phase of activity.

Table 3. Work Stages Compaction and the Hazard Potential

Activity	Exposure Pathways
Preparation (transportation)	External exposure
Preparation & Segregation	Inhalation External exposure External from vapor immersion Kr-85 of broken lamps
Compaction Process	External exposure External from vapor immersion Kr-85 of broken lamps
Cementation Preparation	External exposure
Cementation	External exposure

Table 4. Evaluation of Characteristics of Waste to Waste Acceptance Criteria

Number of Lamps	Activity Th-232 @lamp (Bq)	Weight @lamp (gr)	Number of lamps per drum 100 liter/ 30 Kg	Concentration Activity per drum 100 L (Bq/m^3)	WAC Alpha Radiation Compacted Solid Waste (Bq/m^3)
Mercury Lamp (H1000)	157.5	67.2	446	7.03E+05	3.70E+06
Cerameta (M400CL)	-	15.1	1987	-	-
Multi Halogen (M1000L/BH-SC)	-	43.9	683	-	-
Sky Beam (MT2000B)	182	71.8	418	7.60E+05	
Hica Light (HICA400)	54.8	19.3	1554	8.52E+05	
Hi-Gold (NH940L)	79.1	34.1	880	6.96E+05	

Table 5. F_{broken} Assumed on Stages of Activity for Lamps Type and Activity Duration for Every Stage and Each Lamps

Activity	F_{broken} (all types)	Activity Duration for Each Lamps Types (Hour)					
		Mercury	Cerameta	Multi Hal	Sky Beam	Hica	Hi-Gold
Preparation (include transporation)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Interim Storage in Work Area	0.5	1	1	1	1	1	1
Preparation & Segregation Waste	0.5	2	1	1	1	1	1
Compaction Feed	0.5	1	1	1	1	1	1
Cementation Preparation	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Cementation	1	1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Conditioning post cementation	1	1	1	1	1	1	1

Assumptions duration of employment for each type of lamp is estimated by the number of drums of 100 L is generated from repackaging the HID lamps waste. In general, before compaction the fraction of lamps that broke an estimated 50% (0.5) and after the compacted to 100% (1). Workers who perform all stages of the compacting work consists of 3 people with the same distribution of large exposures. So as to contribute a dose of sewage treatment of broken lamps coming from all stages of the compacting process. In the calculation only used one of the radionuclides that have a higher activity if within 1 lamps there are 2 types of radionuclides. The value of the equivalent gamma dose rate to the basal layer of skin epidermis for radionuclides Th-232 of 2.2×10^{-9} (Sv h⁻¹ Bq⁻¹ cm²) and for the Kr-85 radionuclide magnitude is 0 (zero). Meanwhile, the value of beta dose rate equivalent to the basal layer of skin epidermis for the two radionuclides (Th-232 and Kr-85) is 0 (zero), so that the calculation of the shielding factor is not necessary. Of assumptions and values that have been determined, then the dose contribution of each type of broken lamp as shown in Table 6.

For calculation of dose contribution from unbroken (**Error! Reference source not found.**) only came from stage of activity transportation till compaction ($F_{unbroken} = 0,5$). Result doses from unbroken lamps are more significant because Kr-85 that still in the lamp glass has activity high enough and beta radiation from Kr-85 which strike the ceramic/ quartz glass result bremsstrahlung that contribute to external exposure significantly.

Dose contribution from internal exposure (inhalation) as shown in Table 8 that calculate only from preparation and segregation activity which has more hazard potential because the worker can direct contact to the waste. Duration for preparation activity was estimated by many of waste repacked in drum 100 L that will be feed to compaction. In this calculation only use one activity from radionuclide Th-232, whereas activity from radionuclide Kr-85 was not calculated because Kr-85 is inert gas that not reaction with biological tissues. The volume of Compaction room is 600 m³ with VAC flow rate 1400 m³/hour. Inhalation rate assumed to be 1,2 m³ h⁻¹ [8], and dose coefficient for inhalation for adult members for Kr-85 is 0 and Th-232 is $2,5 \times 10^{-5}$ Sv/Bq. Respirable fraction assumed is 0,002 and the fraction of activity available for release is assumed to be 0,1. [4].

Table 6. Dose Contribution from Stage of Activity for Each Broken Lamps Type

Lamps Type	Radionuclide	Activity @lamp (Bq)	Number of Lamps	Activity Duration Transportation - Compaction feed (hour)	Activity Duration cementation preparation - post cementation (hour)	H _{skin} (Sv) Transportation - Compaction Feed	H _{skin} (Sv) Cementation - Post Cementation	D _{broken} Transp ortation - Compaction Feed (uSv) with f _{broken} = 0,5	D _{broken} Cementation - Post Cementation (uSv) with f _{broken} = 1	D _{broken} Total (uSv)
Mercury Lamp (H1000)	Th-232	157.5	3743	4.5	3	1.95E-05	1.30E-05	0.003	0.004	0.008
Cerameta (M400CL)	Kr-85	2207.6	6016	3.5	2	0.00E+00	0.00E+00	0.000	0.000	0.000
Multi Halogen M1000L/BH-SC)	Kr-85	14663.4	2796	3.5	2	0.00E+00	0.00E+00	0.000	0.000	0.000
Sky Beam (MT2000B)	Kr-85	4640.5	1644	3.5	2	0.00E+00	0.00E+00	0.000	0.000	0.000
Hica Light (HICA400)	Th-232	54.8	995	3.5	2	1.40E-06	8.00E-07	0.000	0.000	0.000
Hi-Gold (NH940L)	Th-232	79.1	1693	3.5	2	3.44E-06	1.96E-06	0.001	0.001	0.001

Table 7. Dose Contribution of Unbroken HID Lamps from Stage of Activity Transportation till Compaction Feed

Lamps Type	Radionuclide	Activity @lamp (Bq)	Number of Lamps	Activity Duration Transportation - Compaction Feed (hour)	DR _h ⁽³⁰⁾ Sv h ⁻¹ Bq ⁻¹	D _{unbroken} (uSv)
Mercury Lamp (H1000)	Th-232	157.5	3743	4.5	3.61E-12	4.788396506
Cerameta (M400CL)	Kr-85	2207.6	6016	3.5	3.57E-15	0.082972558
Multi Halogen M1000L/BH-SC)	Kr-85	14663.4	2796	3.5	3.57E-15	0.256140418
Sky Beam (MT2000B)	Kr-85	4640.5	1644	3.5	3.57E-15	0.047662065
Hica Light (HICA400)	Th-232	54.8	995	3.5	3.61E-12	0.344468005
Hi-Gold (NH940L)	Th-232	79.1	1693	3.5	3.61E-12	0.846016225

Table 8. Dose Contribution from Inhalation in Stage Activity Preparation

Lamps Type	Nuclide	Activity @lamp (Bq)	R _{turn over} (air change rate)	Number of lamps	Activity Duration of preparation (hour)	C _{air} (Bq/m ³)	DC _{inh} Th-232 (Sv/Bq)	D _{inh} (uSv)
Mercury Lamp (H1000)	Th-232	157.5		3743	2	7.02E-05	4.50E-05	0.008
Cerameta (M400CL)	Kr-85	2207.6		6016	1	-	0	0
Multi Halogen (M1000L/BH-SC)	Kr-85	14663.4	140	2796	1	-	0	0
Sky Beam (MT2000B)	Th-232	182		1644	1	7.12E-05	4.50E-05	0.004
Hica Light (HICA400)	Th-232	54.8		995	1	1.30E-05	4.50E-05	0.001
Hi-Gold (NH940L)	Th-232	79.1		1693	1	3.19E-05	4.50E-05	0.002

After calculated doses from every pathways, then will calculate total dose for every worker as shown in Table 9.

Table 9. Total Dose Acceptance by Each Worker

Lamps Type	D _{inh} (μSv)	D _{broken} (μSv)	D _{unbroken} (μSv)	D _{total} (μSv)
Mercury Lamp (H1000)	7.58E-03	7.57E-03	4.79E+00	4.80E+00
Cerameta (M400CL)	0.00E+00	0.00E+00	8.30E-02	8.30E-02
Multi Halogen M1000L/BH-SC)	0.00E+00	0.00E+00	2.56E-01	2.56E-01
Sky Beam (MT2000B)	3.85E-03	0.00E+00	4.77E-02	5.15E-02
Hica Light (HICA400)	7.01E-04	5.00E-04	3.44E-01	3.46E-01
Hi-Gold (NH940L)	1.72E-03	1.23E-03	8.46E-01	8.49E-01
			Total	6.39E+00

The highest dose contribution came from the Mercury Lamp type for all of the pathways. Because the repackaging process of the Mercury Lamp type produce more amount of 100 L drums (8 drums), so that takes duration longer for each stage of the process than the another types of HID lamps. The compaction for all types of the HID lamps gives the dose amount 6.39 μSv in 35 work hours for each worker, or average 0.183 μSv/hour for each worker. The result dose is still below the dose constraint of Radioactive Waste Installation (RWI) was determined 10 μSv/hour. It means that the HID Lamps compaction activity can be done without the intervention. However, in this activity, the workers must be equipped with adequate Personal Protective Equipment (PPE). Especially at the preparation and segregation stage, the workers should be equipped gloves and mask due to the inhalation hazard potential.

CONCLUSION

The waste treatment process that probable to be done for HID Lamps waste is compaction. If stage activity of compaction done by 3 (three) workers for all waste of HID Lamps (wasting in May 2014), so every worker will be receive dose amount 6.39 μSv for 35 work hours, or average 0.183 μSv/hr. The result still below from RWI dose constraint 10 μSv/hr. The highest total contribution based on lamps type came from Mercury lamp type. And based on stage activity, the highest dose contributin came from preparation and segregation activity because has external and internal (inhalation) hazard potential.

REFERENCES

1. Walter, A. E. (2003). The Medical, Agricultural, and Industrial Applications of Nuclear Technology. (November 16-20, 2003).
2. Anonym. (2009). Ionizing Substances in Lighting Products. Bruxelles: ELC Federation.
3. M.P. Harvey, T. A. (2010). Assessment of the Radiological Impact of the Transport and Disposal of Light Bulbs Containing Tritium, Krypton-85 and Radioisotopes of Thorium. Oxfordshire: Health Protection Agency.
4. K.A. Jones, M. H. (2011). Assessment of the Radiological Impact of the Recycling and Disposal of Light Bulbs Containing Tritium, Krypton-85, and Radioisotopes of Thorium. Oxfordshire: Health Protection Agency.
5. Anonym. (2014). Berita Acara Serah Terima Limbah Radioaktif Nomor : 993/BN04 01/V/2014). Tangerang Selatan: PTLR - BATAN.
6. Suryanto, A. S. (2016). Kriteria Keberterimaan Limbah (Waste Acceptance Criteria) Limbah Radioaktif Padat Material Terkontaminasi Terkompaksi. Tangerang Selatan: PTLR - BATAN.
7. Smith, K., & Jones, A. (2003). Generalised Habit Data for Radiological Assessment (Vol. NRPB-W41). Chilton: NRPB.
8. ICRP. (2007). Recommendation of the ICRP "ICRP Publication 103". ICRP.
9. ICRP. (1991). The Biological Basis for Dose Limitation in the Skin "ICRP Publication 59". ICRP.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PENGAMBILAN LOGAM TANAH JARANG DALAM PASIR SENOTIM

Tri Handini, Sri Sukmajaya

Pusat Sains Dan Teknologi Akselerator (PSTA) – BATAN
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 ykbb Yogyakarta 55281
Telp.(0274) 488435, 484436 Fax.(0274) 489762
Email: handini@batan.go.id

ABSTRAK

PENGAMBILAN LOGAM TANAH JARANG DALAM PASIR SENOTIM. Telah dilakukan proses pengambilan logam tanah jarang (LTJ) dalam pasir senotim. Pasir senotim yang mempunyai kandungan utama itrium di dijesti dengan asam sulfat. Pada proses pengambilan tanah jarang (LTJ) ini dilakukan dengan variasi perbandingan berat pasir : asam sulfat, ukuran butir pasir, waktu dijesti dan proses *quenching*. Untuk mengetahui kadar logam tanah jarang (LTJ) dilakukan analisis menggunakan XRF. Diperoleh hasil terbaik pada perbandingan pasir dan asam sulfat 1 : 2, ukuran butir 200 mesh, waktu dijesti 5 jam, *quenching* menggunakan air dan tanah jarang (LTJ) terambil = 93 %

Kata kunci: logam tanah jarang, senotim

ABSTRACT

RARE EARTH METALS MAKING IN XENOTIM SAND. A rare earth metal (REM) filtration process has been performed in the sand of xenotim. The synthetic sand having the main content of the yttrium is digestion with sulfuric acid. In the process of making rare earth (REM) is done with variations in the weight ratio of sand : sulfuric acid, sand grain size, time of digestion and quenching process. To determine the rare earth metals (REM) content is done by using XRF analysis. The best results obtained in the ratio of sand and sulfuric acid was 1: 2, 200 mesh grain size, 5 hours of digestion time, quenching using water and rare earth (REM) taken 93%.

Keywords: rare earth metals, xenotime

PENDAHULUAN

Pasir senotim biasa ditulis dengan rumus molekul $LTJPO_4$ atau YPO_4 adalah merupakan salah satu mineral yang mengandung logam tanah jarang (Y, Dy, Gd, La, Ce, Nd). Pasir senotim biasanya digunakan sebagai salah satu sumber untuk mendapatkan logam itrium (Y). Indonesia terutama di pulau Bangka, Belitung, dan Singkep mempunyai sumber logam tanah jarang dalam bentuk pasir monasit dan senotim yang merupakan hasil samping penambang PT. Timah, Tbk. di Bangka[1].

Itrium (Y) merupakan unsur logam tanah jarang (LTJ) yang banyak terkandung dalam pasir senotim, disamping unsur-unsur lain seperti disprosium (Dy), gadolinium (Gd), samarium (Sm), lantanum (La), serium (Ce), dan neodimium (Nd). Itrium dalam bentuk oksida (Y_2O_3) digunakan sebagai bahan tabung reaktor, televisi berwarna, keramik, superkonduktor, laser, magnetik, sel bahan bakar oksida padat *SOFC (Solid Oxide Fuel Cell)*, filter gelombang mikro, dan lain-lain[3,6,,9,10].

Secara umum dapat dikatakan bahwa karena Y dan LTJ merupakan bahan unggul strategis-ekonomis, sukar diperoleh, dan kegunaannya sangat banyak, baik dibidang nuklir maupun non nuklir, maka banyak dipakai dibidang teknologi moderen (*high tech, green energy*)[5].

Proses dijesti dilakukan dengan mereaksikan pasir senotim dengan asam sulfat dengan ukuran butir pasir dan perbandingan asam tertentu sambil diaduk dan dipanaskan, sehingga komponen-komponen yang terkandung di dalamnya akan bereaksi. Dijesti pasir senotim bertujuan untuk memecah dan melarutkan sehingga masing-masing unsur logam tanah jarang dalam pasir senotim terlarut. Unsur-unsur LTJ yang terkandung dalam pasir senotim akan terlarut dalam air sehingga akan mudah dipisahkan dari pasir yang tidak terlarut dengan jalan pengenceran dan penyaringan. Larutan hasil dijesti biasanya kental

sehingga perlu di encerkan dengan air atau air es agar bisa dipisahkan filtrat hasil dijesti dengan residunya.

Pada penelitian ini dilakukan dijesti pasir senotim dengan metode asam menggunakan asam sulfat (H_2SO_4). Asam sulfat (H_2SO_4) mempunyai daya larut yang relatif tinggi terhadap pasir senotim, titik didih tinggi, harga relatif murah, mudah di dapat dan menjamin peralatan terhadap korosi bila di bandingkan dengan asam klorida (HCl) atau asam flourida (HF)[5].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan pengambilan itrium (Y) dalam pasir senotim. Untuk mengetahui keberhasilan pengambilan itrium dalam pasir senotim dihitung dengan:

$$Efisiensi = \frac{\text{berat pasir awal} - \text{berat pasir sisa}}{\text{berat pasir awal}} \times 100\% \quad (1)$$

METODOLOGI

Alat yang digunakan

Peralatan gelas laboratorium, timbangan, *magnetic stirrer*, alat pendar sinar – X.

Bahan yang digunakan

Pasir senotim, H_2SO_4 , es batu, aquades.

Cara kerja

1. Variasi perbandingan berat pasir dengan asam sulfat
Dilakukan dijesti pasir senotim menggunakan asam sulfat dengan variasi berat pasir senotim dengan asam sulfat 1 : 0,75; 1 : 1; 1 : 2; 1 : 2,5 dan 1 : 3 pada suhu $210^{\circ}C$ selama 5 jam.
2. Variasi waktu dijesti
Dilakukan dijesti pasir senotim menggunakan asam sulfat dengan perbandingan terbaik hasil percobaan (1) pada suhu $210^{\circ}C$ dengan variasi waktu 3, 4, 5 dan 6 jam
3. Variasi ukuran butir pasir senotim
Dilakukan dijesti pasir senotim menggunakan asam sulfat dengan perbandingan dan waktu terbaik hasil percobaan (1 dan 2) pada suhu $210^{\circ}C$ dengan variasi ukuran butir pasir senotim 50, 100, 200, 325 dan 400 mesh.
4. Variasi *quenching*
Dilakukan proses *quenching* dengan variasi air dan air es.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses dijesti di lakukan dengan mereaksikan pasir senotim dengan asam sulfat dengan ukuran butir pasir dan perbandingan asam tertentu sambil diaduk dan di panaskan. Reaksi yang terjadi pada proses dijesti pasir senotim (YPO_4) dengan asam sulfat dapat ditulis sebagai berikut:

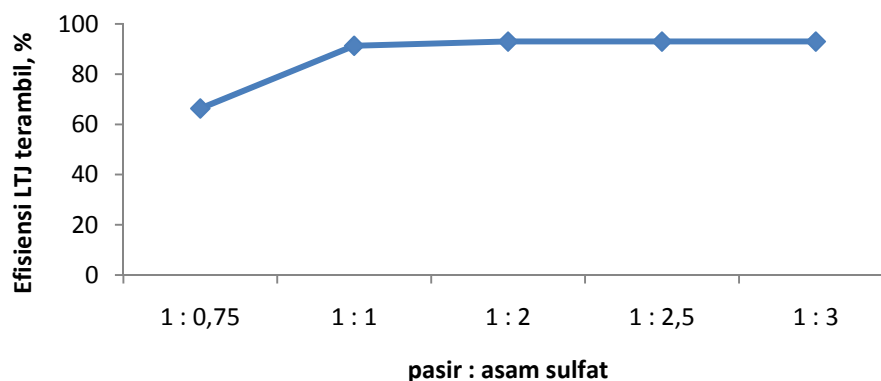


Sebelum di dijesti pasir senotim di analisis kadar unsur-unsurnya seperti terlihat pada Tabel 1. berikut:

Tabel 1. Kadar unsur LTJ dalam pasir senotim (%)

Kode	Y	La	Ce	Nd	Sm	Gd	Dy
Pasir senotim	19,28	0,39	2,02	0,74	1,07	2,42	4,20

1. Variasi perbandingan berat pasir dengan asam sulfat

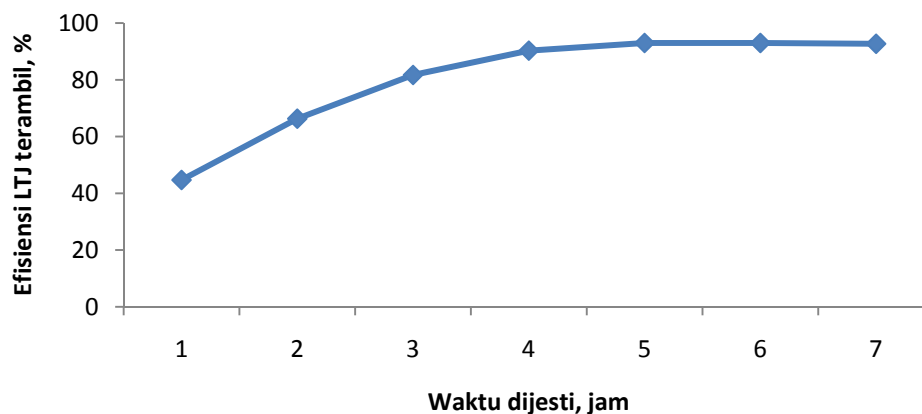


Gambar 1. Pengaruh perbandingan pasir dengan asam terhadap efisiensi LTJ yang terambil

Dari Gambar 1. terlihat perbandingan antara pasir dengan jumlah asam sulfat 1 : 2 menunjukkan hasil yang terdijesti meningkat. Hal ini disebabkan karena konsentrasi asam sulfat semakin banyak yang menyebabkan molekul reaktan juga semakin banyak, sehingga tumbukan antar partikel meningkat dan menyebabkan reaksi antara pasir dan asam meningkat. Sedangkan untuk perbandingan yang lebih kecil asam sulfat belum mampu secara optimal melebur pasir senotim dan cenderung mengental dan sulit diaduk. Untuk perbandingan asam yang lebih tinggi pengambilan LTJ yang terdijesti memberikan hasil yang relatif sama/konstan. Dalam hal ini karena asam sulfat telah maksimum dalam melebur pasir senotim sehingga LTJ yang terambil sudah maksimal dan hasilnya relatif tetap/konstan.

2. Variasi waktu dijesti

Dilakukan dijesti pasir senotim dengan perbandingan pasir : asam = 1 : 2, suhu 210 °C, dan waktu divariasi, diperoleh hasil sebagai berikut:



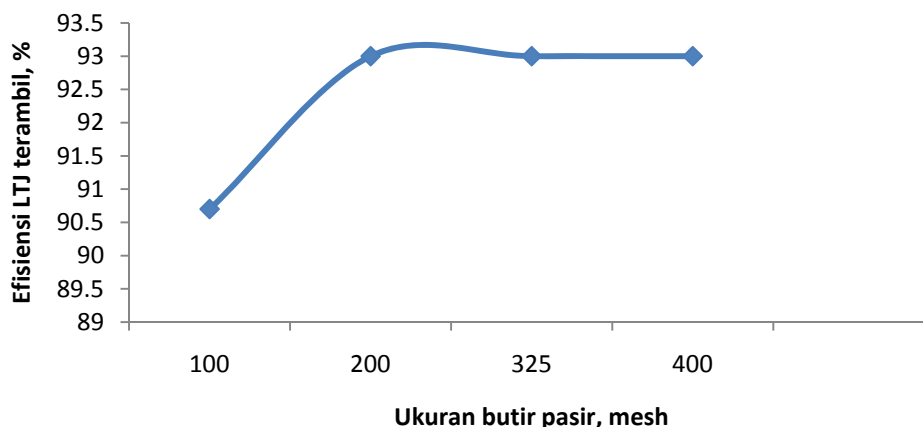
Gambar 2. Pengaruh waktu dijesti terhadap efisiensi LTJ terambil

Dari Gambar 2. terlihat bahwa efisiensi pengambilan LTJ semakin besar dengan bertambahnya waktu dijesti namun akan konstan setelah waktu 5 jam. Hal ini karena dengan bertambahnya waktu dijesti, semakin lama waktu kontak antara pasir dengan asam sulfat sehingga reaksi yang terjadi semakin sempurna. Waktu optimum diperoleh pada waktu 5 jam, sedangkan waktu dibawahnya hasil masih relatif sedikit LTJ yang terambil. Hal ini karena waktu sangat berpengaruh pada proses reaksi antara pasir dengan asam untuk pengambilan LTJ dari pasir. Waktu yang terlalu singkat membuat asam belum mampu secara optimal melebur pasir

senotim dan untuk waktu yang terlalu lama juga akan memberikan hasil yang konstan karena pengambilan LTJ telah optimal.

3. Variasi ukuran butir pasir senotim

Dilakukan dijesti pasir senotim dengan perbandingan pasir:asam = 1:2, suhu 210 °C, waktu 5 jam dan variasi ukuran butir, diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 3. Pengaruh ukuran butir pasir terhadap efisiensi LTJ terambil

Dari Gambar 3. terlihat ukuran butir berpengaruh terhadap dijesti pasir, semakin kecil ukuran butir pasir maka luas kontak antara pasir dengan asam sulfat akan semakin besar sehingga LTJ yang terambil akan semakin banyak pula. Diperoleh ukuran butir yang optimum pada 200 mesh, untuk ukuran butir pasir yang relatif kasar belum terlebur secara optimal dan ukuran butir pasir yang lebih halus hasilnya relatif sama.

Mengacu pada penelitian sebelumnya Biyantoro, dkk (1989) pada proses dijesti pasir monasit diperoleh efisiensi pengambilan $Y = 87\%$ [11]. Vijayalakshmi, et al., (2000) melakukan dijesti pasir senotim dengan asam sulfat pada suhu 250 °C selama 6 jam diperoleh efisiensi pengambilan $Y = 72,25\%$ [12].

4. Variasi *quenching*

Untuk mendapatkan itrium dari proses dijesti dari pasir senotim adalah dengan proses pendinginan secara tiba-tiba. Pendinginan ini biasa dilakukan dengan air es atau dengan air saja. Pada variasi *quenching* (pendinginan mendadak) dilakukan dengan air dan air es. Dari kedua proses tersebut diperoleh hasil relatif sama antara *quenching* menggunakan air dan menggunakan air es, sehingga di pilih *quenching* dengan air karena lebih ekonomis.

Tabel 3. Pengaruh bahan *quenching* terhadap efisiensi LTJ terambil

Quenching	Efisiensi LTJ terambil, %
Air	93,0
Air es	93,6

Tabel 4. Kadar unsur LTJ setelah pengendapan total (%)

Y	La	Ce	Nd	Sm	Gd	Dy
25,51	2,37	1,36	0,95	1,25	3,07	5,49

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian diperoleh kondisi terbaik proses pengambilan LTJ dalam pasir senotim adalah perbandingan pasir dengan asam = 1 : 2, waktu dijesti 5 jam, ukuran butir

pasir 200 mesh dan quenching menggunakan air. Logam tanah jarang (LTJ) terambil dari pasir senotim = 93,0 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ucapkan terima kasih kepada pihak manajemen PSTA yang telah memberikan fasilitas dan mendanai penelitian ini. Juga kepada Rizal Galih Pratama, Bapak Bambang EHB dan Ibu Suprihati yang telah membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. DWI BIYANTORO, "Teknologi Pemisahan Itrium dari Pasir Senotim Untuk Industri", Orasi Pengukuhan Profesor Riset, Bidang Kimia dan Teknologi Proses Bahan BATAN, Yogyakarta, (2008).
2. AMIN, A., "Pemisahan Unsur Samarium dan Ytrium dari Mineral Tanah Jarang dengan Teknik Membran Cair Berpendukung (Supported Liquid Membrane)", Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan, Vol. 7, No. 1, hal. 15 – 23, 2009.
3. BAHTI, H. B., YAYAH MULYASIH, y, Anni ANGGRAENI, Y., "Extraction and Chromatographic Studies on Rare-Earth Elements (REEs) from their Minerals: the Prospect of REEs Production in Indonesia?", Proceeding of 2nd International Seminar on Chemistry 2011 (pp. 421-430), Jatinangor, 24 – 25 November 2011.
4. BANGUN WASITO, DWI BIYANTORO, "Optimasi Proses Pembuatan Oksida Logam Tanah Jarang Dari Pasir Senotim Dan Analisis Produk Dengan Spetrometer Pendar Sinar-X", Prosiding Seminar Nasional V SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 5 November 2009.
5. BENEDICK, M, PIGFORD, T.H, and LEVI, H.W, "Nuclear Chemical Engineering", 2nd Edition, New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1981.
6. JORDENS, A. , CHENG, Y. P., WATERS, K. E., "A Review of the Beneficiation of Rare Earth Element Bearing Minerals", J Elsevier, Mineral Engineering, Volume 41, 2013.
7. HURST, C., "China's Rare Earth Elements Industry : What Can The West Learn?", Institute for the Analysis of Global Security (IAGS), March 2010.
8. KOLTUN, P. AND THARUMARAJAH, A., "Life Cycle Impact of Rare Earth Elements", Hindawi Publishing Corporation ISRN Metallurgy Vol. 2014, Article ID 907536, 10 pages, 2014.
9. HEFA Reare Earth Canada Co. Ltd, Rere Earth Product by Element, <http://www.baotou-rareearth.com/>
10. GUIRGUIS, L. A., EI SHEIKH, R., FARAG, N. M., ELSAYED, M. A., HAGAG, M. S., "Solvent Leaching of Total Rare Earth Elements from Phosphate Rocks From Abu-Tartur Plateau, International Journal of Advanced Research, Volume 2, 467-479, Egypt, 2013.
11. DWI BIYANTORO, BAMBANG EHB, FONALI L., ENDRO P., "Pengambilan Y, La, Ce dan Nd dari Hasil Dijesti Pasir Monasit", Prosiding PPI, Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir dan Kimia Nuklir, Biologi dan Teknologi Proses, Yogyakarta, 6 – 8 Maret 1989.
12. R. Vijayalakshmi, S.L. Mishra, H. Singh, C.K. Gupta, "Processing of xenotime concentrate by sulphuric acid digestion and selective thorium precipitation for separation of rare earths", Hydrometallurgy 61 (2001) 75-80.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

RANCANG BANGUN OMNIWHEEL ROBOT SEBAGAI SASARAN TEMBAK DINAMIS

Kamaruddin¹, Amiruddin², Rafiuddin Syam²

¹Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Fakfak, Papua Barat, 98612

²Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar, Makassar, 90245

email : rafiuddinsyam@gmail.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi untuk mendukung sarana latihan tembak sangat pesat. Dalam penggunaannya sasaran tembak, masih menggunakan tenaga manusia sehingga alat penunjang tersebut masih kurang efektif dan efisien. Salah satunya ialah pada proses pergantian sasaran tembak selalu di tuntut dengan tingkat keakuratan dan ketepatan yang sangat tinggi. Peralatan yang digunakan pada beberapa lembaga ini masih bersifat sangat manual dan tidak efisien sehingga diperlukan waktu yang cukup lama dalam melakukan proses set-up. Persoalan tersebut diatas dapat ditangani dengan merancang sebuah Robot Penggerak Sasaran Tembak yang berfungsi untuk membawahi kembali sasaran/target tembak secara otomatis sekaligus dapat meningkatkan efisiensi dan efektifitas kerja. Adapun tujuan dari penelitian ini untuk membuat Robot Penggerak Sasaran Tembak alternatif yang efektif dan efisien serta bekerja secara otomatis. Serta, untuk meningkatkan keakuratan dan ketepatan menembak yang sangat tinggi.

Kata kunci: sasaran tembak, *omniwheel*, *mikrocontroler*, kinematika dan dinamika

ABSTRACT

Technological developments to support the training facilities are very rapid. In the use of shooting targets, still using human power so that the supporting tools are still less effective and efficient. One of them is on the turn of shoot target always in demand with the level of accuracy and accuracy is very high. Equipment used in some institutions is still manual and inefficient so it takes a long time in the process of set-up. The above issues can be handled by designing a Target Shoot Target Robot which serves to automatically re-target / target shoots while improving efficiency and effectiveness of work. The purpose of this research is to make the target shoot robot an effective and efficient alternative and work automatically. As well as, to improve the accuracy for shooting.

Keywords: shooting target, omniwheel, mikrocontroler, kinematics and dynamics

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi automasi dan mekatronika saat ini yang kian pesat menuntut manusia harus berpacu dengan waktu dimana dibutuhkan suatu alat yang dapat bekerja dengan efektif dan efisien sehingga memudahkan manusia dalam melakukan aktifitasnya.

Peneliti [1] mengemukakan bahwa mobile robot memiliki potensi besar dalam membantu kehidupan manusia yang berlaku pada masyarakat di masa depan. Fungsinya tidak akan lagi dibatasi untuk menyelesaikan tugas dalam perakitan dan manufaktur pada posisi tetap. Dalam rangka untuk menyelesaikan tugasnya sebagai mobile robot, maka mobile robot harus didesain dengan navigasi yang baik dan lancar untuk mengatasi perubahan medan dan lingkungan yang tak terduga. Conventional wheeled mobile robot (WMR) dibatasi dalam gerakan mobile robot karena tidak bisa bergerak kesamping tanpa maneuver awal. Berbagai mekanisme telah dikembangkan untuk meningkatkan maneuver WMR.

Di negara-negara maju seperti Amerika dan Jepang telah banyak menciptakan sistem peralatan yang jauh lebih modern dan banyak dari pada di negara kita. Mereka telah banyak melakukan penelitian dan pengembangan teknologi yang berbasis kompetensi. Sementara di negara kita khususnya di bidang olahraga menembak, alat seperti ini masih banyak

menggunakan peralatan yang bersifat manual sedangkan alat ini lebih cocok di gunakan pada event olahraga seperti latihan menembak TNI, Polri, Pon, Asean Games, Sea Games, Olimpiade dan kejuaraan olahraga lainnya.

Dalam penggunaannya, masih menggunakan tenaga manusia sehingga alat penunjang tersebut masih kurang efektif dan efisien. Salah satunya ialah pada proses pergantian sasaran tembak yang di gunakan pada sebuah lembaga seperti Perbakin UNHAS, Lapangan Tembak TNI dan SPN Batua yang selalu di tuntut dengan tingkat keakuratan dan ketepatan yang sangat tinggi. Peralatan yang digunakan pada beberapa lembaga ini masih bersifat sangat manual dan tidak efisien sehingga diperlukan waktu yang cukup lama dalam melakukan proses set-up.

Persoalan tersebut diatas dapat ditangani dengan merancang sebuah Robot Penggerak Sasaran Tembak yang berfungsi untuk membawahi kembali sasaran/target tembak secara otomatis sekaligus dapat meningkatkan efisiensi dan efektifitas kerja. Adapun tujuan dari penelitian ini untuk membuat robot penggerak sasaran Tembak alternatif yang efektif dan efisien serta bekerja secara otomatis. Serta, untuk meningkatkan keakuratan dan ketepatan menembak yang sangat tinggi.

TINJAUAN PUSTAKA

a. Roda *Omni*

Roda omni adalah roda yang mampu bergerak ke segala arah dalam kurva dua dimensi (X,Y). Hal ini disebabkan karena roda omni memiliki banyak roda kecil dalam satu roda inti (roda besar) yang posisinya saling tegak lurus. Roda inti dapat bergerak maju dan mundur karena memiliki poros yang sama dengan poros motor DC sedangkan roda kecil berfungsi sebagai roda bebas sehingga roda omni mampu bergerak ke kiri dan kanan, tidak seperti roda pada umumnya yang memiliki gaya gesek yang terlalu besar untuk arah kanan dan kiri sehingga bila digeser ke kanan atau kiri susah untuk bergerak. Seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar1. Omni wheel (roda omni)

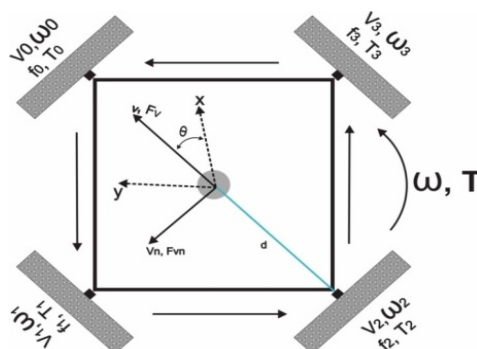
b. Model Kinematika Robot Omni-directional 4 Roda

Metode Triangle Omni-directional Wheels dalam Kinematika memberi sarana dalam merubah posisi antar koordinat global dan konfigurasi internal. Dalam rangka menentukan posisi global robot, hubungan ditetapkan diantara kerangka referensi global (XG, YG) dan kerangka lokal instan berpusat pada robot tersebut (XR, YR). Posisi tubuh robot tersebut didapatkan oleh rumus $G = [x, y, \theta]^T$. Pemetaan pergerakan diantara kerangka lokal dan global terkait hanya dengan rotasi matriks (mengingat kerangka lokal ini tetap dan tidak berputar terhadap robot tersebut)[1].

Berdasarkan sifatnya, robot mobil jenis ini termasuk dalam kategori robot holonomic: Robot dapat bertranslasi ke sebelah kiri (atau kanan) tanpa terlebih dahulu mengubah orientasi robot atau posisi serta arah (orientasi) berada dalam keadaan tidak terkopel.

Jika X dan Y merupakan koordinat posisi robot dari acuan peta statis. θ merupakan sudut yang terbentuk antara depan robot dan sumbu X peta statis. d merupakan jarak (meter) antara roda dan pusat robot. Selanjutnya, V_0, V_1, V_2, V_3 [m/s] merupakan kecepatan linear roda

robot. $\omega_0, \omega_1, \omega_2, \omega_3$ [rad/s] merupakan kecepatan angular roda. Seperti terlihat pada gambar dibawah ini. Serta f_0, f_1, f_2, f_3 [N] merupakan gaya traksi roda, T_0, T_1, T_2, T_3 [Nm] merupakan torsi traksi roda, V_1, V_n [m/s] merupakan kecepatan linear robot. ω [rad/s] merupakan torsi robot, T [Nm] merupakan torsi robot. F_{v1} dan F_{vn} merupakan gaya traksi robot terhadap V_1 dan V_n .



Gambar 2. Mekanik Robot

Untuk menentukan model gerak robot omnidirectional, sikap robot harus diidentifikasi terlebih dahulu dengan posisi x , posisi y , dan sudut θ , kemudian mengasosisikan kedalam bentuk kecepatan yaitu sesuai persamaan (1) :

$$v_x(t) = \frac{dx(t)}{dt}, v_y(t) = \frac{dy(t)}{dt}, \omega(t) = \frac{d\theta(t)}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

Persamaan (2) dibawah menunjukkan transformasi dari kecepatan linear terhadap acuan peta statis ke bentuk kecepatan linear terhadap acuan robot.

$$\begin{bmatrix} v(t) \\ vn(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta(t)) & \sin(\theta(t)) & 0 \\ -\sin(\theta(t)) & \cos(\theta(t)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v_x(t) \\ v_y(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2)$$

Hubungan kecepatan masing-masing roda dengan kecepatan robot diperlihatkan persamaan (3) sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} v_0(t) \\ v_1(t) \\ v_2(t) \\ v_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & d \\ -1 & 0 & d \\ 0 & -1 & d \\ 1 & 0 & d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} v(t) \\ vn(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan menggunakan kinematika balik didapat persamaan (4), (5), dan (6) sebagai berikut:

$$v(t) = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot (v_3(t) - v_1(t)) \dots\dots\dots (4)$$

$$vn(t) = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot (v_0(t) - v_2(t)) \dots\dots\dots (5)$$

$$\omega(t) = \left(\frac{1}{4d}\right) \cdot (v_0(t) + v_1(t) + v_2(t) + v_3(t)) \dots\dots\dots (6)$$

Hubungan pergerakan $[\Delta x, \Delta y, \Delta\theta]^T$ dari titik pusat robot adalah:

$$\begin{bmatrix} \cos \phi_i & -\sin \phi_i \\ \sin \phi_i & \cos \phi_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \xi_i \\ \Delta \eta_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} + \Delta\theta \begin{bmatrix} -d_i \sin \phi_i \\ d_i \cos \phi_i \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \cos \phi_j & -\sin \phi_j \\ \sin \phi_j & \cos \phi_j \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \xi_j \\ \Delta \eta_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} + \Delta\theta \begin{bmatrix} -d_j \sin \phi_j \\ d_j \cos \phi_j \end{bmatrix}$$

Persamaan bisa ditulis kedalam bentuk:

$$A_U = A$$

Dimana:

$$u = [\Delta x, \Delta y, \Delta \theta]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -d_i \sin \phi_i \\ 0 & 1 & d_i \cos \phi_i \\ 1 & 0 & -d_j \sin \phi_j \\ 0 & 1 & d_j \cos \phi_j \end{bmatrix}$$

$$a = \begin{bmatrix} \Delta \xi_i \cos \phi_i - \Delta \eta_i \sin \phi_i \\ \Delta \xi_i \sin \phi_i + \Delta \eta_i \cos \phi_i \\ \Delta \xi_j \cos \phi_j - \Delta \eta_j \sin \phi_j \\ \Delta \xi_j \sin \phi_j + \Delta \eta_j \cos \phi_j \end{bmatrix}$$

Dari pergerakan robot didefinisikan sebagai:

$$E_{ij} \sum_{p=1}^4 (A_{p1} \Delta x + A_{p2} \Delta y + A_{p3} \Delta \theta - A_p)^2$$

C. Fuzzy Database

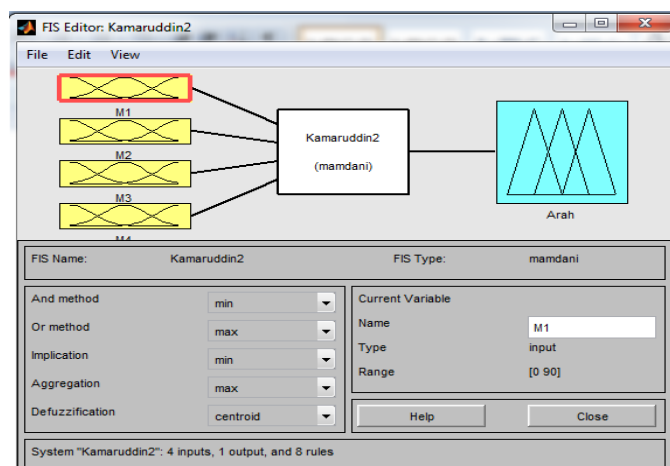
Sistem basis data (*database system*) adalah suatu sistem informasi yang mengintegrasikan kumpulan data yang saling berhubungan dan membuatnya tersedia untuk beberapa aplikasi.

Database adalah kumpulan dari data yang saling berhubungan satu dengan yang lainnya, tersimpan di perangkat keras komputer dan digunakan perangkat lunak untuk memanipulasinya. Sedangkan sistem basis data adalah suatu sistem informasi yang mengintegrasikan kumpulan data yang saling berhubungan satu dengan yang lainnya dan membuatnya tersedia untuk beberapa aplikasi dalam suatu organisasi.

Fuzzifikasi query diasumsikan sebuah *query* konvensional (*nonfuzzy*), DBMS yang akan mencoba membuat dan menerapkan sebuah sistem dasar logika *fuzzy query* (*fuzzy logic based querying system*). Kelebihan *query* fuzzifikasi yaitu dapat mencapai kelenturan (*flexibility*) dari DBMS, penanganan *error* otomatis, pencarian yang fleksibel, dan kesanggupan merespon kosong.

Awal penanganan ketidakpastian dengan manajemen basis data dikembangkan di dalam kerangka manajemen sistem basis data yang bukan *fuzzy*. Biasanya, sistem ini berhadapan dengan evaluasi dan konstruksi tentang *fuzzy query* dengan *database* yang bersifat tegas, dan mengabaikan permasalahan dalam penyajian langsung dari data *fuzzy* di DBMS.

Sebagian besar basis data *fuzzy* merupakan perluasan dari model basis data relasional, namun dikemas dalam formulasi yang berbeda tergantung pada tipe ambiguitas yang akan diekspresikan dan dimanipulasi. Tahani mendeskripsikan suatu metode untuk melakukan pengolahan *query fuzzy* didasarkan pada manipulasi data. Disini konsep teori *fuzzy* lebih banyak digunakan untuk melakukan pengolahan *query*. Basis data yang diusulkan oleh Zadeh, mengekspresikan ambiguitas data dengan cara memperluas model data. Perluasan dilakukan dengan cara menggunakan relasi *fuzzy* berupa grade yang ditambahkan pada relasi standar.



Gambar 3. Fuzzy inference system pada pemetaan fuzzy

FuzzyTahani adalah salah satu cabang dari logika *fuzzy*, yang merupakan salah satu metode *fuzzy* yang menggunakan basis data standar. Tahani mendeskripsikan suatu metode pemrosesan *query fuzzy*, dengan didasarkan atas manipulasi bahasa yang dikenal dengan nama SQL (*Structured Query Language*), sehingga model *fuzzyTahani* sangat tepat digunakan dalam proses pencarian data yang tepat dan akurat.

Pengendalian dengan Fuzzy Logic

Kontroller *fuzzy logic* dikategorikan dalam kontrol cerdas (*intelligent control*). Dimana *Fuzzy* berarti kabur atau samar (kualitatif) dan *Logic* berarti "umumnya dilakukan orang yaitu berpikir secara "logis". Jadi, *Fuzzy logic* berarti berpikir secara logika untuk parameter yang kualitatif (samar).

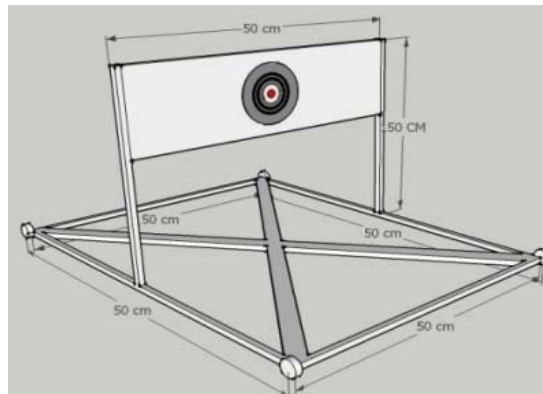
Gambar 3. memberikan ilustrasi pemetaan hubungan *input-output*. Diantara *input* dan *output* kita taruh sebuah sistem yang akan melakukan tugas pemetaan. Gambar 3 diatas menggunakan sistem pemetaan fuzzy. Ada banyak alternatif selain sistem *fuzzy*, misalnya linier, sistem jaringan saraf tiruan dan masih banyak lagi.

Secara garis besar, robot penggerak sasaran tembak dilakukan dengan tahapan - tahapan dalam penelitian adalah:

METODE PENELITIAN

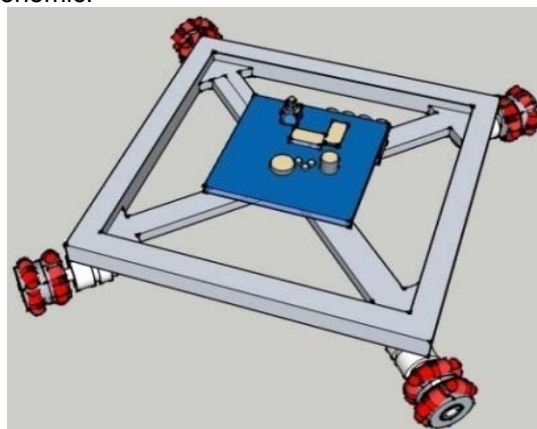
A. Desain Robot Penggerak Sasaran Tembak

Tahap pertama dalam mendesain Robot Penggerak Sasaran Tembak dimana robot tersebut dirancang dalam bentuk gambar 2D dan 3D dengan ukuran dan skala menggunakan program desain Autocad 2013 sehingga memudahkan dalam proses pembuatan dan perancangan Robot ini.



Gambar 4. Desain Robot Penggerak Sasaran Tembak

Robot yang didesain adalah mobile robot. Mobile robot adalah base atau frame yang merupakan bagian utama dari robot. Jenis mobile robot yang dirancang adalah mobile robot beroda dengan tipe holonomic.

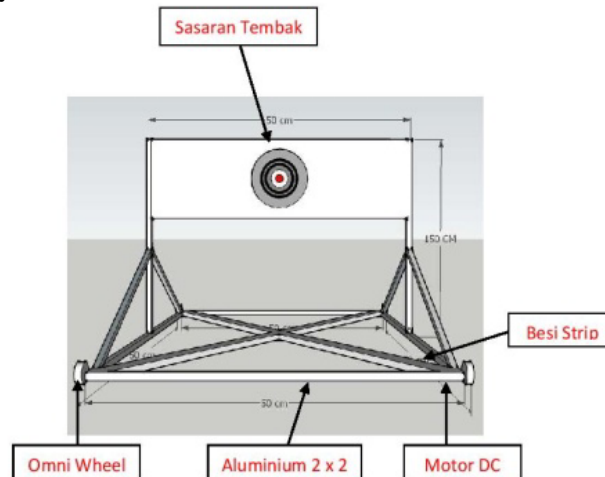


Gambar 5. Frame Omni Wheel Robot

B. Pembuatan Rangka (Konstruksi) Robot Penggerak Sasaran Tembak dengan Aluminium

Selanjutnya adalah pembuatan rangka (konstruksi) robot penggerak sasaran tembak dengan Aluminium berdasarkan desain yang telah dibuat diatas yang terdiri dari:

- Sasaran tembak berfungsi untuk mengetahui objek atau target yang akan ditembak dimana didalamnya terdapat macam tingkat akurasi yang biasanya ditandai dengan angka 1 sampai 10 tingkatan sasaran. Dimana penembak yang bisa menembak pada titik tengah yang paling akurat.
- Tiang yang terbuat dari Holo Aluminium 2 x 2 cm dengan tebal 2 mm. Dimana tiang tersebut berfungsi sebagai penahan sasaran sekaligus untuk menjaga keseimbangan sasaran tembak agar tidak mudah jatuh atau miring sebelum dan sesudah proses penembakan terjadi.



Gambar 6. Robot penggerak sasaran tembak

C. Pembuatan Mekanik Robot Penggerak Sasaran Tembak

Perancangan mekanik robot adalah hal pertama kali dilakukan sebelum melakukan perancangan lainnya seperti perancangan rangkaian elektronika dan software. Tahapan yang dilakukan adalah merancang bentuk badan robot yang dibuat berbentuk segi 4 karena dianggap lebih kokoh untuk menopang beban atas dibanding dengan bentuk segitiga dengan ukuran diameter badan robot adalah 50 cm. Kemudian tahapan yang ketiga adalah merancang tata letak motor dan roda. Dalam perancangan ini tata letak motor dan roda sangat berpengaruh dengan sistem pergerakan robot karena bergeser sedikit saja dari titik yang sudah ditentukan dapat merubah arah pergerakan robot yang sudah ditetapkan. Sudut dari masing-masing roda ke roda lainnya adalah sebesar 90° dari titik tengah. Gambar 4.3 merupakan badan robot yang sudah terpasang dengan rangkaian elektronika, motor DC, dan roda.



Gambar 7. Mekanisme omniwheel pada motor

Sumber penggerak/actuator dalam hal ini digunakan power window dengan spesifikasi dengan daya 50 watt, 12 volt, Kecepatan 90 rpm, torsi, 9,5 Nm. Batang penggerak menggunakan dari bahan Aluminium segi 4 dengan ukuran 2 x 2 tebal 2 mm. Shape sebagai penyambung antara motor dengan roda omni. Mur, baut sebagai pengikat. Omni wheel sebagai roda yang digerakkan oleh motor

D. Pembuatan Elektronik Robot Penggerak Sasaran Tembak

Elektronik dari Robot Penggerak Sasaran Tembak merupakan rangkaian yang berfungsi untuk mengatur semua aktivitas kontrol Robot. Pada rangkaian ini di pasang chip ATMEGA8535L sebagai processor.



Gambar 8. Komponen elektronik yang telah terpasang

Pada tahap ini semua komponen elektronik dan komponen mekanik dipasang pada dudukan masing-masing sesuai dengan gambar desain. Gambar 23 menunjukkan mobile robot yang semua komponennya telah terpasang. Rangkaian listrik pada komponen elektronik maupun microcontroller dihubungkan menggunakan kabel.



Gambar 9. Mobile robot dengan komponen lengkap

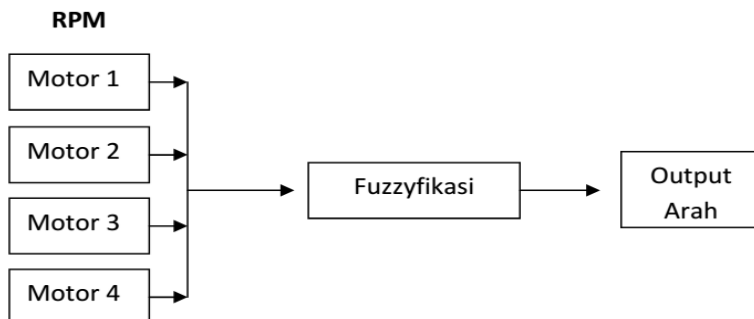
Pengendalian Arah Robot Penggerak Sasaran Tembak dengan Menggunakan sistem Fuzzy Logic

Robot penggerak sasaran tembak memiliki dua sistem pergerakan yaitu sistem pergerakan horisontal ke kiri dan ke kanan dan maju mundur yang digerakkan oleh motor DC. Gerakan motor DC ini diprogram di dalam mikrokontroler yang terdapat pada arduino uno yang mengendalikan motor driver.

Kecepatan arah putaran motor DC diatur dengan menggunakan sistem fuzzy logic. Pengaturan putaran motor DC ini adalah dengan merubah lebar sinyal tegangan

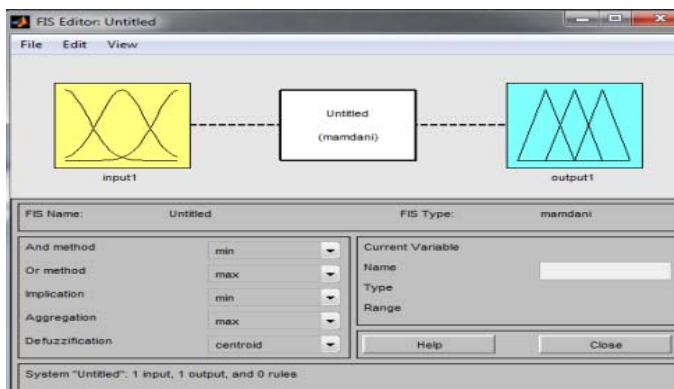
PWM. PWM adalah singkatan dari Pulse Width Modulation, merupakan suatu metode yang digunakan untuk mengontrol daya yang berkaitan dengan power supply. Pembacaan metode fuzzy dimulai dengan menerima input dari sensor gaya yang ada pada motor DC dimana nilainya akan dihitung untuk kemudian hasil dari arah keluarannya akan dikonversi menjadi PWM untuk motor DC.

Diagram alir untuk menentukan pengaturan arah kecepatan motor dengan metode fuzzy adalah:



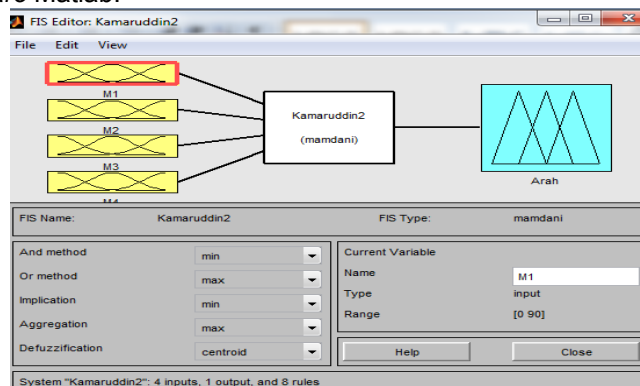
Gambar 10. Proses fuzzy dalam pengaturan arah motor

Pada *FIS Editor* disetting dua masukan yaitu arah dengan kondisi “cepat” dan “lambat” serta masukan PWM konstan dengan kondisi “Kcepat” dan “Klambat” seperti yang terlihat pada gambar 11.



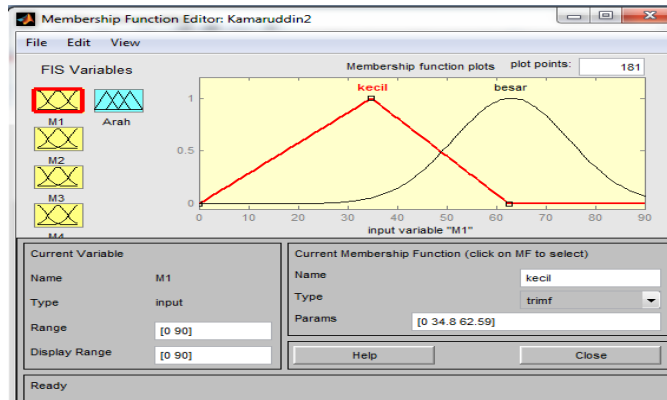
Gambar 11. Setting arah dan keluaran pada editor fuzzy

Sedangkan outputnya adalah posisi (output1). Gambar 12 menunjukkan sistem inferensi fuzzy dalam *software* Matlab.



Gambar 12. Input dan output FIS untuk posisi

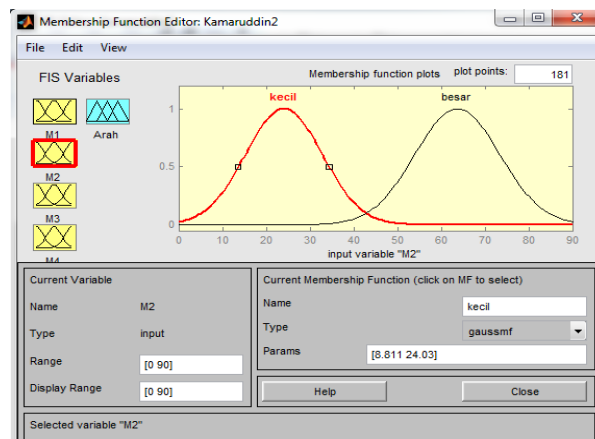
Rancangan membership function dari variabel input error ditunjukkan pada gambar13:



Gambar 13. Membership function variabel Input error

Input error menggunakan tujuh variabel lingusitik yaitu Llong (*left long*), Lmedium (*left medium*), Lshort (*left short*), Setpoint, Rshort (*right short*), Rmedium (*right medium*) dan Rlong (*right long*).

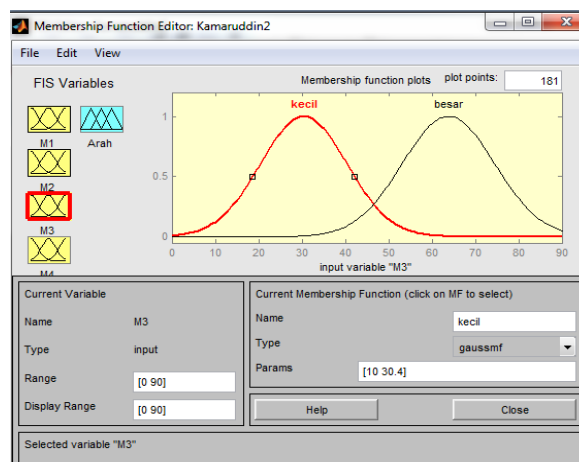
Rancangan membership function dari variabel input delta error ditunjukkan pada gambar14:



Gambar14. Membership function variabel output delta error

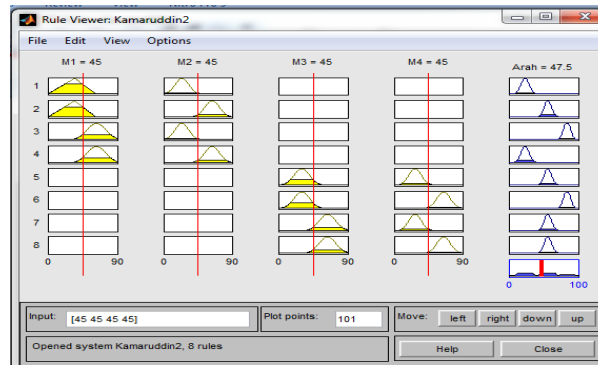
Input delta error menggunakan tujuh variabel lingusitik yaitu Nbig (*Negative big*), Nmedium (*Negative medium*), Nshort (*Negative small*), Zero, Pbig (*Positive big*), Pmedium (*Positive medium*), Pshort (*Positive small*).

Rancangan membership function dari variabel output posisi ditunjukkan pada gambar 27. Output posisi menggunakan tujuh variabel lingusitik yaitu Lfar(*left far*), Lmiddle(*left middle*), Lnear(*left near*), Normal, Rnear (*right near*), Rmiddle (*right middle*) dan Rfar (*right far*).



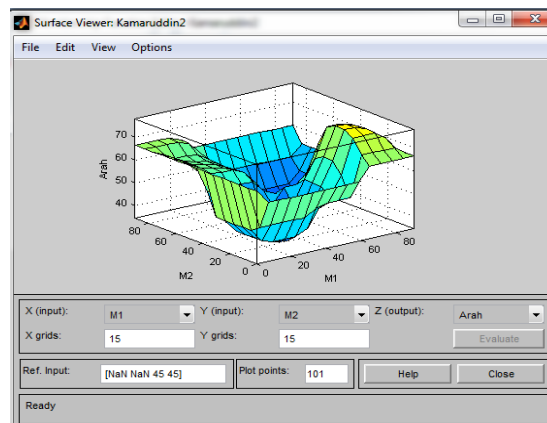
Gambar 15. Membership function variabel output posisi

Rule yang dibuat dapat dilihat untuk kontrol posisi dapat dilihat pada gambar 16 seperti dibawah ini



Gambar 16. Rule viewer posisi untuk robot

Dari hasil pengolahan data diperoleh diperoleh gambar 17 surface dari posisi yang memperlihatkan variasi data erroe dan delta error .Variasi posisi dapat diperoleh dengan memasukkan nilai X dan Y pada kolom yang disediakan.



Gambar 17.Surface dari posisi untuk robot

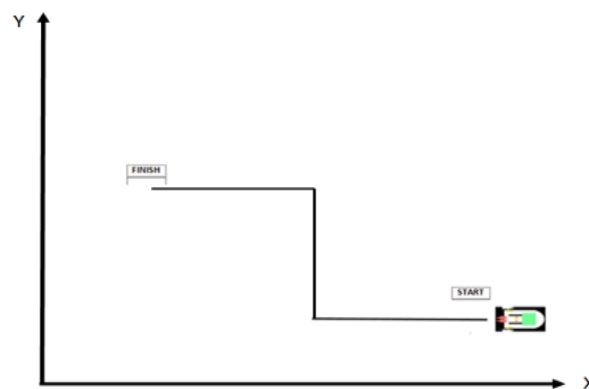
Menentukan stabilitas mobile robot

Stabilitas mobile robot ditentukan dengan menghitung dan nilai error mobile robot sepanjang lintasan, analisa kinematika dan perhitungan beban angkat kedua robot.

Perhitungan error mobile robot pada lintasan

Perhitungan error mobile dilakukan pada kedua robot, yaitu robot leader dan robot follower.

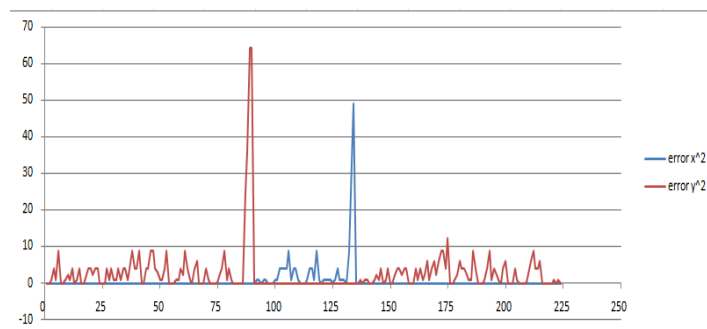
Nilai error pada robot leader.



Gambar18. Track lintasan mobile robot leader

Pada lintasan yang dibuat seperti gambar 31 dilakukan percobaan error dengan sensor line tracking untuk mobile robot leader menggunakan PWM tabel 3. Robot leader mulai jalan pada lintasan start, bergerak lurus sejauh 90 cm kemudian berbelok ke kanan sebesar 90° lalu bergerak lurus sejauh 44 cm selanjutnya belok ke kiri sebesar 90° lalu bergerak lurus berlawanan arah sumbu x sejauh 90 cm hingga mencapai finish.

Gambar 19 memperlihatkan grafik error mobile master untuk PWM data 5. Garis merah menyatakan nilai error positif yaitu akibat sensor menjauhi lintasan ke arah kanan, sedangkan garis biru menyatakan nilai error negatif yaitu akibat sensor menjauhi lintasan ke arah kiri.

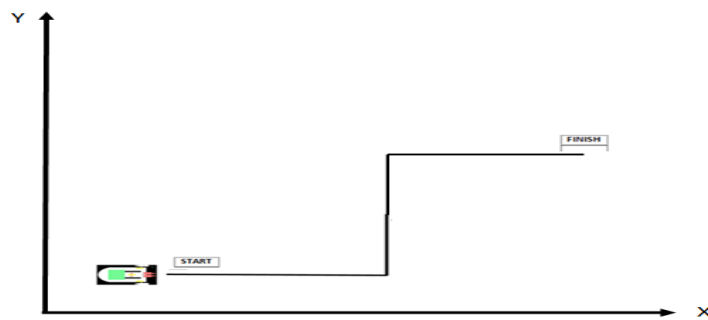


Gambar 19. Grafik error vs jarak pada lintasan robot leader

Gambar 19 diatas juga memperlihatkan nilai error terbesar terjadi pada jarak sebelum, sesaat dan setelah 90 cm. Kondisi ini disebabkan karena pada jarak tersebut mobile robot melakukan transformasi (perubahan posisi) berbelok arah membentuk sudut 90° yang mengakibatkan sensor menjauhi dari track dan menimbulkan nilai error yang besar. Nilai error terbesar ke arah kiri adalah -8 mm dan nilai error terbesar arah kanan adalah 5 mm.

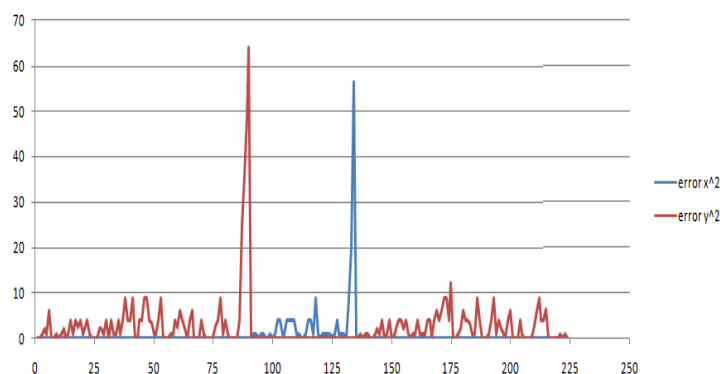
Nilai error pada robot follower

Lintasan yang dibuat seperti gambar 33 dilakukan percobaan error dengan sensor line tracking untuk mobile robot follower menggunakan PWM tabel 3. Robot follower mulai jalan pada lintasan start, bergerak lurus searah sumbu x sejauh 90 cm kemudian berbelok ke kiri sebesar 90° lalu bergerak lurus sejauh 44 cm lalu bergerak lurus searah sumbu x sejauh 90 cm hingga mencapai finish.



Gambar 20. Track lintasan mobile robot follower

Gambar 20 memperlihatkan grafik error mobile master untuk PWM tabel 3. Garis merah menyatakan nilai error positif yaitu akibat sensor menjauhi lintasan ke arah kanan, sedangkan garis biru menyatakan nilai error negatif yaitu akibat sensor menjauhi lintasan ke arah kiri.



Gambar 21. Grafik error vs jarak pada lintasan robot follower

Gambar 21. diatas memperlihatkan nilai error terbesar terjadi pada jarak sebelum, sesaat dan setelah 90 cm. Kondisi ini disebabkan karena pada jarak tersebut mobile robot melakukan transformasi (perubahan posisi) berbelok arah membentuk sudut 90° yang mengakibatkan sensor menjauh dari track dan menimbulkan nilai error yang besar. Nilai error terbesar kearah kanan adalah 8 mm dan nilai error terbesar arah kiri adlaah 4,5 mm. Hasil perhitungan error dapat dilihat sebagai berikut

KESIMPULAN

Dari kegiatan penelitian, analisis data dan pembahasan hasil yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Prototipe dari omni wheels robot yang kami buat terdiri dari 4 buah roda dengan bentuk segi empat sama sisi dengan sudut masing-masing roda ke roda lainnya adalah sebesar 90° dari titik tengah.
2. Pengendali motor yang telah dibuat dapat bekerja sesuai dengan program yang dimasukkan ke dalam mikrokontroller.
3. Dari eksperimen omni wheels robot yang dilakukan pada trajektori tertentu, bahwa robot dapat bergerak ke segala arah sesuai dengan program yang dikehendaki.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Syam, Rafiuddin, "Rancang Bangun Omni Wheels Robot Dengan Roda Penggerak Independent". Makassar: S.N., Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, (2012).
- [2]. Pambudi, Wahyu Setyo. "Rancang Bangun 3 Wheels Omni-Direction Mobile Robot Menggunakan Sensor Position Sensitive Device (PSD) Serta Sensor Vision Dengan Metode Kendali Fuzzy Logic Controller (FLC) Untuk Menghindari Rintangan". Batam: S.N., Universitas International Batam, (2011).
- [3]. Hendrik, Billy. "Penerapan Mini Robot Dengan Konsep Omni Directional Untuk Mendapatkan Informasi Pada Daerah Berbahaya". Padang: UPI YPTK, (2013).
- [4]. Saputra, Aditya Wiguna. "Kendali Kecepatan Dan Posisi Pada Mobile Robot Yang Menggunakan Triangel Omni-Direction Wheels Dengan Metode PID". Surabaya: STMIK STIKOM Surabaya, (2014).
- [5]. Kusumadewi, Sri "Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan". Bandung: S.N., (2010).
- [6]. Iqbal, Muhammad. "Perancangan Wheel Mobile Robot Sebagai Modul Praktikum Mikrokontoler. Kudus: S.N., Vol. 4, (2013).
- [7]. Nikola, "Teori Logika Fuzzy". Jakarta: S.N., (2007).
- [8]. Purnnomo, "Himpunan Fuzzy Logic". Bandung: S.N., (2010).
- [9]. Setiyowati, M.I Seta B.A. "Evaluasi dan Konstruksi Tentang Fuzzy Query Dengan Database yang Bersifat Tegas dan Mengabaikan Permasalahan Dalam Penyajian Langsung Dari Data Fuzzy di DBMS". Jakarta: S.N., (2007).
- [10]. Eliyani. "Sistem Informasi Yang Mengintegrasikan Kumpulan Data Yang Saling Berhubungan Satu Sama Lain Membuatnya Tersedia Untuk Beberapa Aplikasi Dalam Suatu Organisasi". Jakarta : S.N., (2009).

- [11] . Anggraeni. "Metode Pemrosesan Query Fuzzy Dengan Nama SQL (Structured Query Language)". Jakarta: S.N., (2010).
- [12] . Wulandari. "Himpunan Fungsi Fuzzy Dalam U, Maka A Dapat Dinyatakan Sebagai Pasangan Terurut". Jakarta: S.N., (2005).

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

POLIGON KECEPATAN DAN POLIGON PERCEPATAN *END EFFECTOR* PADA RANCANG BANGUN ROBOT PENGANGKUT PAKAN AYAM BROILER

Ruslan Bauna, Rafiuddin Syam, Hairul Arsyad, Amiruddin
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Mesin, Universitas Hasanuddin
email: rafiuddinsyam@gmail.com

ABSTRAK

POLIGON KECEPATAN DAN POLIGON PERCEPATAN *END EFFECTOR* PADA RANCANG BANGUN ROBOT PENGANGKUT PAKAN AYAM BROILER. Untuk budidaya ayam broiler dengan populasi minimal 3.000 ekor pada umur 30-57 hari membutuhkan usaha pengangkutan pakan di atas kandang minimal 11487 kg. Perencanaan ini bertujuan menghasilkan pemegang pakan (*end effector*) robot yang mampu memegang pakan dalam karung dengan baik dan efektif serta meletakkan pada tempat yang telah ditentukan secara mandiri dengan menggunakan sistem kontrol. Proses desain pemegang pakan robot diawali dengan pengambilan data dimensi pakan dalam karung yang akan dipegang oleh end effector robot dan diperoleh dimensi karung pakan 25 cm x 55 cm x 65 cm dengan massa 50 kg, selanjutnya dilakukan proses desain konstruksi end effector yang cocok untuk memegang pakan dengan baik menggunakan program desain tiga dimensi SolidWorks2010. Proses berikutnya adalah mendesain sistem mekanik pemegang pakan agar gerakan yang dihasilkan sesuai dengan yang diharapkan sehingga tidak merusak wadah pakan dan tetap tercengkram dengan baik saat proses pengangkutan pakan berlangsung. Kemudian, pembuatan rangkaian elektronik dan sistem kendali menggunakan mikrokontroler Arduino Mega. Setelah dilakukan perakitan semua komponen sistem mekanik dan pemasangan sistem elektronik dan kontrol, kemudian dilakukan pengujian untuk mengevaluasi kinerja pemegang pakan robot yang telah dibuat. Dari hasil pengujian memperlihatkan bahwa semua komponen bekerja dengan baik sesuai perencanaan, khususnya kecepatan dan percepatan gerak pemegang pakan sehingga mampu memegang dan meletakkan pakan dengan baik dan efektif tanpa merusak wadah pakan. Dengandemikian robot manipulator dapat mengangkat dan membawa pakan secara efektif.

Kata kunci: mekanisme, pemindah, arduino, kontrol, desain, *end effector*.

ABSTRACT

POLIGON VELOCITY AND ACCELERATION OF *END EFFECTOR* DESIGN ROBOT CARRIER BROILER CHICKEN FEED. For the cultivation of broiler chickens with a population of at least 3,000 tails at the age of 30-57 days requires the transportation of feed to the cage at least 11487 kg. This plan aims to produce a robot capable of transporting feed in the top of the cage by using a kontrol sistem so as to make efficient use of manpower. Design robot performed using software design three-dimensional Solidworks2010, process of making the robot is started with the design manufacture three (3) units of mechanical systems i.e., mechanical sistem holder feed, mechanical sistem lifter feed and mechanical sistem transporting feed, then do the design process framework as a component buffer so that the mechanical sistem will work properly and safely when the robot operates. Furthermore, the manufacture of electronic circuits and kontrol using mikrokontroler Arduino Mega. After assembling all komponen mechanical sistem and installation of electronic sistem and kontrol, then testing to evaluate the performance of the robot have been made. Test results showed that all components work well according to plan, in particular the speed and acceleration of end effector motion so it can hold and release the feed well. Thus the robot manipulator can effectively lift and carry the feed.

Keywords: Mechanism, arduino, control system, end effector

PENDAHULUAN

Permintaan akan komoditas peternakan cenderung terus meningkat seiring dengan meningkatnya pendapatan, jumlah penduduk, serta kesadaran masyarakat untuk memperbaiki gizi. Komoditas peternakan yang mengandung nutrisi protein tinggi pada Tahun 1993 ditetapkan untuk dikonsumsi 10 gram perhari, 4 gram asal hewan ternak dan 6 gram asal ikan. Namun demikian hasil survey menunjukkan bahwa penduduk Indonesia baru mampu mengkonsumsi sebanyak 7,60 gram.

Ayam Pedaging (*Broiler*) adalah ayam ras yang mampu tumbuh cepat sehingga dapat menghasilkan daging dalam waktu relatif singkat (5-7 minggu). Broiler mempunyai peranan yang penting sebagai sumber protein hewani asal ternak[1]. Untuk menjaga kesehatan ternak diperlukan vaksin pada umur tertentu. Vaksinasi merupakan cara yang efektif untuk mencegah manusia dan hewan dari beberapa penyakit infeksi[2].

Berat tubuh ayam broiler ditentukan pada 7 hingga 28 hari dan pemberian pakan dicatat secara berkala untuk menghitung perbandingan konversi pakan (FCR)[3]. Kuantitas pakan digolongkan dalam empat golongan umur yaitu: minggu ke-5 (umur 30-36 hari) 111 gram/hari/ekor, minggu ke-6 (umur 37-43 hari) 129 gram/hari/ekor, minggu ke-7 (umur 44-50 hari) 146 gram/hari/ekor dan minggu ke-8 (umur 51-57 hari) 161 gram/hari/ekor. Jadi total jumlah pakan per ekor pada umur 30-57 hari adalah 3.829 gram/hari/ekor[4].

Konsentrasi amonia udara ambient kandang terendah dicapai pada kandang yang berlitter campuran sekam, arang tempurung, zeolit, dan tanah. Pada kandang tempat ini terlihat alasnya lebih kering dan tidak lembab. Mungkin karena kemampuan litter untuk menyerap kotoran, zat cair dan ammonia lebih baik dibandingkan perlakuan lain. Selain itu dengan adanya tanah diduga sebagian amonia telah diubah menjadi nitrat oleh bakteri nitrifikasi, sebagaimana terlihat pada reaksi berikut ini [5].

Dari lokasi penelitian ditemukan bahwa kapasitas populasi ayam setiap kandang berkisar antara 3.000 sampai 5.000 ekor per kandang. Sehingga untuk populasi 3.000 ekor pada umur 30-57 hari membutuhkan pengangkutan pakan di atas kandang 11487 kg, sedangkan untuk populasi 5.000 ekor pada umur 30-57 hari membutuhkan tenaga pengangkutan pakan di atas kandang sebanyak Banyaknya pakan yang harus diangkut di atas kandang selama proses budidaya saat ini masih dilakukan secara manual yaitu dengan menggunakan tenaga manusia. Proses pengangkutan pakan ini akan sangat dirasa membantu bila menggunakan tenaga mekanik dan kontrol.

Dari gambaran proses penanganan pakan ayam broiler diatas, penulis tertarik melakukan perencanaan robot pengangkut pakan ayam broiler khususnya mekanisme pemegang pakan. Penelitian ini bertujuan merencanakan sistem transmisi pemegang pakan (end effector) robot pengangkut pakan ayam broiler dan menentukan kecepatan dan percepatan geraknya dengan menggunakan poligon kecepatan dan poligon percepatan.

BAHAN DAN METODE

Penelitian yang kami lakukan diawali dengan proses desain yang terbagi atas dua bagian utama, yaitu desain sistem mekanik yang kemudian dilanjutkan dengan proses mendesain rangka sebagai tempat tumpuan pada saat sistem mekanik bekerja.

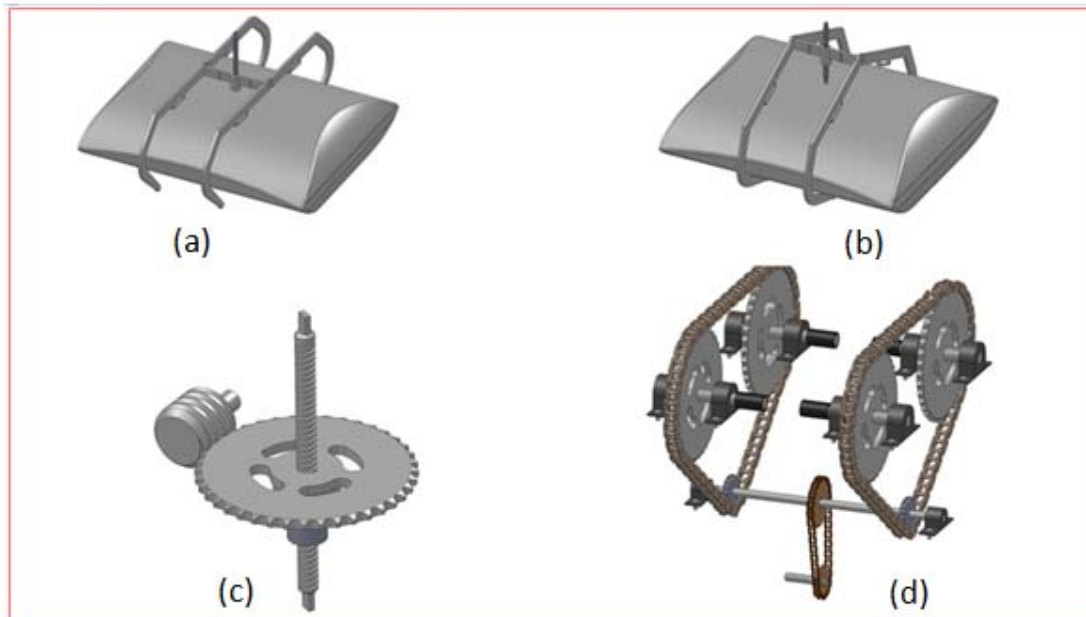
Desain Sistem Mekanik

Manipulator sebagai bagian dari sistem mekanik adalah merupakan sebuah platform paralel, dan end effector terhubung dengan beberapa mekanisme linear[6]. Robot manipulator dirancang untuk layanan rumah, seperti untuk menangani beberapa objek rumah tangga atau melayani hidangan dengan platform mobile [7]. Percepatan manipulator timbul dari empat sumber 1. link gerak, 2. landasan gerak, 3. Rotasi roda dan 4. rotasi rotor manipulator robot fleksibel [8]. Desain sistem mekanik yang kami buat pada pembuatan robot terdiri atas 3 (tiga) unit yaitu: sistem mekanik pemegang pakan, sistem mekanik pengangkat pakan dan sistem mekanik pemindah pakan. Proses pembuatannya masing-masing dapat dilihat sebagai berikut:

Desain Sistem Mekanik Pemegang Pakan

Kita tidak bisa secara umum menjamin bahwa suatu unit sambungan pasti menghasilkan kecepatan end effector sesuai yang diinginkan [9]. Pemegang pakan berupa rangkaian batang penghubung yang akan bergerak dengan kecepatan relative satu sama lain yang besarnya dapat ditentukan melau sistem poligon kecepatan atau differensial

kinematik. Diferensial kinematika merupakan studi tentang kecepatan sendi dan batang, khususnya kecepatan end effektor [10]. Sambungan batang penghubung akan membentuk konfigurasi baru dari manipulator sesuai dengan konfigurasi jarak minimal antara end effektor[11]. Desain sistem mekanik pemegang pakan dilakukan berdasarkan bentuk media pakan yang nantinya akan dipegang oleh robot. Pakan yang akan dipegang oleh robot untuk dipindahkan adalah pakan yang masih dalam karung, sehingga desain mekanisme pemegang pakan yang dibuat adalah yang mampu memegang pakan dalam bentuk karung dengan pendekatan dimensi 25 cm x 55 cm x 75 cm. Sehingga untuk memungkinkan memegang pakan dengan baik maka dibuatlah desain mekanisme pemegang pakan dengan menggunakan empat (4) jari seperti pada gambar 2 (a,b).



Gambar 2. a dan b) Desain sistem mekanik melepas dan pemegang pakan, c) Sistem mekanik pengangkat pakan, d) Sistem mekanik pemegang pakan dengan dimensi 25 cm x 55 cm x 75 cm. (Sumber: RuslanBauna, Thesis Robot Pengangkut Pakan Ayam Broiler, 2016)

Desain Sistem Mekanik Pengangkat Pakan

Proses pengangkatan pakan nantinya yang akan dilakukan adalah dengan mengangkat pakan dalam karung yang beratnya sebesar 50 kg dengan arah angkat vertical ke atas dengan tinggi angkat 25 cm. Dengan berpatokan pada jenis proses pengangkatan yang akan dilakukan dan besarnya beban yang akan diangkat, maka dipilih desain mekanisme pengangkat pakan menggunakan pasangan baut dan mur. Posisi roda gigi pengangkat dipasang horizontal sehingga sumbu roda gigi tempat pemasangan ulir angkat menjadi vertical yang membentuk sudut 90^o terhadap sisi roda gigi angkat seperti pada gambar 2c.

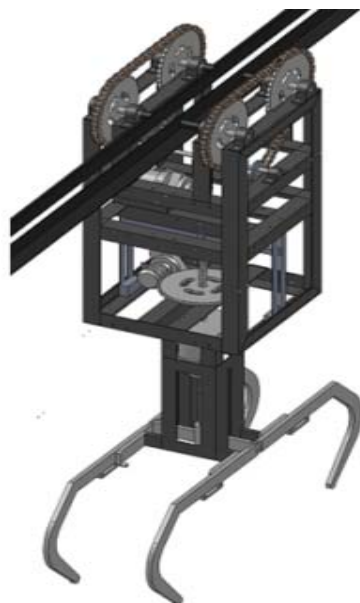
Desain Sistem Mekanik Pengangkut Pakan

Untuk menjaga keseimbangan beban pada saat proses pemindahan pakan, maka desain sistem mekanik pemindah pakan menggunakan 4 (empat) roda yang masing-masing dua roda disisi kiri dan dua roda di sisi kanan. Masing-masing roda digerakkan oleh sebuah gear (gigi 4) yang masing-masing memiliki 40 gigi tiap gear. Pasangan gear di tiap sisi (kiri dan kanan) masing digerakkan oleh sebuah gear penggerak (Gigi 3) melalui rantai. Gigi penggerak 3 pada mekanisme ini ada 2 (dua) buah yang digerakkan oleh sebuah gigi penggerak (gigi 2) melalui sebuah poros. Gigi 2 digerakkan oleh gigi penggerak (gigi 1) melalui sebuah rantai. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2d..

Desain Struktur Rangka Pengangkut Pakan

Untuk mendukung system mekanik mampu memindahkan tenaga dengan optimal pada saat beroperasi, maka dibuatlah desain rangka untuk masing-masing mekanisme. Adapun dasar pertimbangan desain rangka yang dilakukan adalah berdasarkan jenis pembebanan yang akan ditangani dan bentuk system mekanik yang akan ditopang.

Desain rangka yang kami buat tentunya cocok menaggulangi beban ketiga system mekanis yang digunakan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. DesainrangkapengangkutPakandenganPenjepitdengandimensi 25 cm x 55 cm x 75 cm

Desain Sistem Kontrol

Pergerakan komponen-komponen robot terjadi karena adanya proses transmisi daya dari motor ke sistem mekanik berupa rangkaian kinematik terbatas. Proses transmisi daya yang terjadi menyebabkan pergerakan relative dengan kecepatan tertentu pada rangkaian batang kinematik yang bertujuan melahirkan gerakan pada robot sesuai dengan fungsinya melalui system kontrol. Variabel yang akan dikontrol adalah kecepatan sudut ujung komponen sedangkan sistem kontrol menganggap sudut kecepatan link manipulator. Agar acuan perintah dalam bentuk kecepatan titik berubah menjadi parameter kecepatan sudut, harus menggunakan variabel-variabel penghubung antar kinematik[12].

Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian sistem mekanik robot dibagi atas dua kelompok, yaitu pengujian pada setiap unit system mekanik, dan pengujian pada saat seluruh system mekanik terpasang pada posisinya masing-masing pada robot.

Pengujian masing-masing sistem mekanik

Proses pengujian ini dilakukan secara terpisah untuk mengetahui unjuk kerja system mekanik yang telah dibuat, tujuannya adalah untuk mencari kekurangan yang mungkin terjadi pada mekanisme tersebut sehingga kekurangan tersebut sedapat mungkin dapat diatasi sebelum melakukan perakitan robot secara utuh.

Pada sistem pemegang pakan, menguji kemampuan *end effector* membuka dan menutup pada saat motor penggeraknya beroperasi sehingga mampu memegang pakan dengan baik. Pada system pengangkat pakan, menguji kemampuan apakah mampu mengangkat beban pakan atau tidak dalam hal ini massa pakan minimal yang harus diangkat adalah 50 kg. Tugas mekanisme ini merupakan yang paling berat dibanding sistem mekanisme yang lain karena ia bertugas mengubah posisi pakan secara vertikal.

Pada sistem pemindah pakan, menguji kemampuan sistem apakah mampu memindahkan pakan ketempat tujuan dengan baik. Dalam pengujian ini ada beberapa hal yang harus diperhatikan diantaranya proses transmisi gaya dari gigi 1 ke gigi 2 dan gigi 3 ke gigi 4 yang menggunakan rantai, apakah rantai berputar dengan baik dan tidak tersangkut pada saat motor dioperasikan, begitu juga posisi sumbu roda apakah tidak bergeser pada saat motor penggerak dijalankan.

Pengujian sistem mekanik lengkap pada robot.

Pengujian ini dilakukan pada saat seluruh sistem mekanismeterpasangpadaposisinya, termasuk roda yang sudah terpasang di lintasan yang telah disediakan. Pengujian sistem mekanik dilakukan sesuai urutan kerja robot pada saat melakukan proses pemindahan beban. Yaitu yang pertama adalah menguji sistem pemegang pakan untuk melakukan tugas dengan baik yaitu melakukan proses penjepitan (memegang) beban dalam karung yang telah disediakan, setelah proses memegang pakan dilakukan maka dilanjutkan proses pengangkatan pakan, proses ini untuk menguji sistem mekanik pengangkat yang dipasang pada robot dapat mengangkat beban target dengan baik. Setelah pakan terangkat, maka proses pengujian selanjutnya adalah pengujian kemampuan robot memindahkan pakan ketempat tujuan. Dan selanjutnya pengujian kemampuan robot meletakkan pakan dengan baik, dalam hal ini yang berperan adalah sistem mekanisme pemegang pakan. Bila pakan dapat diletakkan di tempat tujuan dan robot kembali ke posisi awal dengan benar, maka proses pengujian dianggap selesai, yang selanjutnya dilakukan analisa untuk melakukan perbaikan yang mungkin dilakukan.

HASIL PENELITIAN

Dari hasil penelitian diperoleh rancang bangun robot pengangkut pakan ayam Broiler yang mampu memegang, mengangkat serta mengangkut pakan dari suatu tempat ke tempat lain yang telah ditentukan.

Arah Gerak Titik pada End Effector

End effector merupakan salah satu bagian dari robot pengangkut pakan yang didukung oleh sebuah mekanisme penggerak. End effector dalam melakukan fungsinya digerakkan sebuah motor DC yang dihubungkan langsung dengan ulir poros pemegang pakan. Pada saat motor penggerak beroperasi, maka bagian pangkal dari end effector bergerak turun-naik mengikuti arah putaran motor. Gerakan tersebut mengakibatkan bagian lain dari end effector juga bergerak dengan arah tertentu.

Gambar 5(a,b) menunjukkan posisi awal saat motor berputar menyebabkan mur angkat (A1) bergerak keatas relatif yang posisinya sebelah kanan titik pusat pin 1, hal ini menyebabkan titik yang berada di sebelah kiri pin 1 (B1, C1 dan D1) bergerak membentuk pola putaran berlawanan arah jarum jam dengan titik pusat titik 1, sedangkan titik berpusat di pin 2 (B2, C2 dan D2) bergerak berputar searah jarum jam, akibatnya titik-titik berada pada bagian luar end effector (B1-B2, C1-C2, dan D1-D2) bergerak saling mendekat sehingga kedua ujung end effector bergerak menjepit, gerakan ini digunakan sebagai proses memegang pakan seperti yang terlihat pada gambar 24, hanya terdapat satu roda yang bersentuhan dengan landasan, dan roda-roda lainnya berputar pada sumbu roda yang bersentuhan dengan landasan akibat perputaran

Kecepatan Gerak Titik pada End Effector

Data motor DC dan end effector yang digunakan:

Torsi (T_m)	= 100 kg.cm
Putaran (n)	= 500 rpm
Pitc ulir (p)	= 1,6 mm

Besar perubahan kecepatan sudut pangkal end effector di lintasan ($\Delta\omega$) = -2° .

Jarak titik 1-A	= 138.3 mm
Jarak titik 1-B	= 208.1 mm
Jarak titik 1-C	= 132 mm
Jarak titik 1-D	= 205.3 mm

Kecepatan linier titik A (V_A) :

$$V_A = n \cdot p \text{ (1.6 mm)}$$
$$V_A = 500 \times 1.6$$

$$VA = 800 \text{ mm/menit}$$

Dari nilai VA, maka nilai kecepatan titik yang lain dapat diperoleh dengan menggunakan poligon kecepatan seperti pada gambar 5c.

Kecepatan sudut batang (ω_1) :

$$1 \text{ rpm} = 0.10467 \text{ radian/detik}$$

$$VA = 1A \cdot 6.28 \cdot \omega_1$$

$$6.28 \cdot \omega_1 = VA / 1A$$

$$\omega_1 = 800 / (138.3 \times 6.28) = 0.92 \text{ rpm} \approx 1 \text{ rpm}$$

Percepatan sudut batang (α_1)

Panjang lintasan pangkal end effector (s) = 111,8 mm, Waktu gerak end effector (t) = 0.14 menit = 8,4 detik, maka

$$\alpha_1 = \frac{\Delta\omega}{t \times \pi} = \frac{-2}{8.4 \times 6.24} = -0.04 \text{ rpm (perlambatan sudut)}$$

Percepatan titik A (AA) :

$$AA = AAn \rightarrow AAt$$

$$AA = (1-A) \cdot \omega_1^2 \rightarrow (1-A) \cdot \alpha_1$$

$$AA = 138.3 \times 1^2 \rightarrow 138.3 \times (-0.04)$$

$$AA = 138.3 \rightarrow (-5.532)$$

$$AA = 138.32 \text{ mm/menit}^2$$

Percepatan tangensial (AAt) sangat kecil dibanding percepatan normal (AAn). Dari hasil perhitungan percepatan normal (AAn) dan percepatan tangensial (AAt) dapat diperoleh poligon percepatan seperti pada gambar 5d.

PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian pergerakan end effector diperoleh bahwa, meskipun titik 1, titik A, titik B, titik C, titik D terletak pada batang yang sama, tetapi dari gambar poligon percepatan terlihat ada perbedaan nilai kecepatan. Hal ini terjadi karena titik-titik tersebut memiliki jarak yang berbeda terhadap pusat sesaat batang pada saat terjadi gerakan. Semakin jauh titik tersebut dari pusat sesaat akan menghasilkan kecepatan yang semakin besar pula. Sedangkan kecepatan sudut titik 1, titik A, titik B, titik C, dan titik D adalah sama, hal ini terjadi karena semua titik-titik tersebut terletak pada batang kaku dengan sebuah titik pusat sesaat (titik 1).

Sumber penggerak poros ulir pemegang (end effector) yang digunakan adalah motor DC dengan putaran (n) 500 rpm, ini berarti bahwa putaran ulir end effector adalah konstan. Putaran ulir poros end effector akan dikonversi menjadi gerak translasi oleh mur end effector dengan kecepatan konstan, inilah yang menyebabkan titik A pada end effector bergerak naik turun yang menghasilkan gerak memegang dan melepas pakan pada pasangan end effector (end effector 1 dan 2). Namun gerakan titik A yang konstan tidak diringi dengan kecepatan sudut (ω) yang konstan pula, dimana dari hasil pengujian terlihat bahwa pada saat titik A bergerak ke atas akan menyebabkan kecepatan sudut yang semakin kecil, dan sebaliknya pada saat titik A bergerak turun kecepatan sudut akan bertambah pada kecepatan linier titik A yang konstan. Hal ini terjadi karena pada saat titik A end effector bergerak keatas akan menyebabkan titik A bertambah jauh dari pusat titik sesaat 1 sehingga jari-jari (r) putaran semakin besar. Karena kecepatan linier titik A tetap sedangkan jari-jari putaran semakin besar, maka untuk mengimbangi kecepatan konstan pada saat terjadi pertambahan jari-jari maka efeknya putaran sudut menurun. Begitu juga sebaliknya pada saat titik A bergerak ke bawah, jari-jari putaran semakin kecil sehingga waktu yang dibutuhkan untuk satu kali berputar akan semakin singkat sehingga efeknya kecepatan sudut semakin besar.

Karena pada saat titik A end effector bergerak keatas terjadi penurunan kecepatan sudut (ω) akibat bertambahnya jari-jari putar, berarti pada saat itu terjadi percepatan sudut (α) bernilai negatif (terjadi perlambatan). Sedangkan pada saat titik A pada end effector bergerak ke bawah terjadi pertambahan kecepatan sudut (ω), dalam hal ini percepatan sudut (α) bernilai positif (mengalami percepatan).

Dari gambar poligon percepatan di atas terlihat bahwa percepatan tangensial pada setiap titik pada end effector sangat kecil dibandingkan dengan percepatan normal. Hal ini terjadi karena percepatan sudut (α) yang terjadi pada saat pangkal end effector bergerak

sangat kecil yang secara langsung menyebabkan percepatan tangensial juga menjadi sangat kecil disbanding percepatan tangensial.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisis dan pembahasan di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan di antaranya :Gerakan putar dari motor dapat diubah menjadi gerak linier oleh sistem mekanisme end effector.Gerakan linier dari titik A end effector menyebabkan gerakan berputar pada titik B, C dan D yang juga masih merupakan bagian dari end effector dengan kecepatan sudut yang tidak konstan. Gerakan putar sesaat secara bolak-bali titik B, C dan D pada end effector digunakan sebagai gerak memegang dan melepas pakan oleh robot pengangkut pakan

Untuk mencapai hasil yang lebih optimal, disarankan dalam perencanaan agar memilih jenis material rangka lebih sesuai dengan jenis tugas pembebanan yang dialami, sehingga memungkinkan konstruksi robot menjadi lebih ringan dan lebih kuat. Untuk ketangguhan pengoperasian, dimungkinkan untuk memilih motor DC yang kuat arusnya lebih kecil namun tetap mampu mengoperasikan robot dengan baik. Tugas akhir ini masih dapat dikembangkan lagi dalam penelitian-penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. M.A, Budidaya Ayam Broiler. Karangtaruna. Banten., Banten: Karang taruna, 2010.
- [2] S. A. Sadeq, S. Wu, R. A. Swick and M. Choct, "Toward the control of necrotic enteritis in broiler chickens with in-feed antibiotics phasing-out worldwide.," *International Journal of Animal Nutrition*, vol. 1, pp. 1-11, 2015.
- [3] L. SY and et.al, "Comparative performance of broiler chicken offered ten equivalent diets based on three grain sorghum varieties as determined by response surface mixture design.," in *International Journal of Animal Feed Science and Technology*, Benin City, Nigeria, 2016.
- [4] BPPT, "Budidaya Ayam Ras Pedaging," BPP Teknologi, Jakarta, 2000.
- [5] M. Alexander, Introduction to Soil Microbiology. Second Edition., New York: John Wiley and Sons, Inc., 1961.
- [6] S. A and et.al, "Modelling Simulation & Control of 6-DOF Parallel Manipulator using PID Control and Compensator.," in *Third International Conference on Advances in Control and Optimization of Dynamical Systems.*, New Delhi, India, 2014.
- [7] H. Lim and et.al, "Design Optimization of the Robot Manipulator Based on Global Performance Indices Using the Grey-based Taguchi Method.," in *5th IFAC Symposium on Mechatronic Systems*, Boston Cambridge., 2010.
- [8] M. Korayem, A. Shafei and H. Shafei, "Dynamic modeling of nonholonomic wheel mobile manipulators with elastic joint using recursive Gibbs-Appell formulation," *International Journal of Scientia Iranica*, vol. 19, no. 4, pp. 1092-1104, 2012.
- [9] P. C.D and e. al., "An Analytical approach to Operational Space Control of Robotic Manipulators with Kinematic Constraint. Proceeding of," in *The 19th World Congress The International Federation of Automatic Control*, South Africa, 2014.
- [10] F. Pal Johan, R. Anders and J. Rolf, "On the Manipulability of Velocity-constrained Serial Robotic Manipulators. .," in *Proceeding of the 19th world Congress The International Federation of Automatic Control*, South Africa., August 24-29, 2014.
- [11] A. Hentout and e. al, "Multi-agent control Approach for Autonomous Mobile Manipulators: Simulation Results on RobuTER/U LM. Proceeding of the 19th World Congress," in *The International Federation of Automatic Control.*, South Africa., 2014.
- [12] O. Bulen, "Guidance and Control of a Planar Robot Manipulator Used in a Mounting Line. Proceeding of," in *the 18th World Congress The International Federation of Automatic Control*, Milano, Italy, 2011.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

PENENTUAN *IN HOUSE* STANDARD LOGAM TANAH JARANG

Mutia Anggraini¹, Samin², Budi Yuli Ani¹, Kurnia Setiawan W¹

¹Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir – Batan, Jl. Lebak Bulus Raya 9, Pasar Jum'at, Jakarta, 12440

²Pusat Sains dan Teknologi Akselerator – Batan, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta, 55281
Email: mutiaa@batan.go.id

ABSTRAK

PENENTUAN *IN HOUSE* STANDARD LOGAM TANAH JARANG. BATAN melalui Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir (PTBGN) telah menguasai teknologi pemisahan logam tanah jarang (LTJ) dari monasit. LTJ hidroksida yang dihasilkan oleh PTBGN merupakan bahan *intermediate* yang selanjutnya akan diproses menjadi oksida LTJ ataupun unsur LTJ sesuai peruntukan penggunaannya. Banyak industri yang mengandalkan kualitas produknya pada LTJ baik industri dengan teknologi sederhana sampai teknologi tinggi. LTJ yang dihasilkan harus memiliki kualitas produk yang baik dan harus memenuhi standar produk, oleh sebab itu diperlukan sertifikat yang menyatakan bahwa produk tersebut layak digunakan sebagai bahan acuan (*In-House standard*). Penelitian ini bertujuan untuk membuat *In-House standard* LTJ dengan metode sampling, pengayakan, uji kadar air, uji homogenisasi dengan metode uji Fisher, uji stabilitas, dan penentuan nilai *in-house* berdasarkan nilai ketidakpastian pengukuran. Sampel LTJ hidroksida yang berasal dari monasit dan diproduksi di PTBGN-BATAN telah lolos uji kadar air, homogenitas, dan stabilitas sehingga sampel tersebut dapat dijadikan *in-house standard*.

Kata kunci: LTJ, *In-House Standard*, Monasit, Bahan Acuan

ABSTRACT

DETERMINATION OF *IN HOUSE* STANDARD OF RARE EARTH ELEMENTS. BATAN through Center for Nuclear Minerals Technology (PTBGN) has mastering of the rare earth elements separation technology. REE hydroxide produced by PTBGN is *intermediate materials* which will processed to be REE oxide or individual REE according to their use. Many industries are relying on the quality of their product on REE, from simple technology until high technology. The producing REE must have good quality and must meet the product standard, therefore certificates are required that the product is worthy of use as a *In-House standard*. This study aims to create *In-House standard* of REE with sampling method, sieving, water content test, homogenization test with Fisher test method, stability test, and *in-house* value determination based on uncertainty measurement value. The resulting that samples of LTJ hydroxide derived from monazite and produced in PTBGN-BATAN have passed the test of water content, homogeneity, and stability so that the sample can be made *in-house standard*.

Keywords: REE, *In-House Standard*, Monasit, Reference Materials

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang sebagian wilayahnya termasuk dalam jalur *The Southeast Asia Tin Belt* (jalur Timah). Keterdapatannya mineral *cassiterite* (SnO₂) pembawa unsur timah cukup melimpah. Umumnya *cassiterite* berasosiasi dengan mineral-mineral yang mengandung logam tanah jarang (LTJ), seperti xenotime dan monasit. Indonesia yang memiliki potensi sumberdaya LTJ masih merintis industrialisasi LTJ melalui pengolahan mineral monasit yang merupakan tailing dari penambangan timah [1]. Selain LTJ, monasit juga mengandung unsur radioaktif.

Logam tanah jarang (LTJ) terdiri dari 15 unsur dalam grup lantanida, dan 2 unsur yang dapat dikategorikan sebagai LTJ yaitu Scandium (Sc) dan Yttrium (Y) [2]. Berdasarkan konfigurasi elektronnya, Rohr dan USGS membagi LTJ dalam 2 kelompok, yaitu *Light Rare Earth Elements* (LREE) dan *Heavy Rare Earth Elements* (HREE) [3]. Unsur-unsur lantanida memiliki kemiripan sifat kimia. seperti dimilikinya 4f orbital elektron di kulit terluar, dan reaktivitas yang tinggi. Karakteristik demikian menjadikan LTJ banyak digunakan sebagai bahan magnet, katalis, elektronik, dan optik [2].

Penelitian terdahulu di Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir (PTBGN) – Batan telah berhasil memisahkan unsur radioaktif dan logam tanah jarang dalam monasit melalui metode basa. Produk yang dihasilkan berupa LTJ hidroksida [4].

LTJ hidroksida merupakan bahan *intermediate* yang selanjutnya akan diproses menjadi oksida LTJ ataupun unsur LTJ sesuai peruntukan penggunaannya. Beberapa penelitian hilir yang sedang dilakukan dalam penggunaan LTJ diantaranya pembuatan magnet permanen berbasis Nd, cat anti radar berbasis La, MRI *contrast agent* berbasis Gd, dan nanomaterial LTJ [1]. Banyak industri yang mengandalkan kualitas produknya pada LTJ baik industri dengan teknologi sederhana sampai teknologi tinggi hingga futuristic (Superkonduktor). LTJ yang dihasilkan harus memiliki kualitas produk yang baik dan harus memenuhi standar produk, oleh sebab itu diperlukan sertifikat yang menyatakan bahwa produk tersebut layak digunakan sebagai bahan acuan (*Reference Material*).

Secara hierarki bahan acuan, dapat dikategorikan menjadi tingkat akurasi tertinggi, tingkat akurasi kedua dan tingkat akurasi ketiga. Tingkat akurasi tertinggi umumnya dimiliki oleh bahan acuan primer (*primary reference material*) seperti SRM (*Standard Reference Material*) dan CRM (*Certified Reference Material*). Tingkat akurasi yang kedua dimiliki oleh bahan acuan sekunder yaitu bahan yang sama dengan bahan acuan primer (komposisi matriks, kadar analit, homogenitas dan kestabilan) yang dibuat melalui kalibrasi oleh bahan acuan primer dan mampu tertelusur ke bahan acuan primer. Tingkat akurasi ketiga dimiliki oleh *working / in-house / internal reference material* yang dapat dibuat di laboratorium sendiri dengan bahan yang matriksnya bahan acuan sekunder atau bahan alami atau sintetik lainnya, nilai *reference material* ini diperoleh berdasarkan nilai konsensus dari hasil uji banding laboratorium [5].

SRM adalah bahan atau zat yang memiliki sifat-sifat tertentu yang cukup homogen dan stabil yang telah ditetapkan untuk dapat digunakan dalam pengukuran atau dalam pengujian suatu contoh. SRM yang salah satu atau lebih sifatnya sudah disertifikasi dengan prosedur metrologi yang absah, disertai sertifikat yang memuat nilai sifat, ketidakpastian, dan pernyataan ketertelusuran metrologi yang digunakan disebut CRM [6]. Salah satu upaya mewujudkan SRM yang tersertifikasi (CRM) dapat dilakukan melalui pembuatan *In-House Standard*. *In-House standard* merupakan material yang digunakan sebagai bahan acuan untuk pengukuran laboratorium secara internal [7].

SRM diperlukan untuk mengontrol kebenaran dari suatu metoda dan analisis, mengecek presisi dan akurasi, pengembangan metode analisis, pelatihan teknisi, verifikasi dan evaluasi hasil analisis yang dikeluarkan oleh laboratorium, dan sebagai sebuah sampel pembandingan bagi penilaian antar laboratorium [8].

Di Indonesia, standar produk LTJ hidroksida yang dihasilkan dari proses pengolahan monazite belum memiliki SRM. Selama ini pemenuhan kebutuhan bahan SRM dilakukan dengan cara membeli/memesan ke luar negeri dengan harga yang sangat mahal dan terkadang matriksnya tidak selalu sama dengan matriks yang dibutuhkan.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat *In-House standard* LTJ yang dihasilkan dari proses pengolahan monasit sehingga dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan dalam negeri bagi laboratorium - laboratorium pengujian maupun kalibrasi.

DASAR TEORI

Pembuatan *In-House standard* LTJ melalui beberapa tahapan proses yaitu sampling, penggilingan dan pengayakan, uji kadar air, uji homogenisasi, uji stabilitas dan penentuan nilai *In-House standard* LTJ [9].

Metode pengujian homogenisasi yang digunakan adalah uji Fisher atau uji F. Uji F digunakan untuk menguji homogenitas varian dari dua kelompok data dengan menentukan harga *Mean Square Between* (MSB) dan *Mean Square Within* (MSW). Sampel dinyatakan homogen jika $F_{hitung} < F_{tabel}$. Pada kasus ini F_{tabel} menggunakan probabilitas (α)= 0.05 dan derajat kebebasan (df). Rumus mencari F_{hitung} adalah sebagai berikut [10]:

$$MSB = \frac{\sum [(a_1 + b_1) - \bar{X}_{(a_1 + b_1)}]^2}{2(n-1)} \quad (1)$$

$$MSW = \frac{\sum [(a_1 - b_1) - \bar{X}_{(a_1 - b_1)}]^2}{2n} \quad (2)$$

$$F = \frac{MSB}{MSW} \quad (3)$$

Keterangan:

MSB	=	varian terbesar
MSW	=	varian terkecil
a_1	=	data kelompok 1
b_1	=	data kelompok 2
\bar{X}	=	nilai rata-rata
n	=	jumlah data

Rumus mencari F_{tabel} adalah sebagai berikut [11]:

$$df_1 = k - 1 \quad (4)$$

$$df_2 = n - k \quad (5)$$

Keterangan:

df_1	=	derajat kebebasan 1
df_2	=	derajat kebebasan 2
k	=	jumlah variabel
n	=	jumlah data

Selain uji kadar air dan uji homogenitas, syarat fisik pada pembuatan *In-House standard* LTJ adalah uji stabilitas. Uji stabilitas bertujuan untuk mengetahui kestabilan kondisi fisik suatu sampel setelah disimpan selama 2-3 bulan. Suatu contoh dikatakan stabil jika antara data pertama dan kedua atau data pertama dan ketiga, tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan yang ditentukan dengan persamaan [12]:

$$|\bar{X}_1 - \bar{X}_{HM}| < 0.3 nIQR \quad (6)$$

Keterangan:

\bar{X}_1	=	Rerata sampel uji ke dua
\bar{X}_{HM}	=	Rerata sampel uji homogenisasi
0.3	=	Konstanta yang ditetapkan APLAC
nIQR	=	Selisih antara kuartil 3 dan 1

Penentuan nilai *In-House standard* LTJ dilakukan dengan nilai konsensus yang ditetapkan berdasarkan nilai dari hasil uji banding antar laboratorium. Metode nilai konsensus dilakukan karena laboratorium di Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir belum memiliki CRM LTJ hidroksida sebagai pembandingan. Nilai konsensus diperoleh berdasarkan perhitungan rerata kadar unsur dan ketidakpastian pengukuran dengan persamaan [9]:

$$w_i = \frac{1}{\mu_i^2} \quad (7)$$

$$W_i = \frac{w_i}{\sum w_i} \quad (8)$$

$$\bar{X} = \sum W_i X_i \quad (9)$$

$$\mu(X) = \sqrt{\sum W_i^2 \mu_i^2} \quad (10)$$

Keterangan :

μ_i	=	ketidakpastian baku (pada alat)
X_i	=	kadar unsur tiap laboratorium
\bar{X}	=	rerata kadar unsur
$\mu(X)$	=	ketidakpastian pengukuran

METODOLOGI

LTJ hidroksida diproduksi melalui beberapa tahapan proses yaitu dekomposisi dengan NaOH pada suhu 140°C, pelarutan parsial dengan HCl pada suhu 80°C, pengendapan uranium dan thorium, dan pengendapan LTJ hidroksida dengan NH₄OH. Endapan LTJ dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C [4]. LTJ hidroksida yang dihasilkan digunakan sebagai bahan baku pembuatan *In-House standard* LTJ yang selanjutnya disebut conto acuan.

Conto acuan yang telah disampling dan diayak hingga ukuran butir lolos 200 mesh kemudian dikeringkan dengan oven pada suhu 110°C untuk uji kadar air. Pengujian homogenisasi dilakukan dengan menganalisis conto acuan secara duplo. Conto acuan yang dianggap homogen kemudian dianalisis di 8 laboratorium untuk dilakukan uji banding. Laboratorium tersebut antara lain: 2 laboratorium di BATAN yaitu Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir (PTBGN) dan Pusat Sains dan Teknologi Nuklir Terapan (PSTNT), 3 laboratorium di ESDM yaitu Pusat Sumber daya Mineral Batu bara dan Panas Bumi, Pusat Survei Geologi, dan Tekmira serta 3 laboratorium lainnya seperti LIPI, SisLab, dan Qualis. Metode analisis yang digunakan untuk analisis LTJ adalah ICP-OES (*Inductively coupled plasma-optical emission spectrometer*) dan XRF (X-Ray fluorescence). LTJ yang diamati dalam penelitian ini terbatas pada LREE yang terdiri dari La, Ce, Pr, Nd, dan Sm, Gd, serta Dy, Tb dan Y yang merupakan HREE.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan *In-House standard* LTJ harus memenuhi beberapa kriteria atau syarat fisik. LTJ hidroksida harus lolos uji kadar air, uji homogenitas, dan uji stabilitas. Selain itu, LTJ hidroksida harus dikarakterisasi untuk mengetahui senyawa kimia yang terkandung di dalamnya.

Uji kadar air

Uji kadar air dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kandungan air pada sampel. Sampel dengan kadar air lebih dari 1% belum layak digunakan sebagai bahan conto pembuatan *In-House standard* LTJ.

Tabel 1. Kadar Air dalam sampel LTJ hidroksida

No	Berat LTJOH (gram)	Berat air (gram)	Kadar air (%)	Rerata (%)
1	7,0310	0,0550	0,7822	
2	7,0506	0,0611	0,8665	0,8395
3	7,2196	0,0628	0,8698	

Berdasarkan Tabel 1 diperoleh kadar air LTJ hidroksida sebesar 0,8395% atau lebih kecil dari 1% sehingga sampel tersebut memenuhi salah syarat fisik sebagai bahan conto pembuatan *In-House standard* LTJ. Bahan conto yang telah lolos uji kadar air, selanjutnya dilakukan uji homogenisasi.

Uji Homogenasi

Uji homogenisasi bertujuan untuk mengetahui tingkat homogenitas suatu sampel yang akan diuji. Sampel harus memenuhi syarat homogenitas agar hasil pengukuran suatu senyawa yang terkandung pada sampel mewakili pengukuran seluruh sampel. Uji homogenitas dilakukan dengan mengambil hasil pengukuran yang mewakili senyawa makro (senyawa yang keberadaannya terbanyak) dan senyawa mikro (senyawa yang keberadaannya tersedikit). Senyawa CeO₂ merupakan senyawa makro dan Y₂O₃ merupakan senyawa mikro pada sampel LTJ hidroksida yang digunakan.

Tabel 2. Uji Homogenisasi sampel LTJ Hidroksida untuk penentuan MSB pada unsur makro

Kode Contoh	Konsentrasi CeO ₂ (%)		(ai+bi)	(ai+bi)- X _(ai+bi)	[(ai+bi)- X _(ai+bi)] ²
	a	b			
1	34.9020	34.4110	69.3130	0.4041	0.1633
2	34.1680	34.2810	68.4490	-0.4599	0.2115
3	34.9160	34.2840	69.2000	0.2911	0.0847
4	34.4110	34.6120	69.0230	0.1141	0.0130
5	34.4770	34.0780	68.5550	-0.3539	0.1252
6	34.0880	34.2440	68.3320	-0.5769	0.3328
7	34.3310	34.0640	68.3950	-0.5139	0.2641
8	34.8610	34.3100	69.1710	0.2621	0.0687
9	34.8230	34.9010	69.7240	0.8151	0.6644
10	34.6320	34.2950	68.9270	0.0181	0.0003
n =	10				
∑ =			689.089		1.9281
X _(ai+bi) =			68.9089		
2(n-1) =	18			MSB =	0.1071

Tabel 3. Uji Homogenisasi sampel LTJ Hidroksida untuk penentuan MSW pada unsur makro

Kode Contoh	Konsentrasi CeO ₂ (%)		(ai-bi)	(ai-bi)- X _(ai-bi)	[(ai-bi)- X _(ai-bi)] ²
	a	b			
1	34.9020	34.4110	0.4910	0.2781	0.0773
2	34.1680	34.2810	-0.1130	-0.3259	0.1062
3	34.9160	34.2840	0.6320	0.4191	0.1756
4	34.4110	34.6120	-0.2010	-0.4139	0.1713
5	34.4770	34.0780	0.3990	0.1861	0.0346
6	34.0880	34.2440	-0.1560	-0.3689	0.1361
7	34.3310	34.0640	0.2670	0.0541	0.0029
8	34.8610	34.3100	0.5510	0.3381	0.1143
9	34.8230	34.9010	-0.0780	-0.2909	0.0846
10	34.6320	34.2950	0.3370	0.1241	0.0154
n =	10				
∑ =			2.1290		0.9185
X _(ai-bi) =			0.2129		
2n =	20			MSW =	0.0459

Nilai F dihitung berdasarkan persamaan (3) sebagai berikut:

$$F = \frac{0,1071}{0,0459} = 2,332$$

Penentuan uji homogenisasi unsur makro berdasarkan nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$. Nilai F_{tabel} berdasarkan Tabel 4 dengan $df_1 = 1$ dan $df_2 = 8$ berdasarkan persamaan 4 dan 5 diperoleh 5,32.

Tabel 4. Tabel F dengan nilai probabilitas (α)= 0.05 [11]

$\frac{df_2}{df_1}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	35	40	45	50	60	70	80	100	200	500	1000	>1000	$\frac{df_1}{df_2}$	
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70	8.69	8.68	8.67	8.67	8.66	8.65	8.64	8.63	8.62	8.62	8.60	8.59	8.58	8.57	8.57	8.56	8.55	8.54	8.53	8.53	3			
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.84	5.83	5.82	5.81	5.80	5.79	5.77	5.76	5.75	5.75	5.73	5.72	5.71	5.70	5.69	5.68	5.67	5.66	5.65	5.64	5.63	4		
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.60	4.59	4.58	4.57	4.56	4.54	4.53	4.52	4.50	4.50	4.48	4.46	4.45	4.44	4.43	4.42	4.41	4.39	4.37	4.36	5			
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.92	3.91	3.90	3.88	3.87	3.86	3.84	3.83	3.82	3.81	3.79	3.77	3.76	3.75	3.74	3.73	3.72	3.71	3.69	3.68	3.67	6		
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.49	3.48	3.47	3.46	3.44	3.43	3.41	3.40	3.39	3.38	3.36	3.34	3.33	3.32	3.30	3.29	3.27	3.25	3.24	3.23	3.23	7		
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.59	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.20	3.19	3.17	3.16	3.15	3.13	3.12	3.10	3.09	3.08	3.06	3.04	3.03	3.02	3.01	2.99	2.97	2.95	2.94	2.93	2.93	8		
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.99	2.97	2.96	2.95	2.94	2.92	2.90	2.89	2.87	2.86	2.84	2.83	2.81	2.80	2.79	2.78	2.77	2.76	2.75	2.74	2.74	9		
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.83	2.81	2.80	2.79	2.77	2.75	2.74	2.72	2.71	2.70	2.68	2.66	2.65	2.64	2.62	2.61	2.60	2.59	2.58	2.55	2.54	2.54	10	
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.70	2.68	2.67	2.66	2.65	2.63	2.61	2.59	2.58	2.57	2.55	2.52	2.51	2.49	2.48	2.47	2.46	2.45	2.42	2.41	2.41	11		
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.60	2.58	2.57	2.56	2.54	2.52	2.51	2.49	2.48	2.47	2.44	2.43	2.41	2.40	2.38	2.37	2.36	2.35	2.32	2.31	2.30	2.30	12	
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.51	2.50	2.48	2.47	2.46	2.44	2.42	2.41	2.39	2.38	2.36	2.34	2.33	2.31	2.30	2.28	2.27	2.26	2.23	2.22	2.21	2.21	13	
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.44	2.43	2.41	2.40	2.39	2.37	2.35	2.33	2.32	2.31	2.28	2.27	2.25	2.24	2.22	2.21	2.20	2.19	2.16	2.14	2.14	2.13	14	
15	4.54	3.68	3.28	3.05	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.46	2.42	2.40	2.38	2.37	2.35	2.34	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.25	2.22	2.20	2.19	2.18	2.16	2.15	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07	2.07	15	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.33	2.32	2.30	2.29	2.28	2.26	2.24	2.22	2.21	2.19	2.17	2.15	2.14	2.12	2.11	2.09	2.08	2.07	2.02	2.02	2.01	2.01	16	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.29	2.27	2.26	2.24	2.24	2.22	2.21	2.19	2.17	2.15	2.12	2.10	2.09	2.08	2.06	2.05	2.02	2.00	1.99	1.97	1.97	1.96	1.96	17
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.25	2.23	2.22	2.20	2.19	2.17	2.15	2.13	2.12	2.10	2.08	2.06	2.05	2.04	2.02	2.00	1.99	1.98	1.95	1.93	1.92	1.92	1.91	18
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.43	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.21	2.20	2.18	2.17	2.16	2.13	2.11	2.10	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.00	1.98	1.97	1.96	1.94	1.91	1.89	1.88	1.88	1.87	19
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.23	2.20	2.18	2.17	2.15	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07	2.05	2.04	2.01	1.99	1.98	1.97	1.95	1.93	1.92	1.91	1.88	1.86	1.85	1.84	1.84	20
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15	2.13	2.11	2.10	2.08	2.07	2.05	2.03	2.01	2.00	1.98	1.96	1.94	1.92	1.91	1.89	1.88	1.86	1.85	1.82	1.80	1.79	1.78	1.78	22
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.09	2.07	2.05	2.04	2.03	2.00	1.98	1.97	1.95	1.93	1.91	1.89	1.88	1.86	1.84	1.83	1.82	1.80	1.77	1.75	1.74	1.73	1.73	24
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07	2.05	2.03	2.02	2.00	1.99	1.97	1.95	1.93	1.91	1.90	1.88	1.87	1.84	1.82	1.80	1.79	1.78	1.76	1.73	1.71	1.70	1.69	1.69	26
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04	2.02	2.00	1.99	1.97	1.96	1.93	1.91	1.90	1.88	1.87	1.84	1.82	1.80	1.79	1.77	1.75	1.74	1.73	1.69	1.67	1.66	1.66	28	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	1.99	1.98	1.96	1.95	1.93	1.91	1.89	1.87	1.85	1.84	1.81	1.79	1.77	1.76	1.74	1.72	1.71	1.70	1.66	1.64	1.63	1.62	30	
35	4.12	3.27	2.87	2.64	2.48	2.37	2.29	2.22	2.16	2.11	2.08	2.04	2.01	1.99	1.96	1.94	1.92	1.91	1.89	1.88	1.85	1.83	1.82	1.80	1.79	1.76	1.74	1.72	1.70	1.68	1.66	1.65	1.63	1.60	1.57	1.57	1.56	35	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.90	1.89	1.87	1.85	1.84	1.81	1.79	1.77	1.76	1.74	1.72	1.70	1.68	1.66	1.64	1.62	1.61	1.59	1.55	1.53	1.52	1.51	1.51	40
45	4.06	3.20	2.81	2.58	2.42	2.31	2.22	2.15	2.10	2.05	2.01	1.97	1.94	1.92	1.89	1.87	1.86	1.84	1.82	1.81	1.78	1.76	1.74	1.73	1.71	1.68	1.66	1.64	1.63	1.60	1.59	1.57	1.55	1.51	1.49	1.48	1.47	1.47	45
50	4.03	3.18	2.79	2.56	2.40	2.29	2.20	2.13	2.07	2.03	1.99	1.95	1.92	1.89	1.87	1.85	1.83	1.81	1.80	1.78	1.76	1.74	1.72	1.70	1.69	1.66	1.63	1.61	1.60	1.58	1.56	1.54	1.52	1.48	1.46	1.45	1.44	1.44	50
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84	1.82	1.80	1.78	1.76	1.75	1.72	1.70	1.67	1.65	1.63	1.61	1.59	1.57	1.55	1.53	1.52	1.50	1.48	1.44	1.41	1.40	1.39	1.39	60
70	3.98	3.13	2.74	2.50	2.35	2.23	2.14	2.07	2.01	1.97	1.93	1.89	1.86	1.84	1.81	1.79	1.77	1.75	1.74	1.72	1.70	1.67	1.65	1.64	1.62	1.59	1.57	1.55	1.53	1.50	1.49	1.47	1.45	1.40	1.37	1.36	1.35	1.35	70
80	3.96	3.11	2.72	2.49	2.33	2.21	2.13	2.06	2.00	1.95	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79	1.77	1.75	1.74	1.72	1.70	1.68	1.65	1.63	1.62	1.60	1.57	1.54	1.52	1.51	1.48	1.46	1.45	1.43	1.38	1.35	1.34	1.33	1.33	80
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77	1.75	1.73	1.71	1.69	1.68	1.65	1.63	1.61	1.59	1.57	1.54	1.52	1.49	1.48	1.45	1.43	1.39	1.34	1.31	1.30	1.28	1.28	1.28	100
200	3.89	3.04	2.65	2.42	2.26	2.14	2.03	1.96	1.90	1.86	1.84	1.81	1.78	1.74	1.72	1.70	1.68	1.66	1.64	1.62	1.60	1.57	1.55	1.53	1.51	1.48	1.46	1.43	1.41	1.39	1.36	1.35	1.32	1.22	1.21	1.19	1.19	200	
500	3.86	3.01	2.62	2.39	2.23	2.12	2.03	1.96	1.90	1.86	1.84	1.81	1.77	1.74	1.71	1.69	1.66	1.64	1.62	1.61	1.59	1.56	1.54	1.52	1.50	1.48	1.45	1.42	1.40	1.38	1.35	1.32	1.28	1.21	1.16	1.14	1.12	1.12	500
1000	3.85	3.00	2.61	2.38	2.22	2.11	2.02	1.95	1.89	1.85	1.83	1.80	1.76	1.73	1.70	1.68	1.65	1.63																					

Tabel 5. Uji Homogenisasi sampel LTJ Hidroksida untuk penentuan MSB pada unsur mikro

Kode Contoh	Konsentrasi Y ₂ O ₃ (%)		(ai+bi)	(ai+bi)-X _(ai+bi)	[(ai+bi)-X _(ai+bi)] ²
	a	b			
1	2.1720	2.1100	4.2820	-0.0989	0.0098
2	2.2770	2.2300	4.5070	0.1261	0.0159
3	2.1850	2.2490	4.4340	0.0531	0.0028
4	2.1950	2.2740	4.4690	0.0881	0.0078
5	2.1510	2.1580	4.3090	-0.0719	0.0052
6	2.1520	2.2080	4.3600	-0.0209	0.0004
7	2.1410	2.1660	4.3070	-0.0739	0.0055
8	2.1920	2.1680	4.3600	-0.0209	0.0004
9	2.1860	2.1740	4.3600	-0.0209	0.0004
10	2.2230	2.1980	4.4210	0.0401	0.0016
n =	10				
□ =			43.8090		0.0498
X _(ai+bi) =			4.3809		
2(n-1) =	18			MSB =	0.0028

Tabel 6. Uji Homogenisasi sampel LTJ Hidroksida untuk penentuan MSW pada unsur mikro

Kode Contoh	Konsentrasi Y ₂ O ₃ (%)		(ai-bi)	(ai-bi)-X _(ai-bi)	[(ai-bi)-X _(ai-bi)] ²
	a	b			
1	2.1720	2.1100	0.0620	0.0681	0.0046
2	2.2770	2.2300	0.0470	0.0531	0.0028
3	2.1850	2.2490	-0.0640	-0.0579	0.0034
4	2.1950	2.2740	-0.0790	-0.0729	0.0053
5	2.1510	2.1580	-0.0070	-0.0009	0.0000
6	2.1520	2.2080	-0.0560	-0.0499	0.0025
7	2.1410	2.1660	-0.0250	-0.0189	0.0004
8	2.1920	2.1680	0.0240	0.0301	0.0009
9	2.1860	2.1740	0.0120	0.0181	0.0003
10	2.2230	2.1980	0.0250	0.0311	0.0010
n =	10				
□ =			-0.0610		0.0212
X _(ai-bi) =			-0.0061		
2n =	20			MSW=	0.0011

Nilai F dihitung berdasarkan persamaan (3) sebagai berikut:

$$F = \frac{0,0028}{0,0011} = 2,61$$

Penentuan uji homogenisasi unsur makro berdasarkan nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$. Nilai F_{tabel} berdasarkan Tabel 4 dengan $df_1 = 1$ dan $df_2 = 8$ berdasarkan persamaan 4 dan 5 diperoleh 5,32.

Berdasarkan data uji homogenitas dengan parameter uji unsur major (kadar CeO₂) dan unsur minor (kadar Y₂O₃), nilai masing-masing F_{hitung} lebih kecil dari nilai F_{tabel} . Jadi dapat disimpulkan bahwa sampel LTJ hidroksida sudah homogen. LTJ hidroksida yang telah homogen kemudian dilakukan uji stabilitas.

Uji stabilitas

Uji stabilitas pada LTJ hidroksida juga mengambil senyawa CeO₂ sebagai senyawa makro dan Y₂O₃ sebagai senyawa mikro. Data hasil perhitungan uji stabilitas terhadap LTJ hidroksida dapat dilihat pada Tabel 7 dan 8.

Tabel 7. Uji Stabilitas sampel LTJ Hidroksida pada unsur makro

Kode Contoh	Konsentrasi CeO ₂ (%)		X _{HM}	Kode Contoh	Konsentrasi CeO ₂ setelah 2 bulan (%)		Xi
	a	b			a	b	
1	34.0880	34.0640	34.0760	1	34.0880	34.0640	34.0760
2	34.1680	34.0780	34.1230	3	34.3310	34.2440	34.2875
3	34.3310	34.2440	34.2875	10	34.9160	34.9010	34.9085
4	34.4110	34.2810	34.3460	n =	3		
5	34.4770	34.2840	34.3805	□ =			103.2720
6	34.6320	34.2950	34.4635			\bar{X}_i	34.4240
7	34.8230	34.3100	34.5665	median	34.555	34.2895	
8	34.8610	34.4110	34.6360	kuartil 3	34.8610	34.4110	
9	34.9020	34.6120	34.7570	kuartil 1	34.3310	34.2440	
10	34.9160	34.9010	34.9085	IQR	0.5300	0.1670	0.3485
n =	10			n(tetapan)	0.7413	nIQR	0.25834
□ =			344.5445			0.3 nIQR	0.0775
		\bar{X}_{HM}	34.4545			$ \bar{X}_i - \bar{X}_{HM} $	0.0305

Tabel 8. Uji Stabilitas sampel LTJ Hidroksida pada unsur mikro

Kode Contoh	Konsentrasi Y ₂ O ₃ (%)		X _{HM}	Kode Contoh	Konsentrasi Y ₂ O ₃ setelah 2 bulan (%)		Xi
	a	b			a	b	
1	2.1410	2.1100	2.1255	1	2.1410	2.1100	2.1255
2	2.1510	2.1580	2.1545	3	2.1520	2.1660	2.1590
3	2.1520	2.1660	2.1590	10	2.2770	2.2740	2.2755
4	2.1720	2.1680	2.1700	n =	3		
5	2.1850	2.1740	2.1795	□ =			6.5600
6	2.1860	2.1980	2.1920			\bar{X}_i	2.1867
7	2.1920	2.2080	2.2000	median	2.1855	2.186	
8	2.1950	2.2300	2.2125	kuartil 3	2.1950	2.2300	
9	2.2230	2.2490	2.2360	kuartil 1	2.1520	2.1660	
10	2.2770	2.2740	2.2755	IQR	0.0430	0.0640	0.0535
n =	10			n(tetapan)	0.7413	nIQR	0.0397
□ =			21.9045			0.3 nIQR	0.0119
		\bar{X}_{HM}	2.19045			$ \bar{X}_i - \bar{X}_{HM} $	0.0038

Berdasarkan hasil perhitungan uji stabilitas unsur makro dan mikro pada Tabel 7 dan 8 didapatkan nilai $|\bar{X}_i - \bar{X}_{HM}|$ pada masing-masing unsur lebih kecil dari nilai **0.3 nIQR**, sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi sampel LTJ hidroksida sudah stabil.

Penentuan Nilai In-House SRM LTJ Hidroksida

Data hasil analisis sampel LTJ hidroksida dengan metode ICP dan XRF dari 8 laboratorium uji disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil Analisis LTJ Hidroksida dari 8 Laboratorium Uji

No	Nama Laboratorium	Konsentrasi unsur (%)								
		Ce	La	Nd	Pr	Y	Sm	Gd	Dy	Tb
1	PTBGN (ICP)	30.27	15.54	8.79	7.48	2.00	1.98	0.93	0.4246	0.1382
2	Qualis (ICP)	33.69	15.99	11.51	7.89	2.31	2.18	1.10	0.4753	0.1672
3	PSDG (ICP)	25.57	12.85	10.12	7.87	1.44	1.40	0.87	0.4400	0.690
4	PSG (ICP)	10.04	8.99	6.17	1.65	1.14	0.96	1.14	0.2601	0.565
5	SisLaB (ICP)	29.25	14.66	9.16	6.94	1.99	1.92	1.08	0.4554	0.1483
6	LIPI (ICP)	27.07	39.90	10.73	2.69	ttd	1.99	1.28	0.4579	0.1461
7	Tekmira (XRF)	35.26	19.06	5.42	2.26	1.85	0.76	1.65	0.3400	Ttd
8	PSG (XRF)	20.28	9.29	6.75	1.52	1.47	0.89	0.82	0.1920	0.444
9	PSTNT (XRF)	39.11	17.24	9.66	ttd	ttd	2.35	ttd	ttd	ttd
10	PSTNT (AAN)	38.76	15.71	8.96	ttd	ttd	ttd	ttd	ttd	0.620

ttd = tidak terdeteksi

Penentuan nilai *In-House* SRM LTJ hidroksida diperoleh berdasarkan perhitungan rerata kadar unsur dan ketidakpastian pengukuran dengan persamaan (7), (8), (9), dan (10). Hasil perhitungan rerata kadar unsur dan ketidakpastian pengukuran untuk unsur makro dan unsur mikro disajikan pada Tabel 10 dan 11.

Tabel 10. Kadar Unsur dan Ketidakpastian Pengukuran Unsur CeO₂

Nama Lab	Xi	µi	Wi'	Wi	Wi.Xi	Wi ² µi ²
PTBGN	30.27	0.310	10.41	0.019046	0.5765	0.0000
QUALIS	33.69	0.310	10.41	0.019046	0.6417	0.0000
PSDG	25.57	0.300	11.11	0.020337	0.5200	0.0000
PSG	20.28	0.300	11.11	0.020337	0.4124	0.0000
PSG (ICP)	10.04	0.310	10.41	0.019046	0.1912	0.0000
SisLab	29.25	0.090	123.46	0.22597	6.6096	0.0004
Tekmira	35.26	0.120	69.44	0.127108	4.4818	0.0002
LIPI	27.07	0.100	100.00	0.183036	4.9548	0.0003
PSTNT (AAN)	38.76	0.100	100.00	0.183036	7.0945	0.0003
PSTNT (XRF)	39.11	0.100	100.00	0.183036	7.1585	0.0003
Jumlah			546.34			0.0018
X rerata					32.6412	
µx						0.0428

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 10, maka kadar unsur makro (CeO₂) sebesar 32,6412 ± 0.0428 %. Dengan cara yang sama, diperoleh kadar unsur La, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, Tb, dan Y seperti pada Tabel 11.

Tabel 11. Rerata Kadar Unsur dan Ketidakpastian Pengukuran

No	Unsur	Kadar	Ketidakpastian
1	Ce (%)	32.6412	0.0428
2	La (%)	16.8074	0.0305
3	Nd (%)	8.5163	0.0849
4	Pr (%)	3.8646	0.0862
5	Y (%)	1.6358	0.0305
6	Sm (%)	1.5991	0.0388
7	Gd (%)	1.4204	0.0493
8	Dy (%)	0.4144	0.0286
9	Tb (%)	0.1227	0.0275

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data hasil analisis terhadap sampel LTJ hidroksida yang berasal dari monasit dan diproduksi di PTBGN-BATAN dapat disimpulkan bahwa sampel tersebut telah lolos uji kadar air, homogenitas, dan stabilitas sehingga dapat dijadikan *in-house standard*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada PTBGN dan PSTA BATAN yang telah menyediakan bahan penelitian serta fasilitas laboratorium proses dan analisis.

REFERENSI

1. Trinopiawan K, Mohammad Zaki M, June Mellawati, Budi Yuli Ani, "Pelindian Logam Tanah Jarang dari Terak Timah dengan Asam Klorida setelah Proses Fusi Alkali", *Eksplorium*, Vol 37 No 1, Hal 41-50, Jakarta (2016).
2. Kim, C.J., Yoon, H.S., Chung, K.W., Lee, J.Y. "Leaching Kinetics of Lanthanum in Sulfuric Acid from Rare Earth Element (REE) Slag", *Hydrometallurgy*, Vol. 146, Hal 133-137, China (2014).
3. Zepf, V, "Rare Earth Elements - A New Approach to the Nexus of Supply, Demand and Use: Exemplified along the Use of Neodymium in Permanent Magnets", *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, Chapter 2, Hal 1 – 34. Berlin (2013).

4. Hafni L.N, Faizal R, Sugeng W, Budi S, Arif S, Susilaningtyas."Pengolahan Monasit dari Limbah Penambangan Timah; Pemisahan Logam Tanah Jarang dari Uranium dan Thorium'. Eksplorium. Jakarta (2000).
5. Dara, Fitri, "Bahan Acuan (Reference Material) dalam Metrologi", Jakarta (2009).
6. IAEA, "Development and Use of Reference Materials and Quality Control Materials", IAEA-TECDOC-1350, Wina (2003).
7. Budhiastuty, Sri Erni., Nelly Susanna, Herry Rodiana, "Pembuatan In-House Standar Bahan Acuan Baku (Standar Reference Material) Laterit Nikel", Buletin Sumber Daya Geologi, Vol 5 No 3, Hal 141 – 156, Jakarta (2010).
8. Samin, Sajimo, Supriyanto, Isman Mulyadi T, "Pembuatan dan Sertifikasi CRM In-House Zirkonil Klorida Hasil Proses Mineral Zirkon", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah – Penelitian Dasar ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Hal 1-8. Yogyakarta (2015).
9. Susanna, T.S, Samin, Supriyanto C."Penetapan Nilai Kandidat In-House Reference Material ZrO_2 ". Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia. Vol 14 No 1. Jakarta (2013).
10. KAN, "Pedoman Statistik Untuk Uji Profisiensi", DP.01.34, Jakarta (2004).
11. Sukoco, Agus.,Santrianingrum S., Andik K, "Bagaimana Mencari F Tabel", Jakarta (2005).
12. Supriyanto C, Samin. "Uji Homogenitas dan Stabilitas Kandidat Bahan Standar Zirkon Klorida ($ZrOCl_2$) Hasil Olah Pasir Zirkon Kalimantan Dengan Metode F-AAS". Jurnal IPTEK Nuklir Ganendra. Vol 17 No 1. Hal 45-53. Jakarta (2014).

IDENTIFIKASI KETERDAPATAN THORIUM PADA ENDAPAN LATERIT BAUKSIT DI DAERAH NANGA TAYAP – SANDAI, KABUPATEN KETAPANG, KALIMANTAN BARAT

Widodo, Putri Rahmawati, Ngadenin
Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir - BATAN
Jl. Lebak Bulus raya No 9 Pasar Jumat Jakarta Selatan 12440
email: widodoprana@batan.go.id

ABSTRAK

Hasil survei uranium dan thorium regional di Kabupaten Ketapang, Propinsi Kalimantan Barat yang dilakukan menggunakan surveymeter gamma RS 125 mendapatkan zona anomali uranium dan thorium pada endapan laterit bauksit yang menempati wilayah batuan gunungapi Kerabai, granit Sukadana dan basalt Bunga di daerah Nanga Tayap dan Sandai. Wilayah Nanga Tayap dan Sandai merupakan daerah pertambangan laterit bauksit. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui keterdapatan thorium pada endapan laterit bauksit karena penyebaran laterit bauksit di Indonesia cukup melimpah. Metode yang digunakan adalah dengan cara pembuatan sumur uji pada wilayah batuan gunungapi Kerabai, granit Sukadana dan basal Bunga, pengambilan sampel *soil*/batuan pada sumur uji dan analisis kadar unsur thorium dan aluminium. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa kadar thorium tertinggi terdapat pada sumur uji di wilayah batuan basalt Bunga yaitu mencapai 115 ppm sedangkan yang terendah terdapat pada wilayah batuan gunungapi Kerabai yaitu 28 ppm. Di wilayah batuan granit Sukadana dan batuan basalt Bunga unsur thorium dan aluminium tidak berkorelasi tetapi di wilayah batuan gunungapi Kerabai berkorelasi cukup baik. Di wilayah granit Sukadana pengayaan thorium terjadi pada zona antara *limonit* dan *saprock*, sedangkan di wilayah batuan basalt Bunga terjadi pada zona *saprolith* dan di wilayah batuan gunungapi Kerabai terjadi pada zona *limonit*.

Kata kunci :Thorium, aluminium, bauksit, Ketapang, Kalimantan Barat.

ABSTRACT

The results of regional uranium and thorium surveys in Ketapang District, West Kalimantan Province conducted using RS 125 gamma ray detectors obtained anomalous uranium and thorium zones on bauxite laterite deposits that occupy Kerabai volcanic rock, Sukadana granite and basalt Bunga in Nanga Tayap and Sandai areas. The Sandai and Nanga Tayap areas are a bauxite laterite mining area. The purpose of this research is to know thorium availability at bauxite laterite deposit because bauxite laterite distribution in Indonesia is quite abundant. The method used is by making test pit on Kerabai volcanic rock, Sukadana granite and basalt Bunga, sampling soil / rock at test pit and analyzing thorium and aluminum element content. The results of this study concluded that the highest thorium level is found in the test pit in the basalt Bunga area reaching 115 ppm whereas the lowest is in the Kerabai volcanic rock area of 28 ppm. In the area of Sukadana granite and basalt Bunga elements of thorium and aluminum are not correlated but in the volcanic Kerabai rocks correlate quite well. In the granite area thorium enrichment occurs in the zone between limonite and saprock, whereas in the basalt Bunga occurs in the saprolith zone and in the Kerabai volcanic rock occurs in the limonite zone.

Keywords : thorium, aluminum, bauxite, Ketapang, West Kalimantan

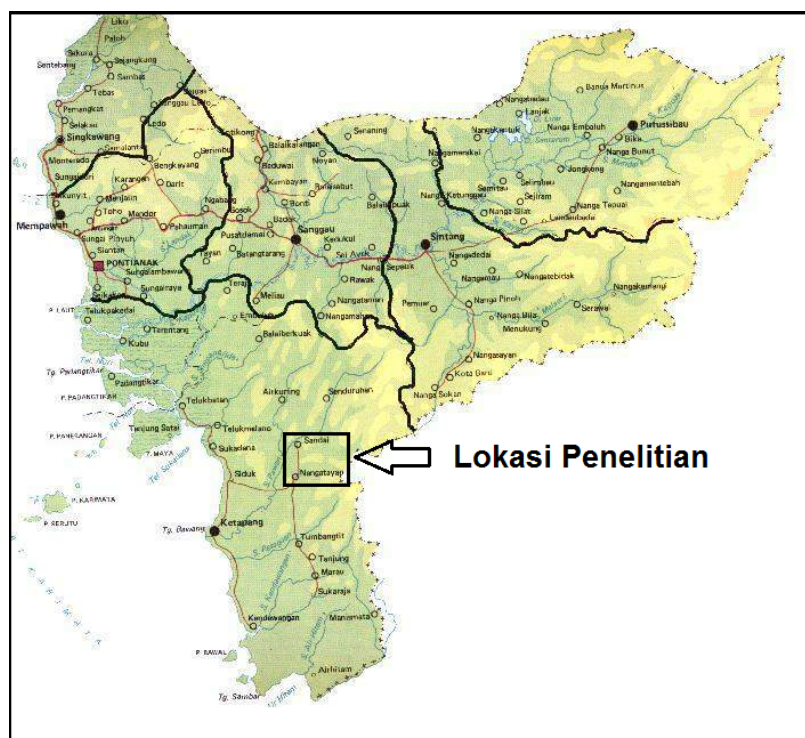
PENDAHULUAN

Uranium dan thorium merupakan bahan yang bernilai strategis karena uranium merupakan bahan baku untuk pembuatan bahan bakar nuklir sedangkan thorium merupakan bahan baku untuk pembuatan bahan bakar nuklir masa depan [1,2]. Di kabupaten Ketapang, Kalimantan Barat thorium terdapat dalam mineral radioaktif yaitu monasit dan zirkon. Hasil penelitian terdahulu telah mengidentifikasi bahwa daerah potensial thorium di kabupaten Ketapang menempati wilayah cekungan plaser sungai[3,4,5]. Daerah potensial thorium dicirikan oleh keterdapatan mineral monasit, *xenotim* dan zirkon pada endapan sungai. Batuan sumbernya adalah granit berumur Yura-Kapur yang mempunyai nilai radioaktivitas

500 – 9200 c/s SPP 2NF dan teridentifikasi mengandung mineral radioaktif thorit, monasit, zirkon dan alanit [3,4].

Hasil survei thorium secara regional di Kabupaten Ketapang, Propinsi Kalimantan Barat yang dilakukan menggunakan alat baru yaitu detektor sinar gamma RS 125 mendapatkan zona anomali thorium pada batuan laterit bauksit pada wilayah gunungapi Kerabai, granit Sukadana dan basal Bunga di daerah Nanga Tayap dan Sandai. Kadar thorium pada batuan gunungapi Kerabai mencapai 79,8 ppm eTh, granit Sukadana mencapai 72,6 ppm eTh dan basalt Bunga mencapai mencapai 85,9 ppm eTh [5]. Zona anomali di daerah Nanga Tayap dan Sandai merupakan wilayah pertambangan laterit bauksit yang menghasilkan logam aluminium. Cebakan mineral jenis laterit secara umum cara penambangannya relatif mudah dan biaya untuk menambang cukup murah bila dibandingkan dengan cebakan mineral primer. Untuk mengetahui keterdapatan thorium pada cebakan laterit bauksit di zona thorium daerah Nanga Tayap dan Sandai maka diperlukan penelitian mengenai keterdapatan thorium yang berasosiasi dengan endapan laterit bauksit karena penyebaran laterit bauksit di Indonesia cukup melimpah. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi keterdapatan thorium pada endapan laterit bauksit di daerah Nanga Tayap – Sandai, Kabupaten Ketapang, Propinsi Kalimantan Barat sebagai langkah awal untuk mengetahui potensi keterdapatan thorium pada endapan laterit bauksit di Indonesia.

Lokasi penelitian secara administrasi termasuk ke dalam wilayah kecamatan Nanga Tayap dan Sandai, Kabupaten Ketapang, Propinsi Kalimantan Barat (Gambar 1)



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

DASAR TEORI PEMBENTUKAN ENDAPAN LATERIT BAUKSIT

Bijih bauksit merupakan sumber utama untuk aluminium yang terdiri atas aluminium hidroksida dan aluminium oksida. Bauksit adalah salah satu tipe laterit (batuan sedimen residu), sehingga tidak memiliki rumus kimia yang tepat. Mineral utama terdiri dari gibsit (Al_2O_3), buhmit $\{\beta\text{-AlO(OH)}\}$, diaspora $\{\alpha\text{-AlO(OH)}\}$. Mineral lainnya adalah kaolin, gutit, hematit, rutil, kuarsa, kalsit dan dolomit. Bauksit dapat terbentuk dari beberapa batuan yaitu batuan beku asam, batuan beku basa, batugamping, batulempung dan lain-lain. Kelompok

batuan beku asam adalah salah satu kelompok batuan yang cocok untuk membentuk mineral aluminium hidrat.

Penampang laterit bauksit secara umum terbagi dalam empat zona dari bawah keatas berturut-turut sebagai berikut [6]:

a. Zona Batuan Dasar atau *Bedrock*

Batuan dasar pada umumnya didominasi oleh batuan yang mengandung aluminium seperti nefelin, syenit, andesit, dolerite, gabro, basalt, phonolite, batutanduk, sekis, batusabak, serpih dan batugamping. Kondisi batuan masih segar dan belum mengalami pelapukan serta tekstur asli batuan masih terlihat jelas.

b. Zona Pelindian (*Intermediate Horizon*)

Zona ini merupakan transisi dari batuan induk ke zona nodular di atasnya. Pada zona ini akan terjadi perubahan geokimia unsur dimana kadar SiO₂ akan naik dan kandungan Al₂O₃ dan Fe₂O₃ akan turun. Mineral yang terdapat pada zona ini adalah mineral lempung yang mengandung unsur silika, sedikit aluminium dan besi dengan ukuran butir halus.

c. Zona Nodular

Pada zona ini hampir semua unsur yang mudah larut hilang terlindi. Kadar Al₂O₃ dan Fe₂O₃ akan naik sedang kadar SiO₂ akan turun. Zona *nodular* didominasi oleh mineral gipsit, selain itu juga terdapat hematit. Zona ini merupakan zona endapan bauksit laterit.

d. Zona Tanah Penutup

Zona ini didominasi oleh humus yang bersifat gembur

Bauksit di Indonesia pada umumnya terbentuk dari proses sekunder berupa pelapukan (lateritisasi) pada batuan beku yang kaya akan mineral yang mengandung aluminium (*feldspar*) seperti granit, granodiorit, diorit, gabro, dan andesit.

Keterdapatan thorium pada bauksit

Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan oleh peneliti terdahulu menyatakan bahwa thorium dapat terbentuk pada laterit bauksit. Di dalam endapan bauksit unsur radioaktif thorium terbentuk dari hasil pelapukan batuan kaya alkali feldspar yang telah mengalami proses metasomatisme. Dari hasil penelitian terdahulu ini juga dapat diketahui bahwasannya unsur thorium terbawa oleh mineral-mineral sekunder hasil laterisasi seperti hematit dan buhmit (Tabel. 1 dan 2) [7]. Hasil penelitian yang lain menyebutkan bahwa thorium yang ada dalam bauksit berasal dari logam tanah jarang ringan, basnasit, zirkon atau anatas tetapi dalam ukuran sangat kecil dan hanya dapat didekdeksi dengan mikroskop elektron dan synchrotron spektroskopi [8].

Tabel 1. Korelasi Unsur dan Mineral dalam Bauksit.

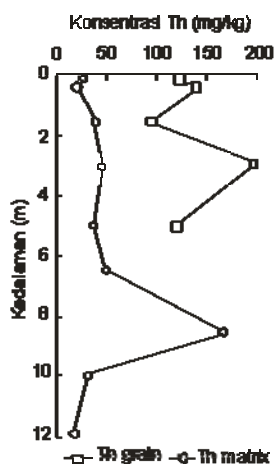
Mineral	Sr	Y	U	Th	Pb	Zr	Ni	Co	Nb
Kaolinite	-	-	-	-	-	-	+		-
Gibbsite		+				+			++
Boehmite			+	++	+	+	+ -	-	++
Hematite	-	+	+	++	+	++		+	
Goethite	+		+						

+ korelasi positif - korelasi negatif

Tabel 2: Tabel batuan induk laterit bauksit dan mineral yang berasosiasi dengan unsur radioaktif

Kandungan unsur jejak endapan bauksit pada batuan induk yang berbeda				
Area	North Onega		Middle Timan	
Cebakan	Talitsk	Iksinsk	Schugorsk	
Batuan induk	peridotit serpentin	diabas metamorforse	Alkali feldspar metasomatik	
Komposisi Mineral	gibbsite, goethite	gibbsite, goethite, kaolinit	Red Boehmite, kaolinit, hematit	White boehmite
Jumlah conto	6	3	9	11
Sr, ppm	40	130	800	620
Y	25	10	150	190
U	4	3	8	13
Th	15	10	55	170
Pb	20	20	130	360
Zr	270	210	740	1230
Nb	< 50	< 50	400	790
Rb	7	8	12	< 5
Ni	1730	205	65	46
Co	200	115	17	5

Korelasi antara kadar unsur Thorium dengan zona laterisasi terlihat dari tabel diatas dimana kadar unsur Thorium mengalami pengayaan optimal pada zona saprolit dan kadarnya menurun pada batuan induk (Gambar 2). Thorium pada endapan laterit bauksit juga dapat berasal dari pelarutan mineral thorit (Th, U) SiO₄ yang terdapat dalam batuan granitoid seperti yang terdapat pada batuan granitoid di Australia Barat [9].



Gambar 2. Korelasi kadar Th terhadap zona laterisasi pada endapan laterit dengan batuan induk granitoid [9]

METODOLOGI

Peralatan Kerja

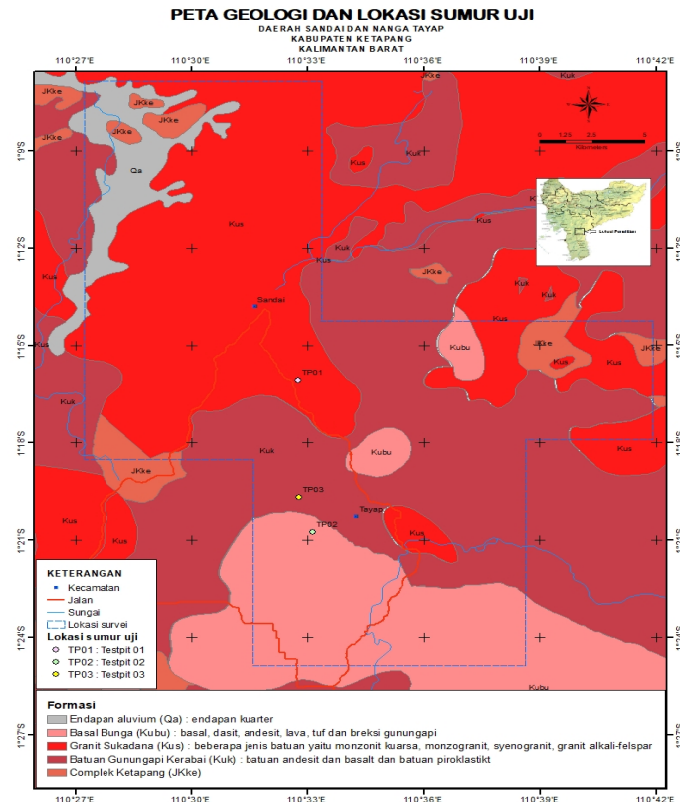
Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat analisis unsur (XRF), GPS, palu geologi, kompas geologi, kaca pembesar, cangkul, sekop, linggis dan ember.

Tata Kerja

Tata kerja yang digunakan dalam penelitian meliputi:

a. Pembuatan Sumur Uji

Sumur uji yang dibuat sebanyak 3 buah yaitu masing-masing satu buah pada wilayah batuan granit Sukadana, batuan basal Bunga dan batuan gunungapi Kerabai (Gambar 3). Panjang sumur uji 2 meter, lebar 0,5 meter dan kedalaman 8 meter sampai dengan 10 meter (Gambar 4). Peta yang digunakan sebagai peta dasar adalah peta geologi lembar Ketapang, Kalimantan Barat skala 1 : 250.000 [10].



Gambar 3. Peta Geologi Nanga Tayap – Sandai [9] dan Lokasi Pembuatan Sumur Uji

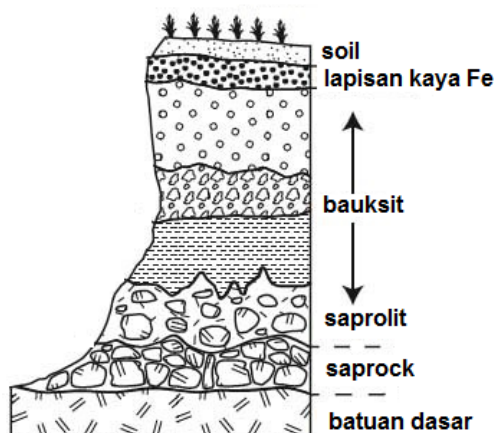


Gambar 4. Sumur Uji

b. Pemerian dan Pengambilan Sampel Batuan untuk Analisis Unsur

Pemerian batuan dilakukan sepanjang kedalaman sumur uji. Pemerian batuan dibagi sesuai zona pelapukan batuan yaitu zona *soil*, zona *limonit*, zona *saprolite*, zona *saprock* dan batuan dasar. Pengambilan sampel batuan untuk analisis unsur dilakukan secara *channel sampling* sesuai zona pelapukan atau zona laterisasi. Pengambilan sampel batuan/soil pada lubang sumur uji dilakukan dengan mempertimbangkan zona laterisasi dan ketebalan zona laterisasi. Zona laterisasi yang dijadikan acuan pada pengambilan sampel adalah zona *soil*, zona *limonit*, zona *saprolith*, zona *saprock* dan zona batuan induk. Sampel batuan/soil yang diambil pada zona *soil* diberi kode A, zona *limonit* diberi kode B, zona *saprolith* diberi kode C, zona *saprock* diberi kode D, pada *bedrock* atau batuan induk diberi kode E (Gambar 5). Masing-masing berat sampel *bulk* adalah 10 kg yang kemudian dilakukan proses *quartering* hingga didapatkan berat sampel 1 kg. Sampel ini selanjutnya dibuat pelet dan dianalisis unsur thorium dan aluminium menggunakan alat

XRF. Selain pengambilan sampel soil/batuan pada sumur uji juga dilakukan pemerian secara megaskopis yang kemudian dikorelasikan dengan analisis laboratorium untuk penentuan kadar unsur. Kadar unsur yang disajikan dalam penelitian ini adalah kadar unsur thorium dan aluminium.

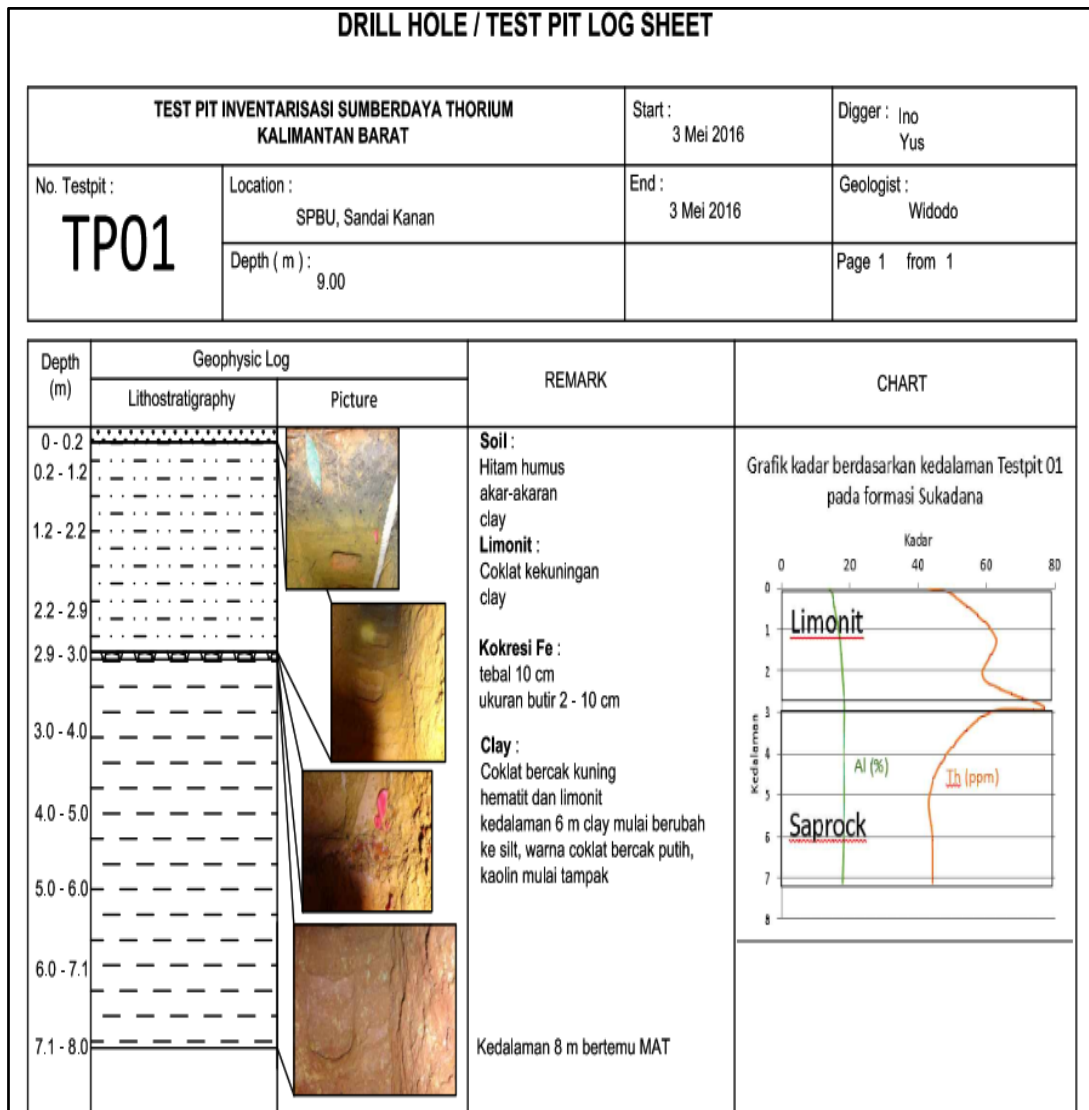


Gambar 5. Zona Pengambilan Sampel Batuan/Soil

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sumur Uji pada wilayah batuan Granit Sukadana

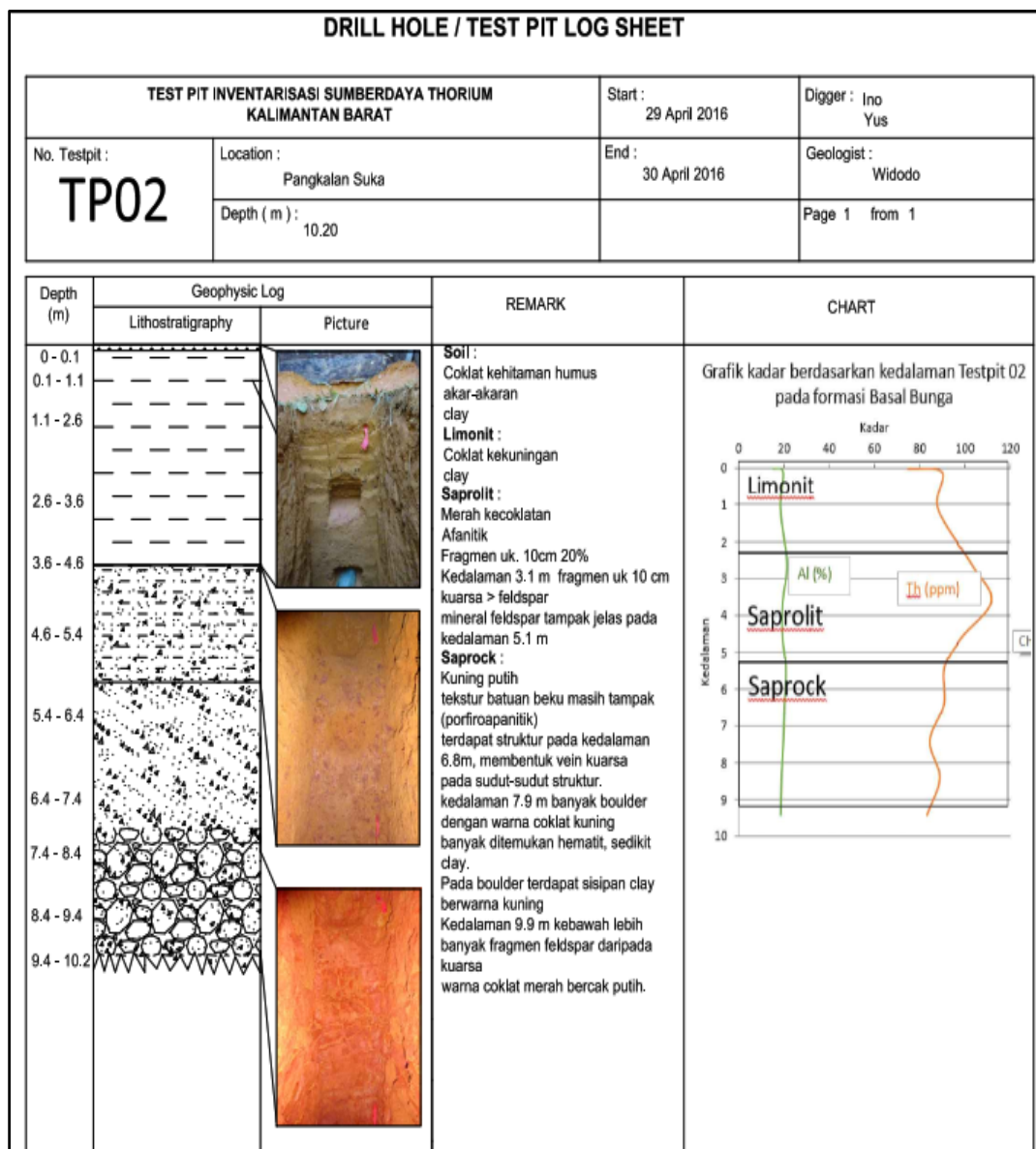
Sumur uji yang dibuat pada wilayah batuan granit Sukadana adalah sumur uji nomor 01. Granit Sukadana terdiri dari beberapa jenis batuan yaitu monzonit kuarsa, monzogranit, syenogranit, granit alkali-felspar, sedikit sienit kuarsa, monzonit kuarsa dan syenogranit, serta langka diorit dan gabro. Beberapa batuan ini berbentuk retas dan urat apilit yang membuat terjadinya ubahan kaolinisasi, terutama pada batuan syenit kuarsa dan granit alkali-felspar. Terdapat mineral mafik berbentuk gumpalan dengan bermacam-macam kandungan mineral yang membuat dugaan batuan ini berasal dari percampuran susunan magma [10]. Kadar thorium dari hasil pengukuran secara regional berkisar antara 8,1 hingga 72,6ppm eTh [5]. Batuan yang tersingkap di sekitar sumur uji nomor 01 adalah granit. Kondisi singkapan sangat lapuk berwarna coklat kemerahan hingga coklat kekuningan, tekstur holokristalin, fanerik kasar. Komposisi mineral terdiri dari kuarsa, ortoklas, plagioklas, biotit, hornblenda. Secara regional batuan di lokasi sumur uji nomor 05 termasuk kelompok granit Sukadana yang berumur Kapur Akhir [10]. Mineral penyerta hasil analisis petrografi granit Sukadana terdiri atas apatit, zirkon, monasit, rutil, epidot dan mineral opak berupa magnetit, ilmenit, dan pirit [11]. Mineral radioaktif yang terkandung pada granit Sukadana selain monasit dan zirkon hasil dari analisis autoradiografi adalah thorit (Th) SiO_4 [3]. Kadar Th pada kedalaman 0 sampai dengan 7 meter berkisar antara 40 – 80 ppm (rata-rata 53,2 ppm), kadar Al berkisar antara 15 hingga 20 %. Antara unsur Th dan unsur Al tidak berkorelasi, kadar unsur Al relatif tetap pada setiap zona sedangkan unsur Th mengalami pengayaan pada zona antara *limonit* dan *saprock* (Gambar 6). Jika dibandingkan dengan kadar thorium di permukaan hasil pengukuran secara regional yaitu berkisar antara 8,1 hingga 72,6ppm eTh [5], maka kadar thorium pada sumur uji nomor 05 relatif lebih tinggi. Keterdapatan thorium pada endapan laterit bauksit pada sumur uji nomor 05 diperkirakan merupakan hasil pelarutan dari mineral K. Felspar yang terkandung dalam granit [7], atau hasil pelarutan dari thorit yang terdapat sebagai mineral penyerta dalam granit Sukadana [9].



Gambar 6. Pemerian Batuan pada Sumur Uji Nomor 01

Sumur Uji pada batuan basalt Bunga

Sumur uji yang dibuat pada wilayah batuan basalt Bunga adalah sumur uji nomor 02. Basalt Bunga terdiri dari batuan basalt, dasit, andesit, lava, tuf dan breksi gunungapi. Kelompok batuan ini diperkirakan berumur Kapur Akhir – Paleosen [10]. Kadar thorium dari hasil pengukuran secara regional berkisar dari 9,9 ppm hingga 85,9 ppm eTh [5]. Batuan yang tersingkap di sumur uji nomor 02 adalah basalt dalam kondisi sangat lapuk. Warna abu-abu kecoklatan hingga coklat kemerahan, tekstur afanitik, komposisi mineral terdiri atas plagioklas, hornblende dan olivin. Kadar thorium pada sumur uji nomor 02 pada kedalaman 0 meter hingga 10 meter adalah berkisar dari 75 ppm hingga 115 ppm dengan kadar rata-rata 91,1 ppm sedangkan kadar aluminium berkisar dari 18 % sampai dengan 20 %. Tidak ada korelasi antara unsur thorium dan unsur aluminium. Kadar unsur Al relatif tetap pada setiap zona sedangkan pengayaan unsur thorium terjadi pada zona *saprolith* yaitu di permukaan mempunyai kadar 75 ppm kemudian pada zona *limonit* meningkat menjadi 90 ppm dan puncaknya pada zona *saprolith* meningkat menjadi 115 ppm selanjutnya menurun menjadi 80 ppm pada zona *saprock* (Gambar 7). Jika dibandingkan dengan kadar thorium di permukaan hasil pengukuran secara regional yaitu berkisar antara 9,9 ppm hingga 85,9 ppm eTh [5], maka kadar thorium pada sumur uji nomor 02 relatif lebih tinggi.

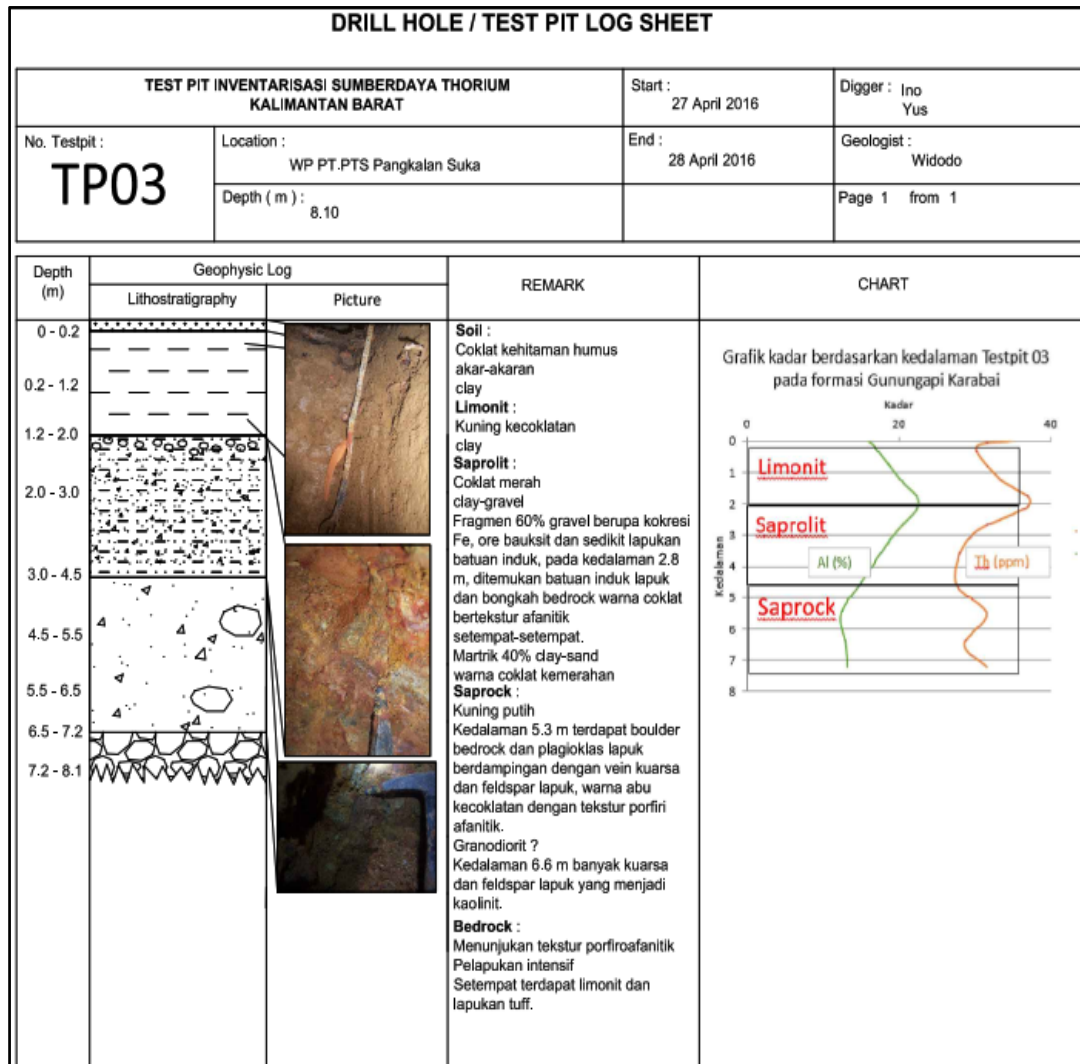


Gambar 7. Pemerian Batuan Sumur Uji Nomor 02

Sumur Uji pada batuan Gunungapi Kerabai

Sumur uji yang dibuat pada wilayah batuan gunungapi Kerabai adalah satu buah yaitu sumur uji nomor 03. Batuan Gunungapi Kerabai merupakan kelompok batuan yang umumnya berupa batuan andesit dan basalt, selain itu setempat-setempat terdapat dolerit, trahitandesit, dasit, riodasit dan riolit. Kebanyakan terdiri dari batuan piroklastik berupa abu, lapili, kristal, tufa kristal dan litik, breksi gunungapi dan aglomerat, terdapat terobosan pandangan dan lava porfiritik, terpotong oleh urat-urat khlorit-epidot serta terdapat ubahan hidrotermal. Batuan ini diperkirakan berumur Kapur Ahir – Paleosen [10]. Kadar thorium berdasarkan hasil survei regional adalah berkisar antara 6,3 ppm hingga 79,8 ppm eTh [5]. Batuan yang tersingkap pada sumur uji nomor 03 adalah dolerit. Kenampakan megaskopis batuan pada umumnya lapuk berwarna coklat abu-abu, segar berwarna abu-bau kecoklatan hingga abu-abu kehijauan, tekstur porfiritik. Mineral penyusun batuan terdiri dari palgioklas, piroksin dan olivin. Kadar unsur thorium pada kedalaman 0 meter hingga 8 meter adalah berkisar antara 28 ppm hingga 35 ppm dengan kadar rata-rata sebesar 31,6 ppm sedangkan kadar unsur aluminium berkisar dari 15 ppm sampai dengan 22 ppm. Antara unsur thorium dan aluminium terdapat korelasi yang cukup baik. Kadar unsur Al dan Th mulai menunjukkan penambahan pada zona *limonit* dan juga mengalami pengurangan kadar muati pada zona *saprock*. Seperti halnya pada pengayaan unsur Al, pengayaan unsur thorium

mulai pada zona *limonit* (Gambar 8). Jika dibandingkan dengan kadar thorium di permukaan hasil pengukuran secara regional yaitu berkisar antara 6,3 ppm hingga 79,8 ppm eTh [5], maka kadar thorium pada sumur uji nomor 03 relatif lebih rendah.



Gambar 8. Pemerian Batuan pada Sumur Uji Nomor 03

KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan pada bab sebelumnya maka dapat disimpulkan bahwa kadar thorium tertinggi terdapat pada sumur uji di wilayah batuan basalt Bunga yaitu mencapai 115 ppm sedangkan yang terendah terdapat pada wilayah batuan gunungapi Kerabai yaitu 28 ppm. Di wilayah batuan granit Sukadana dan batuan basalt Bunga unsur thorium dan aluminium tidak berkorelasi tetapi di wilayah batuan gunungapi Kerabai berkorelasi cukup baik. Di wilayah granit Sukadana pengayaan thorium terjadi pada zona antara *limonit* dan *saprock*, sedangkan di wilayah batuan basalt Bunga terjadi pada zona *saprolith* dan di wilayah batuan gunungapi Kerabai terjadi pada zona *limonit*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir (PTBGN) – BATAN atas pendanaan pada kegiatan penelitian ini serta kepada Bapak Bambang Sutopo, Slamet Sudarto dan Sartapa yang telah membantu pengambilan data lapangan serta teman-teman laboratorium geokimia yang telah membantu analisis di laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- BRADLEY S. VAN GOSEN AND HARIKRISHNAN TULSIDAS, "Thorium is a Nuclear Fuel" National nuclear Laboratory UK, 2012

2. NATIONAL NUCLEAR LABORATORY LTD. "Comparison of thorium and uranium fuel cycles" United Kingdom, 2012
3. LILIK SUBIANTORO, BAMBANG SOETOPO, DWI HARYANTO "Kajian Awal Prospek Bahan Galian Monasit Mengandung U Dan Elemen Asosiasinya Di Semelangan Ketapang, Kalimantan Barat" *Eksplorium* Volume XXXII No. 155, Mei 2011 : 1 – 16
4. BAMBANG SOETOPO, HERY SYAEFUL, ANANG MARZUKI, SLAMET SUDARTO "Tinjauan Umum Potensi Sumberdaya Monasit Di Daerah Ketapang Kalimantan Barat" *Eksplorium* Volume 32 No. 2, November 2011: 103 – 114
5. SUHARJI, M.NURDIN, SARTAPA, HERRY P., : Inventarisasi Potensi Sumberdaya Monasit di Daerah Aliran Sungai Pesaguan, Sungai Pawan dan Sungai Kendawangan di Ketapang, Kalimantan Barat", Laporan Akhir PTBGN-BATAN, Jakarta (2013).
6. SEANKO NERI ANGGI, "Deteksi Keberadaan Endapan Laterit Bauksit dengan Pemanfaatan Gelombang Radar", Skripsi, Fak. MIPA UI, 2009
7. LEONID E. M., " Geochemistry Of Trace Elements In Paleozoic Bauxite Profile In Northern Rusia ", *Jurnal of Geochemical Exploration* 57 (1996) 187-199, St. Petersburg (1996)
8. GAMALETSOS PLATON, GODELITSAS ATHANASIO, KASAMA TAKESHI, KUZMIN ALEXEI, STEININGER RALPH, PONTIKES YIANNIS, GOTTLICHER JORG, " The Nature of Thorium in Bauxite and Bauxite Residue from Greece" DTU's Sustain Conference 2015
9. XIN DU, ANDREW W.R., M.A. MARY GEE, " Redistribution And Mobilization Of Titanium, Zirconium And Thorium In An Intensely Weathered Laterite Profile In Western Australia", *Chemical Geology* 330-331(2015) 101-115, www.elsevier.com/locate/chemgeo, 2012. Diakses tanggal 14 April 2016.
10. E. RUSTANDI, dkk, "Peta Geologi Lembar Ketapang, Kalimantan, skala 1 : 250.000", Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung (1993)
11. ZAINUDIN H, SOEPRAPTO; " Studi Granit Tukul Sebagai Sumber Uranium, Semelangan Kalimantan Barat, Laporan Akhir PPBGN-BATAN, Jakarta, 1991 (tidak dipublikasikan)

PEMBUATAN MIKROHIDRO UNTUK MENUNJANG KEGIATAN PENELITIAN DI KAWASAN INSTALASI NUKLIR KALAN, KALBAR

Slamet, Singgih Andy Nugroho, Ahmad Dayani, Eddy Soesanto

Pusat Tenologi Bahan Galian Nuklir – BATAN

Jln. Lebak Bulus Raya No. 9, Pasar Jumat, Jakarta Selatan - 12440

email: mamelf2@batan.go.id

ABSTRAK

PEMBUATAN MIKROHIDRO UNTUK MENUNJANG KEGIATAN PENELITIAN DI KAWASAN INSTALASI NUKLIR, KALAN, KALBAR. Pembuatan Mikrohidro telah dilakukan di Kawasan Instalasi Nuklir, Kalan, Kalbar. Tujuan kegiatan ini adalah untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di kawasan Instalasi Kalan dengan memanfaatkan sumberdaya air yang tersedia. Kebutuhan sumber daya listrik di kawasan ini dulu menggunakan generator listrik yang tidak bisa dioperasikan 24 jam. Mengingat adanya aliran air sungai yang terus menerus mengalir baik musim kemarau apalagi musim penghujan, maka dibuatlah mikrohidro sebagai salah satu pilihan dalam pemenuhan kebutuhan daya listrik. Tahapan prosesnya meliputi: kajian teknis, pemilihan sistem mikrohidro, pembangunan fisik, pembuatan rumah mikrohidro, instalasi turbin dan peralatan pendukungnya, ujicoba mikrohidro, dan instalasi jaringan listrik. Hasil yang didapat yaitu dihasilkannya listrik dengan kapasitas daya 5 KW yang mampu untuk memenuhi kebutuhan penerangan 24 jam tanpa henti di Kawasan Instalasi Bahan Galian Nuklir, Kalan, Kalbar.

Kata kunci: Generator, kajian teknis, turbin, mikrohidro

ABSTRACT

MAKING MICROHYDRO TO SUPPORTING RESEARCH ACTIVITIES IN KALAN NUCLEAR INSTALLATION AREA, WEST KALIMANTAN. *The objective of activity is to need electrical energy in Kalan installation by utilizing water resources. Micro-hydro has been made in the nuclear Installation Area, Kalan, West Kalimantan. Electricity needs resources in this area used to electricity generators that are not operated 24 hours. River water flow both the dry season and let alone the rainy season, which makes it possible to create electrical power. Stages of the process include: technical review, microhydro system selection, physical construction, microhydro house building, turbine installation and supporting equipment, microhydro testing, and electrical network installation. The result is electricity generated with a capacity of 5 KW power capable to meet the needs of 24 hours non-stop lighting in the Nuclear Installation Area, Kalan, West Kalimantan.*

Keywords: *Generators, technical review, turbine, microhydro.*

PENDAHULUAN

Kawasan Instalasi Bahan Galian Nuklir, Kalan, Kalbar terletak di suatu lembah yang berada di tengah hutan. Perjalanan dari Nanga Pinoh ke kawasan instalasi Kalan dapat ditempuh dalam waktu 4 jam dengan kondisi jalan yang ekstrim. Perkampungan terdekat berjarak 15 km dan apabila perjalanan ditempuh dengan kendaraan sekitar 2 jam. Sebagai gambaran umum lokasi kegiatan pembuatan mikrohidro dapat dilihat pada foto yang diambil dari satelit google.map pada Gambar 1.

Kebutuhan daya listrik di Kawasan Instalasi Bahan Galian Nuklir, Kalan, Kalbar dipasok oleh generator listrik. Pengoperasian generator listrik dari jam 18.00 s/d 22.00 setiap harinya., Kebutuhan sumberdaya listrik di Kawasan Instalasi Bahan Galian Nuklir, Kalan, Kalbar dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 1. Foto lokasi instalasi Kalan diambil dari satelit google.map

Tabel 1. Kebutuhan sumber daya listrik di Kawasan Instalasi Bahan Galian Nuklir, Kalan, Kalimantan Barat

LOKASI	KEBUTUHAN DAYA (Watt)	DAYA (Watt)	TOTAL DAYA (Watt)
Guest house	6 X 40	240	
	Peralatan elektronik	400	
Kantor	5 X 40	200	
	Peralatan elektronik	400	
Pondok personil			
	I	5 X 40	200
	II	6 X 40	240
	III	6 X 40	240
	IV	3 X 40	120
	Peralatan elektronik	4 X 300	1,200
Kantin	9 X 40	360	
	Peralatan elektronik	400	
Mushola	2 X 40	80	
Pondok Karyawan	9 X 40	360	
	Peralatan elektronik	400	4,840
Bengkel	8 X 40	320	
	lampu sorot	500	
	Mesin Las	3,000	
	peralatan listrik	1,000	
	Pemanas (KKL)	2 X 3000	6,000
Total Kebutuhan Daya (Watt)			10,820
Kebutuhan Listrik Idealnya			= 16 KW s/d 20 kW

Tabel 1 diatas menunjukkan bahwa kebutuhan listrik di kawasan instalasi Kalan adalah 4,8 kW atau kalau dibulatkan 5 kW. Kebutuhan listrik diatas belum termasuk kebutuhan listrik untuk bengkel.

Kawasan Instalasi Bahan Galian Nuklir, Kalan Kalbar mempunyai sumber daya alam yaitu air sungai yang mengalirkan sepanjang tahun baik musim penghujan maupun musim kemarau. Sumber air sungai tersebut berasal dari 3 sungai, yaitu : Sungai Sarana, Sungai Kalan dan Sungai Gomor.



Gambar 2. Sungai Sarana, Sungai Kalan, Sungai Gomor

Sumber aliran air sungai tersebut sangat potensial untuk menggerakkan turbin mikrohidro untuk memenuhi kebutuhan daya listrik 24 jam. Oleh karena itu dibuatlah mikrohidro skala 5 KW di Kawasan Instalasi Bahan Galian Nuklir, Kalan, Kalbar.

TEORI

Untuk mendapatkan daya yang diinginkan, maka kita harus mengetahui terlebih dahulu data potensial yang dihasilkan. Rumusan potensial daya yang dihasilkan mikrohidro⁽¹⁾ sebagai berikut :

$$P = h_{net} \cdot q \cdot g \cdot \eta \quad (1)$$

P = potensial daya (watt)

h_{net} = beda tinggi bersih (m)

q = debit potensial (l/det)

g = gravitasi (9,8 m/det²)

η = efisiensi, tergantung jenis turbin, untuk propeller open flume 75%

Berdasarkan rumusan daya potensial yang dihasilkan mikrohidro tersebut, maka data utama yang harus di dapatkan dalam pengambilan data dilapangan, yaitu : h_{net} = beda tinggi bersih (m) dan Q = debit potensial (l/det). Data h_{net} = beda tinggi bersih (m), pada tipe turbin propeller diukur dari permukaan air di bak penampung ditempatkannya turbin dengan permukaan air pada saluran pembuangan. Sedangkan Q = debit potensial (l/det), merupakan debit air yang mengalir pada saluran turbin untuk menggerakkan turbin. Untuk Q debit potensial didapatkan dari rumusan sebagai berikut :

$$q = V \cdot A \quad (2)$$

$$q = (s/t) \cdot (l \cdot h) \quad (3)$$

V = Kecepatan arus (m/det)

s = jarak (m)

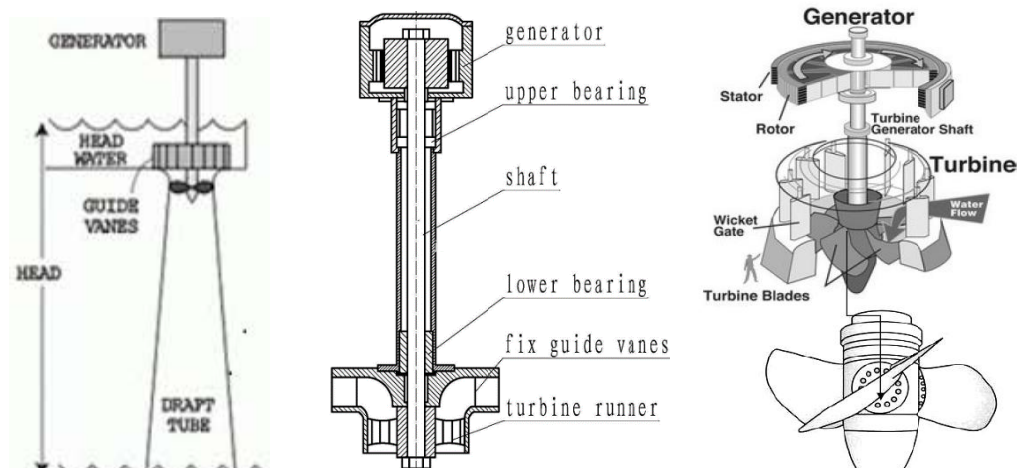
t = waktu (det)

A = luas penampang (m²)

l = lebar permukaan air (m)

h = kedalaman saluran air (m)

Mikrohidro yang dibuat menggunakan turbin propeller open flume⁽²⁾ yang menggunakan kincir jenis Kaplan⁽³⁾. Prinsip kerja dari turbin propeller open flume dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini.

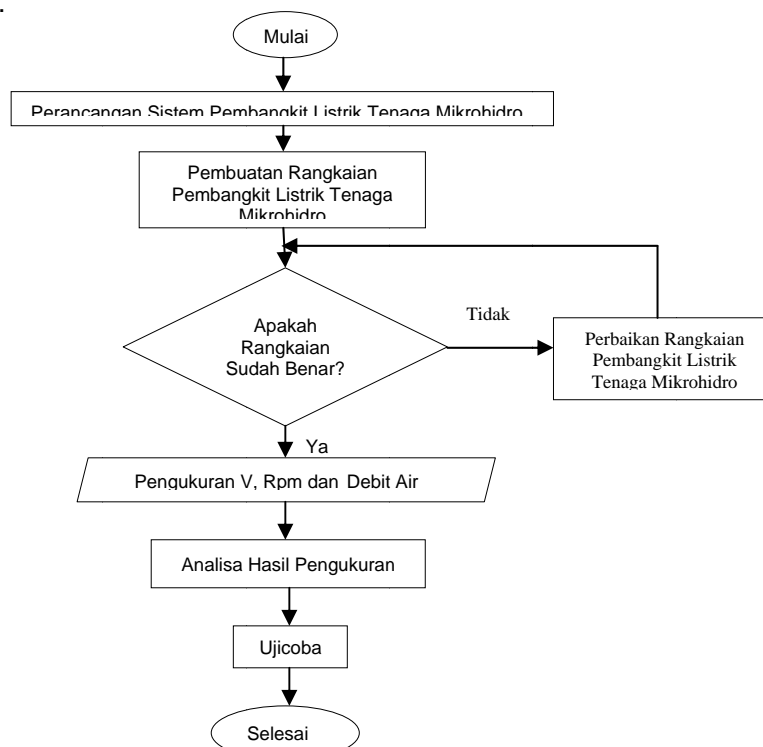


Gambar 3. Turbin propeller open flume (Notosudjono : 2002)

Terlihat pada gambar 3 diatas ^(4,5,6), aliran air masuk kekisi-kisi pengarah, aliran air tersebut memiliki kecepatan, debit air dan gaya grafitasi sehingga kincir turbin terdorong dan tertarik oleh daya hisap pipa pembuangan. Perputaran pada kipas turbin menggerakkan as shaft yang kemudian menggerakkan generator. Setelah dicapai putaran motor 1500rpm maka generator mampu menghasilkan daya listrik yang diharapkan.

METODOLOGI

Secara keseluruhan pembuatan mikrohidro diawali dari kajian teknis, pengambilan data di lapangan, pemilihan sistem mikrohidro, pembangunan fisik, instalasi turbin, instalasi jaringan listrik dan ujicoba mikrohidro. Kegiatan pembuatan mikrohidro kapasitas 5 KW ini memakan waktu sekitar 60 hari mulai dari kajian teknis sampai ujicoba. Alur kegiatan ditunjukkan gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Kegiatan

BAHAN

Bahan bangunan. pipa saluran pembuangan, besi plat, besi cor, wiremess, bearing, minyak pelumas, kabel jaringan listrik, MCB.

ALAT

Turbin mikrohidro, generator/dinamo, *ballast load*, panel listrik, peralatan listrik, multimeter, toolkit, alat bor, gerinda, alat las, molen, alat berat bulldozer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan mikrohidro skala 5 KW di Kawasan Instalasi Bahan Galian Nuklir, Kalan, Kalimantan Barat telah berhasil diselesaikan. Pemilihan tipe turbin sangat menentukan hasil dari pembuatan mikrohidro. Berdasarkan kebutuhan dan disesuaikan dengan potensial daya yang dimungkinkan akan dihasilkan maka dipilihlah tipe turbin propeler open flume dengan daya listrik 5 KW. Kegiatan pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro ini selesai dengan waktu sekitar 60 hari dengan langkah – langkah sebagai berikut :

1. Kajian Teknis

Untuk mengetahui lebih jauh tentang mikrohidro, sebagai langkah awal dilakukan kajian teknis terlebih dahulu. Kajian teknis dilakukan melalui internet, literature, buku pustaka serta konsultasi dengan beberapa narasumber. Kemudian dilanjutkan dengan peninjauan ke lokasi mikrohidro di Mega Mendung, Puncak Bogor dan di Cihanjuang, Bandung, Jawa Barat. Agar data kajian teknis lebih detil lagi, maka dilakukan juga peninjauan lapangan di Kawasan Instalasi Bahan Galian nuklir, Kalan, Kalbar.



Gambar 5. Peninjauan mikrohidro di Megamendung, Puncak, Bogor

2. Pengambilan data di lapangan

Pengambilan data di lapangan dilakukan untuk mendapatkan data daya potensial yang bisa dihasilkan. Data utama yang harus di dapatkan yaitu : beda tinggi air(H) dan debit air (Q). Daya potensial yang bisa dihasilkan $P = H . Q . g . \eta$. Untuk beda tinggi air (H) dilakukan dengan memilih daerah yang prospek yang kemudian di sempurnakan lagi melalui modifikasi topografi dengan alat berat bulldozer. Sedangkan untuk data Q = debit air, dilakukan dengan pengukuran saluran air sungai. Hasil pengukurannya dapat dilihat di table 2 dibawah ini. Berdasarkan hasil penghitungan didapatkan $Q = 470 \text{ ltr/det}$. Sehingga apabila $H=6\text{m}$; $Q=470\text{ltr/det}$; $g=9.8\text{m/det}^2$; $\eta=75\%$. Maka daya potensialnya sebesar $P=H.Q.g.\eta$ jadi $P= 6 \times 470 \times 9.8 \times 75\% = 20,7\text{KW}$.



Gambar 6. Pengambilan data lapangan di Kalan, Kalbar

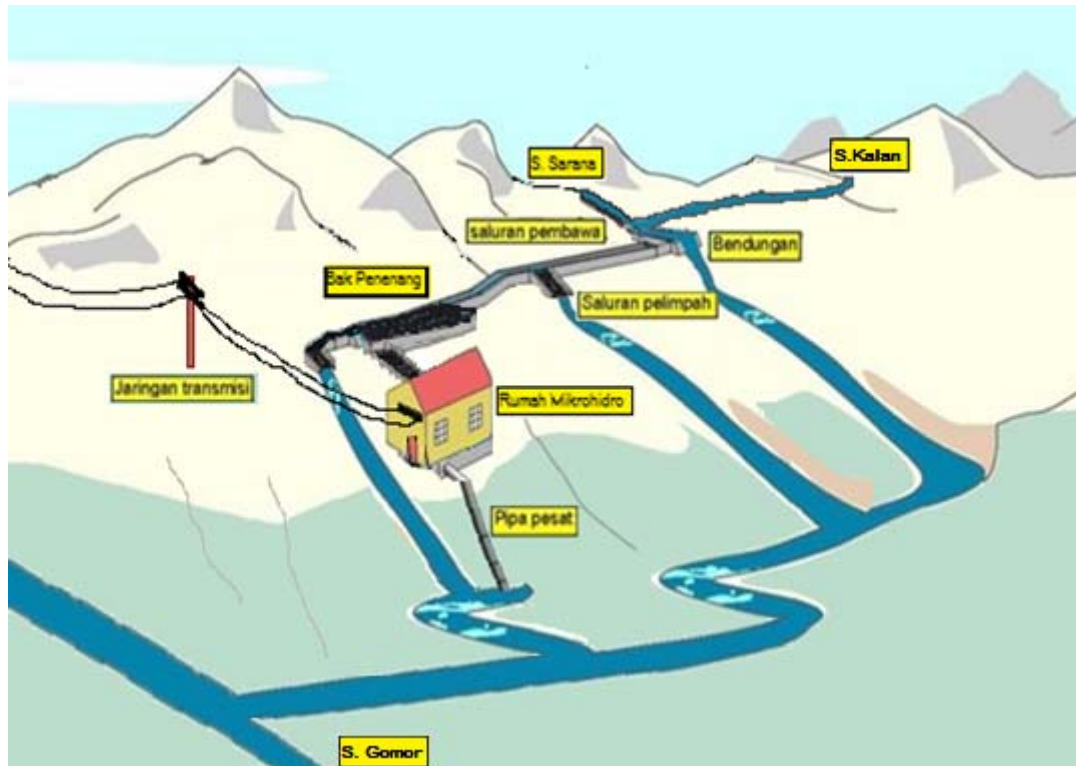
Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan daya potensialnya sebesar 20,7 KW. Sehingga untuk pembuatan mikrohidro skala 5 KW secara teoritis sangat dimungkinkan dibuat, karena nilainya hanya seperempat dari kapasitas maksimal daya potensialnya.

Tabel 2. Perhitungan debit air di pertemuan sungai sarana dan sungai Kalan.

No pengukuran	Waktu (t) pengukuran				
1	6.68	Jarak	s =	7	m
2	9.02	Waktu	t =	5.961333	det
3	6.39	Kecepatan	V =	s / t	
4	7.09		V =	1.174234	m/det
5	7.47				
6	6.98	Lebar	l =	2	m
7	6.66	Tinggi	h =	0.4	m
8	6.27	Luas	A =	l x h	
9	6.77				0.8
10	6.32				
11	6.09	debit air	Q =	V x A	
12	8.34		Q =	0.939387	m ³ /det
13	8.22		Q =	939.3872	l/det
14	5.97				
15	6.85				
Jml	89.42		Q factor koreksi (1/2)	469.6936	l/det
rata-2	5.961333		Q pembulatan	470	l/det

3. Pemilihan sistem mikrohidro

Sistem mikrohidro yang dipilih adalah jenis mikrohidro menggunakan turbin propeler open flume. Adapun sistem yang dibuat dilapangan secara garis besar dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 7. Sistem mikrohidro dengan turbin propeler open flume di Kawasan Instalasi Bahan Galian Nuklir, Kalan, Kalbar (Prayogo : 2003)

Sistem ini dipilih karena rumah mikrohidro terletak diatas aliran dasar sungai, sehingga bila banjir maka dipandang lebih aman. Kelebihan yang lain untuk kesesuaian beda tinggi dengan spesifikasi yang diminta masih dapat diupayakan dilapangan. Disamping itu bila dilihat dari debit air, sistem inilah yang sangat memungkinkan untuk dibuat. Karena itu dipilahlah type mikrohidro open flume.

4. Pembangunan fisik

Pembangunan fisik meliputi pembangunan: bendungan pengalih beserta saluran pelimpahnya, saluran pembawa, saluran pengalih, bak penenang, dan rumah mikrohidro.

Bendungan pengalih dibuat untuk menampung aliran air sungai sarana dan sungai Kalan untuk di salurkan menuju saluran pengarah (tracehold). Fungsi utama lainnya yaitu saat terjadi banjir, aliran air akan langsung terbuang ke aliran sungai utama melalui saluran pengalih. Bendungan ini dibuat dengan tanggul dari batuan-batuan besar sebagai penahannya. Proses pembuatannya menggunakan alat berat bulldozer.



Gambar 8. Pembuatan bendungan pengalih

Saluran pembawa (tracehold) mengarahkan aliran air sungai menuju bak penenang. Saluran pembawa berupa paritan dibuat dengan alat berat bulldozer. Pada bagian tertentu yang sifatnya rapuh di buatkan dinding pelindung berupa tanggul batuan.



Gambar 9. Pembuatan saluran pembawa

Bak penenang dibuat untuk menyiapkan cadangan air sebagai sumber penggerak bagi turbin. Air yang terdapat dalam bak penenang ini diupayakan harus dalam kondisi setenang mungkin. Apabila kondisi air tidak tenang atau bergejolak, maka akan mengakibatkan tegangan listrik yang dihasilkan akan bergejolak tidak stabil. Bentuk dari bak penenang hampir mirip dengan bendungan pengalih, yang membedakan yaitu pada bagian pengalihnya terdapat pintu air untuk mengatur debit air yang masuk ke saluran turbin mikrohidro. Disamping itu terdapat juga pintu air utama yang digunakan untuk pengurusan bak penenang saat dilakukan pemeliharaan.



Gambar 10. Pembuatan bak penenang

Rumah mikrohidro dengan turbin propeler open flume di bangun pada posisi diatas aliran dasar sungai, yaitu berada pada bagian head atas. Namun demikian penempatan rumah mikrohidro harus benar-benar mempertimbangkan aliran sumber air sungai. Sehingga saat terjadi luapan air karena banjir tidak menerjang rumah mikrohidro.



Gambar 11. Pembuatan rumah mikrohidro

Saluran turbin dirancang berbentuk menyerupai rumah siput. Pola ini menghasilkan aliran air menyerupai tornado. Daya alir yang sangat besar pada bentuk aliran ini sangat membantu dalam menggerakkan turbin mikrohidro.



Gambar 12. Pembuatan saluran turbin yang bentuknya seperti rumah siput

Bagian yang sangat penting berikutnya yaitu pada bagian pipa pesat saluran pembuangan. Daya hisapnya diupayakan semaksimal mungkin. Untuk itulah maka pada bagian ini tidak boleh ada kebocoran sedikitpun. Bila terjadi kebocoran akan mempengaruhi efisiensi daya listrik yang dihasilkan oleh mikrohidro.



Gambar 13. Instalasi pipa pesat saluran pembuangan turbin

5. Instalasi turbin, dan peralatan pendukungnya

Setelah pembangunan fisik mikrohidro sudah selesai dikerjakan, maka kegiatan dilanjutkan dengan instalasi turbin dan peralatan pendukungnya. Pada pekerjaan ini dibutuhkan ketelitian yang sangat tinggi. Instalasi peralatan pendukung turbin meliputi instalasi generator, instalasi panel listrik dan instalasi ballastload.

Generator digunakan motor Asinkron 3 phase 220/380V, 50Hz-1430 rpm. Jenis generator ini tanpa menggunakan arang aktif. Sehingga saat difungsikan untuk dioperasikan kontinyu 24jam tidak perlu sering mengganti arang aktif.



Gambar 14. Instalasi turbin dan peralatan pendukungnya

Pengaturan beban pemakaian daya listrik dilakukan melalui panel listrik yang didukung dengan bagian vital berikutnya yaitu bagian ballastload. Fungsi utama dari ballastload yaitu sebagai pengaman bagi generator saat beban pemakaian lebih rendah dari pada daya yang dihasilkan oleh generator. Apabila terjadi kondisi pemakaian beban lebih rendah dari output generator, maka oleh generator daya lebih ini akan diubah menjadi panas, sehingga hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada generator mikrohidro.

6. Instalasi jaringan listrik

Prinsip utama dari jaringan listrik ini yaitu pembebanan jaringan RST nya harus seimbang atau *balance* dan pembebanannya tidak boleh melebihi kapasitas mikrohidro 5 KW, sebagai amannya mungkin kapasitas sekitar 90 % atau 4,5 KW.

7. Ujicoba mikrohidro

Langkah awal ujicoba mikrohidro dilakukan dengan membuka pintu air saluran turbin. Aliran air tersebut diatur sedemikian rupa sehingga kecepatan putaran motor generatornya tercapai putaran 1500 Rpm. Apabila daya listrik sudah dapat dihasilkan maka tegangannya diupayakan stabil pada 220V dengan frekuensi 50 Hz.

Untuk memastikan kapasitas maksimal dari mikrohidro maka dilakukan uji coba menggunakan lampu sorot 500 Watt sejumlah 10 buah. Ketika lampu tersebut bisa menyala semua berarti kapasitas daya 5 KWatt sudah tercapai.

Uji coba dilanjutkan pada bagian balastload, awalnya semua lampu sorot sejumlah 10 buah dihidupkan semua. Kemudian secara bertahap lampu dimatikan satu demi satu. Pada saat itulah akan dapat diketahui apakah filamen ballastload aktif atau tidak. Apabila filamen ballastload dapat meyala, maka ini menunjukkan bahwa ballastload sudah berfungsi normal.

Tahap akhir yaitu menghubungkan mikrohidro dengan instalasi jaringan listrik sebagai bebannya. Dalam ujicoba didapatkan kepastian bawa mikrohidro dapat dioperasikan selama 24 jam setiap harinya.

Terkait efisiensi setelah dibuatnya mikrohidro, berikut adalah perbandingan antara penggunaan genset dan mikrohidro :

- Harga Genset :
- Generator Rp 10.000.000 + Penggerak Rp 30.000.000,- = Rp 40.000.000,-

- Operasional Genset :
- Pemakaian Perjam 1,5 liter
- Harga solar per liter Rp 11.000,-
- Pemakaian : 24 jam x 365 hari x 1,5 liter x Rp 11.000,- = Rp 144.540.000,-
- Pemakaian oli : 12 x 3 liter x Rp 18.000,- = Rp 648.000,-

- Operasional pertahun :
- solar + oli = Rp 144.540.000,- + Rp 648.000,- = Rp 145.188.000,-

- Operasional Microhydro :
- Biaya Pembuatan microhydro = Rp 350.000.000,-

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \text{Rp } 350.000.000,- (-) \text{ Rp } 40.000.000,- = \text{Rp } 210.000.000,- \\ &= \text{Rp } 210.000.000 / \text{Rp } 145.188.000,- = 1,45 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Dapat diketahui bahwa dalam kurun waktu 1,45 tahun pembuatan mikrohidro sudah terpenuhi BEP nya.

Untuk memastikan hasil kegiatan pembuatan mikrohidro dilakukan ujicoba dengan beban pemakaian lampu sorot 500 watt sebanyak 10 buah. Dari ujicoba yang dilakukan lampu sorot tersebut dapat dinyalakan. Ini menunjukkan bahwa mikrohidro telah berhasil dibuat dan mampu menghasilkan daya listrik 5KW.

KESIMPULAN

Pada kegiatan penelitian ini telah dihasilkan konstruksi Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dengan skala 5 KW yang dapat beroperasi selama 24 jam setiap harinya sehingga dapat mendukung kegiatan/penelitian di Kawasan Instalasi Bahan Galian Nuklir, Kalan, Kalbar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada manajemen PTBGN yang telah memberikan dukungan sepenuhnya sehingga terselesainya kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. ASTU PUDJANARSA DAN DJATI NURSUHUD, "Mesin Konversi Energi", Andi, Edisi 3, Yogyakarta, (2013).
2. HUNGGUL Y.S.H. NUGROHO DAN M. KUDENG SALLATA, "Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro", Panduan Lengkap Membuat Sumber Energi Terbarukan Secara Swadaya, Andi, Yogyakarta, (2015).
3. "Pedoman Pengelolaan, Pengoperasian, dan Pemeliharaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Turbin Propeler Open Flume", Cihanjuang Inti Teknik, Cimahi, (2015)
4. Kamiana, I.M. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Graha Ilmu. Yogyakarta, (2011).
5. Notosudjono, D. *Perencanaan PLTMH di Indonesia*. BPPT, (2002).
6. Prayogo, E. *Teknologi Mikrohidro dalam Pemanfaatan Sumber Daya Air untuk Menunjang Pembangunan Pedesaan*. Semiloka Produk-produk Penelitian Departement Kimpraswill. Makassar, (2003).
7. Nafis, Subhan. *Pemilihan Tipe Turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*, (2008).
8. <http://renewablesfirst.co.uk/hydropower/hydro-learning-centre/kaplan-turbines>
9. <http://readorrefer.in/article/kaplan-turbine>
10. <http://teknikmesin.org/perbedaan-turbin-francis-dan-turbin-kaplan>.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN

DAFTAR INDEKS PENULIS MAKALAH

A. A. Waskita	331	Dhatu Kamajati	463
Abdul Hafid	69, 115	Dian A.	397
Abimanyu Bondan	449	Djoko Marjanto	217
Adhika Junara	419, 427	Dwi Biyantoro	155
Karunianto		Dwi Haryanto	419,427
Adrian Soulisa	37	Dwijo M	209
Aep Saepudin	37	Eddy Soesanto	548
Aep Saepudin Catur	175	Edwaren Liun	189
Agus Nur Rachman	109, 131	Edy Sumarno	91,123,147
Agus Taftazani	155	Eko Rudi Iswanto	261
Ahmad Dayani	548	Elfrida Saragi	29
Alim Mardhi	147	Elok Satiti A	389
Almira Citra Amelia	175	Entin Hartini	115
Amiruddin	495, 509	Erlan Dewita	199,407
Andryansyah	77, 209, 293	Fakhri Muhammad	427
Angga Fernando	217	Farida Tusafariah	253
Arie Budianti	253	Futichah	183
Arief Tris Yuliyanto	389	G. Bambang Heru	131,147
Arif Isnaeni	437	Gatot W	397
Arif Nugroho	397	Geni Rina Sunaryo	1, 9, 17, 29, 37, 49, 57, 69, 77, 91, 101, 109, 115, 123, 131, 141, 147, 209, 331, 293
Arismunandar P S	209	Giarno	101
Aslina Br. Ginting	397	Gustri Nurliati,	473
Aswati Mindaryani	155	Habib Subagio	301
Boybul	397	Hadi Suntoko	271, 301, 449
Budi Yuli Ani	517	Hairul Arsyad	509
Citra Candranurani	389	Hajar Nimpuno Adi	369
D. Andiwijayakusuma	331	Heni Susiati	271, 301, 321
Darlis	77, 209	Henky P. Rahardjo	241
Dedy Haryanto	123, 175	Heri Hardiyanti	183
Dedy Priambodo	199	Heri Syaeful	261, 463
Deni Mustika	183	Hermawan	397
Denissa Beauty Syahna	339	Hery Adrial	17
Deswandri	9, 49, 77, 91, 101, 109, 115, 123, 131, 147, 209, 253, 293, 331	I Wayan Ngarayana	313
Dharu Dewi	357	Isfandi	183

Jan Setiawan	183	Singgih Andy Nugroho	548
Joko Prasetio W	91, 101, 123, 147	Siti Alimah	223, 321, 449
June Mellawati	223, 321	Slamet	548
Kamaruddin	495	Slamet Suryanto	339
Kiswanta	49, 83, 109	Sofia L. Butarbutar	141
Kurnia Anzhar	339, 369	Sri Sudadiyo	1
Kurnia Setiawan W	517	Sri Sukmajaya	489
Kussigit Santosa	49, 109, 131	Sriyana	261, 301, 407
M. Subekti	37, 141	Sriyono	141
Mike Susmikanti	37	Sudarno	49, 83, 109
Moch Romli	479	Sufiana Solihat	231, 283
Mudi Haryanto	77, 209, 293	Suhaedi Muhammad	457
Mudjiono	199	Suharji	463
Muh. Darwis Isnaini	9	Suhartono	479
Mulya Juarsa	91, 101, 123	Sumantri Hatmoko	131
Mutia Anggraini	517	Sumaryo	141
Ngadenin	537	Suparman	283
Nofriady Aziz	155	Supranto	155
Nuryanti	283	Surip Widodo	241
Pranjono	183	Susyati	457
Putri Rahmawati	537	Suwoto	17
Rafiuddin Syam	495, 509	Syaiful Bakhri	1, 17, 29, 57, 69
Rahayu Kusumastuti	141	Taswanda Taryo	57
Rizki Firmansyah S.B.	167, 389, 347	Teguh Sulistyono	69
Rokhmadi	57	Tri Handini	489
Roziq Himawan	115	V. Indriati Sri Wardhani	241
Rr. Arum Puni Rijanti	379, 389	Widodo	537
Rr. Djarwanti RPS	457	Wiku Lulus Widodo	167, 231, 347
Ruslan Bauna	509	Yanlinastuti	397
S. Nitiswati	77, 293	Yuni K. Krisnandi	473
Sahala Maruli Lumbanraja	379	Zaenal Abidin	217
Samin	517	Zuhair	17
Sigit Santosa	313		