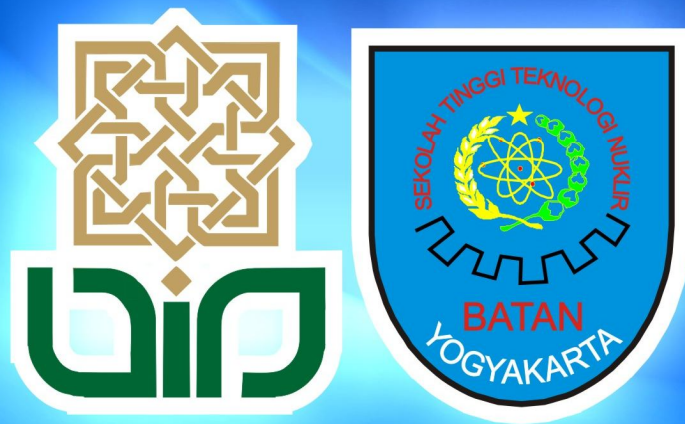


PROSIDING

Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir

**Kesiapan SDM, Sains dan Teknologi
dalam Pemanfaatan Teknologi Nuklir
untuk Mengatasi Krisis Energi di Indonesia**



Yogyakarta, 18 November 2010

**SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

ISSN 1978-0176

PROSIDING

Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir

**Kesiapan SDM, Sains dan Teknologi
dalam Pemanfaatan Teknologi Nuklir
untuk Mengatasi Krisis Energi di Indonesia**



Yogyakarta, 18 November 2010

**SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

Prosiding Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir

**Kesiapan SDM, Sains dan Teknologi
dalam Pemanfaatan Teknologi Nuklir
untuk Mengatasi Krisis Energi di Indonesia**

**Kamis 18 November 2010, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir Yogyakarta &
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga**

Hak Cipta © 2010 Pada Penulis

ISSN 1978-0176

Hak publikasi pada Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – Badan Tenaga Nuklir Nasional Yogyakarta

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, tanpa izin tertulis dari penerbit dan penulis.



**KEPUTUSAN KETUA
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL
NOMOR: 058/STTN/VI/2010**

TENTANG

**PENYELENGGARAAN DAN PEMBENTUKAN PANITIA PELAKSANA
SEMINAR NASIONAL SDM VI TEKNOLOGI NUKLIR
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR-BATAN**

KETUA SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR-BATAN,

- Menimbang : a) bahwa untuk kepentingan pelaksanaan program kegiatan STTN tahun 2010 dipandang perlu menyelenggarakan Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir bekerjasama dengan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta khususnya Fakultas Sains dan Teknologi;
- b) bahwa untuk melaksanakan butir a) perlu ditetapkan Panitia dan Penelaah makalah seminar nasional;
- c) bahwa yang namanya tersebut dalam Daftar Lampiran Keputusan ini dipandang memenuhi syarat sebagai Panitia dan Penelaah makalah;
- Mengingat : 1. Undang-Undang nomor 20 tahun 2003 tentang Sistem Pendidikan Nasional;
2. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 17 tahun 2010 tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan;
3. Peraturan Menteri Keuangan RI Nomor 134/PMK.06/2005 tentang Pedoman Pembayaran dalam Pelaksanaan Anggaran dan Belanja Negara;
4. Keputusan Kepala Badan Tenaga Nuklir Nasional Nomor 542/KA/XI/2002 tentang Statuta Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir;
5. Keputusan Kepala BATAN Nomor 172/KA/XII/2009 tentang Kuasa Pengguna Anggaran/Kuasa Pengguna Barang/Penanggung Jawab Kegiatan di lingkungan Badan Tenaga Nuklir Nasional Tahun Anggaran 2010;

MEMUTUSKAN:

Menetapkan : **KEPUTUSAN KETUA SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR**

TENTANG PENYELENGGARAAN DAN PEMBENTUKAN PANITIA
PELAKSANA SEMINAR NASIONAL VI SDM TEKNOLOGI NUKLIR
TAHUN 2010.

- Pertama : Menunjuk Saudara-saudara yang namanya tercantum dalam Daftar Lampiran I Surat Keputusan ini sebagai Panitia Pelaksana Penyelenggaraan Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir.
- Kedua : Menunjuk Saudara-saudara yang namanya tercantum dalam Daftar Lampiran II Surat Keputusan ini sebagai Penelaah makalah Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir.
- Ketiga : Panitia bertugas merencanakan dan melaksanakan acara Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir pada bulan November 2010.
- Keempat : Penelaah makalah bertugas menelaah dan menilai makalah yang masuk ke Panitia Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir.
- Kelima : Panitia bertugas membuat laporan pelaksanaan Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir 2010 kepada Ketua STTN dan Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga selambat-lambatnya 1 (satu) bulan setelah kegiatan selesai.
- Keenam : Segala biaya yang timbul akibat dikeluarkannya keputusan ini dibebankan kepada Dana STTN dan UIN Sunan Kalijaga sesuai dengan kesepakatan.
- Ketujuh : Keputusan ini mulai berlaku sejak tanggal ditetapkan dan apabila di kemudian hari ditemukan adanya kesalahan akan diperbaiki sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di Yogyakarta
Pada tanggal 15 Juni 2010

KETUA
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL,



KRIS TRI BASUKI

Tembusan:

1. Kepala BATAN
2. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga
3. Kepala Subbagian Keuangan STTN dan UIN Sunan Kalijaga
4. Panitia Penyelenggara

LAMPIRAN I

KEPUTUSAN KETUA SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR

NOMOR : 058/STTN/VI/2010

TANGGAL : 15 Juni 2010

**SUSUNAN PANITIA PELAKSANA
SEMINAR NASIONAL VI SDM TEKNOLOGI NUKLIR 2010
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR**

1. Penanggung Jawab : Prof. Dr. Kris Tri Basuki
2. Penanggungjawab Pelaksanaan : Ir. Noor Anis Kundari, MT
3. Pengarah :
 1. Drs. Supriyono, M.Sc
 2. Dra. Maizer Said Nahdi, M.Si
4. Ketua : Muhtadan, SST
5. Wakil Ketua : Thaqibul Fikri Niryatama, S.Si, M.Si
6. Sekretaris I : Rita Tyas Mulatsih, SH
7. Sekretaris II : Ardhani Dyah W, SST
8. Sekretaris III : Esti Wahyu Widowati, M.Si, M.Biotech
9. Bendahara :
 1. Sigit Purwanto, SE*
 2. Nita Handayani, M.Si
10. Acara dan Persidangan :
 1. Toto Trikasjono, ST, M.Kes*
 2. Khamidinal, M.Si
 3. Retno Rahmawati, M.Si
 4. Karmanto, M.Sc
 5. Agus Sutopo, A.Md
 6. Joko Sunardi, SST
11. Pendanaan/Sponsorship :
 1. Ir. Surakhman*
 2. Ir. Sigit Purnomo
 3. Muhammad Pribadi, M.Pd
12. Penerimaan Makalah :
 1. Deni Swantomo, SST, M.Eng*
 2. Muhammad Thoha, A.Md
 3. Siswantoro, A.Md
 4. Budi Suhendro, SST
13. Penerbitan Prosiding :
 1. Sutanto, SST, M.Eng*

14. Perlengkapan dan Akomodasi : 2. Kartini Megasari, SST
3. Sukarman, ST, M.Eng
1. Agus Purwanto*
2. Priyo Purnomo
3. Rujito
4. Asih Widi Wisudawati, M.Pd
5. Anis Yuniati, M.Si
15. Konsumsi : 1. Siti Umi Sholikhati, SST*
2. Taurina Eka Kusumawati, SST
3. Yuli Annisa, M.Si
4. Wahyuni
16. Dokumentasi/Dekorasi : 1. Suroso, SST*
2. Mardi Riyanto, S.Kom
3. Zaim Sidiq, S.Si
4. Joko Haendarto
17. Pengamanan C. Wishnu Aji, A.Md

Keterangan :
(*) Koordinator

Ditetapkan di Yogyakarta
Pada tanggal 15 Juni 2010
KETUA
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL,



KRIS TRI BASUKI

LAMPIRAN II

KEPUTUSAN KETUA SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR

NOMOR : 058/STTN/VI/2010

TANGGAL : 15 Juni 2010

**SUSUNAN PENELAAH MAKALAH
SEMINAR NASIONAL VI SDM TEKNOLOGI NUKLIR 2010
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR**

| | | |
|----|---|--------------------|
| 1 | Prof. Dr. Kris Tri Basuki | STTN-BATAN |
| 2 | Prof. Dr. Aang Hanafiah R. Wangsaatmaja | PTNBR - BATAN |
| 3 | Prof. Ir. Syarip | PTAPB - BATAN |
| 4 | Prof. Dr. Pramudita Anggraita | PTAPB – BATAN |
| 5 | Prof. Drs. Riil Isaris | PTAPB – BATAN |
| 6 | Prof. Drs. Sudjatmoko, S.U | PTAPB – BATAN |
| 7 | Prof. Ir. Sunarno, M.Eng, Ph.D | UGM |
| 8 | Dr. Anwar Budianto, D.E.A | STTN-BATAN |
| 9 | Dr. Ngasifudin | PTAPB-BATAN |
| 10 | Ir. Noor Anis Kundari, M.T | STTN-BATAN |
| 11 | Drs. Supriyono, M.Sc | STTN-BATAN |
| 12 | Ir. Djiwo Harsono, M.Eng | STTN-BATAN |
| 13 | Dra. Maizer Said Nahdi, M.Si | UIN Sunan Kalijaga |
| 14 | Agung Fatwanto, Ph.D | UIN Sunan Kalijaga |
| 15 | Dra. Khurul Wardati, M.Si | UIN Sunan Kalijaga |
| 16 | Ir. Mulyono Syamsuar, M.Sc | BAPETEN |
| 17 | Drs. Mohammad Damami Zen, M.Ag. | UIN Sunan Kalijaga |

Ditetapkan di Yogyakarta
Pada tanggal 15 Juni 2010
KETUA
SEKOLAH TINGGI TEKNOLOGI NUKLIR
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL,



KRIS TRI BASUKI

PEMBICARA TAMU

1. Dr. Hudi Hastowo (Kepala BATAN diwakili Sestama BATAN)
2. Prof. Dr. Kris Tri Basuki (Ketua STTN-BATAN)
3. Prof. Dr. Musa Asy'arie (Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta)
4. Dr. Chairil Anwar (Dekan Fakultas MIPA UGM)

REDAKTUR PELAKSANA PENERBITAN PROSIDING

1. Sutanto, S.ST., M.Eng.
2. Sukarman, ST., M.Eng.
3. Kartini Megawati, S.ST.

KATA PENGANTAR

Segala Puji Syukur kami panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga dapat kami susun dan terbitkan sebuah prosiding hasil Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir yang telah diselenggarakan pada tanggal 18 November 2010 atas kerjasama STTN-BATAN dengan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Tahun 2010 ini mengambil Tema ‘Kesiapan SDM, Sains dan Teknologi dalam Pemanfaatan Teknologi Nuklir untuk Mengatasi Krisis Energi di Indonesia’. Tujuan seminar ini adalah untuk mengembangkan kemitraan antara lembaga Litbang, Industri dan Perguruan Tinggi serta sebagai sarana serta wahana untuk berdialog dan diskusi secara ilmiah antara sesama para peneliti di lembaga litbang, lembaga industri, dan perguruan tinggi khususnya dalam hal kesiapan SDM serta sains dan teknologi nuklir. Untuk itulah dalam seminar ini, untuk pertama kalinya kami bekerjasama dengan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, semoga kerjasama ini menjadi perintis dalam pelaksanaan kerjasama lain diwaktu yang akan datang, baik dalam hal pendidikan, penelitian, pengabdian masyarakat dan maupun kerjasama lainnya.

Prosiding Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir Tahun 2010 ini terdapat 97 makalah yang terdistribusi dalam berbagai bidang penelitian dan kajian yaitu bidang SDM teknologi nuklir dan sains, bidang Fisika dan Instrumentasi, bidang Keselamatan dan Lingkungan, bidang Kimia dan Proses, dan bidang teknologi reaktor.

Pada kesempatan ini kami mengucapkan terimakasih kepada para pembicara utama, mitra bestari, para peserta seminar, dan segenap panitia dari STTN-BATAN maupun Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga atas terselenggaranya seminar dan terbitnya prosiding ini.

Penyusunan dan proses pengeditan prosiding ini telah dilakukan dalam waktu sekitar tiga bulan semenjak tanggal pelaksanaan seminar, namun demikian kami menyadari masih terdapat kekurangan dan kelemahan dalam penyusunan prosiding ini. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang bersifat membangun akan kami terima sebagai bahan evaluasi dalam penyusunan prosiding pada seminar yang akan datang.

Yogyakarta, Februari 2011

Panitia Seminar



SAMBUTAN KEPALA-BATAN DALAM PEMBUKAAN
Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir
Kerja sama STTN-BATAN dengan
Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga
Yogyakarta, 18 November 2010

Yang terhormat Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta,

Yang saya hormati Dekan Fakultas Sains Dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta,

Yang saya hormati Pembicara Tamu, Prof. Dr. Musya Asy'ari, Guru Besar UIN Sunan Kalijaga dan Dr. Chairil Anwar, Fakultas MIPA UGM,

Yang saya hormati para pejabat dan sivitas akademika di lingkungan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta,

Yang saya hormati para pejabat di lingkungan BATAN,

Yang saya hormati para tamu undangan,

Yang saya cintai sivitas akademika STTN-BATAN,

dan para hadirin peserta Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir yang saya muliakan,

Assalaamu'alaikum Wr. Wb

Selamat pagi dan salam sejahtera bagi kita semua

Pertama-tama marilah kita panjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, atas perkenan dan izin-Nya, Alhamdulillah kita masih diberi kenikmatan sehat walafiat, dan kesempatan untuk hadir dalam acara Seminar Nasional V I SDM Teknologi Nuklir yang kali ini untuk pertama kalinya diadakan di luar STTN yaitu di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Bapak, Ibu dan Saudara-saudara yang berbahagia,

Saat ini, kita sebagai bangsa Indonesia dihadapkan pada 3 tantangan besar yang harus di selesaikan, yaitu: kecukupan pangan, energi, dan air bersih. Ketiganya merupakan suatu kebutuhan dasar manusia. Ketiga tantangan tersebut juga secara langsung menjadi indikator keberhasilan pembangunan yang sedang dilakukan saat ini, untuk menghadapi masa depan bangsa Indonesia.

1. Tantangan pertama terkait dengan Kecukupan dan kedaulatan pangan.

Saat ini, yang menjadi masalah besar kita adalah bagaimana kita semua dapat memenuhi kebutuhan komponen pangan utama, yaitu: beras, gula, kedelai, jagung, daging dan susu, daging ayam dan telur, serta mengurangi impor gandum. Kecukupan dan kedaulatan pangan di masa mendatang

perlu mendapat perhatian secara lebih serius, karena sebagian dari kebutuhan dasar tersebut saat ini pun masih harus dipenuhi dengan import. Dimasa mendatang, produksi dalam negeri akan menghadapi tantangan yang semakin keras dan berat, antara lain karena laju konversi tanah subur untuk keperluan non-pertanian masih tinggi, ancaman perubahan musim karena dampak pemanasan global, konversi sumber pangan untuk keperluan biofuel, serta yang paling mengancam adalah karena jumlah penduduk Indonesia relatif besar dan akan semakin besar karena angka pertumbuhan penduduk yang masih tinggi (yaitu masih ~ 1,3 %).

2. Di bidang energi, masalah yang dihadapi adalah bagaimana memenuhi kebutuhan dan juga menjamin *security of supply* energi jangka panjang.

Bangsa Indonesia saat ini masih dihadapkan pada kondisi dimana angka pertumbuhan penggunaan energi sangat besar, keterbatasan sumber energi, dan juga rendahnya efisiensi penggunaan energi. Kenaikan tingkat ekonomi sebagai konsekuensi dari pembangunan, akan menyebabkan angka konsumsi energi yang semakin besar. Sebaliknya, untuk mendorong kenaikan ekonomi diperlukan penyediaan energi yang besar supaya industri dapat berlangsung dengan lancar. Dalam hal ini, ketersediaan energi khususnya dalam bentuk energi listrik akan menjadi suatu infrastruktur dasar bagi pembangunan.

Disadari bahwa pertumbuhan kebutuhan/*demand* energi tidak sebanding dengan penyediaan sumber energi. Setelah dieksploitasi sejak awal tahun 1970-an, sumber minyak sudah banyak berkurang, sehingga saat ini sebagian keperluan minyak dalam negeri sudah harus diimpor dalam jumlah yang relatif besar. Sumber gas alam yang sudah dieksploitasi sebagian besar sudah terkait dengan kontrak jangka panjang untuk memenuhi keperluan pihak asing. Meskipun penggunaan gas sedang ditingkatkan, namun keterbatasan pasokan ternyata menjadi suatu hambatan. Sumber bahan bakar fosil yang praktis masih cukup tersedia adalah batubara, yang ketersediaannya ada di daerah lain dari pusat konsumsi sehingga kita perlu menangani masalah transportasinya dengan segala permasalahan yang ada.

Issue lain terkait dengan penyediaan energi adalah pengurangan emisi gas CO₂ yang dianggap sebagai pemicu pemanasan global. Sedangkan pengembangan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) yang saat ini didorong untuk mencapai kondisi maksimum punya berbagai keterbatasan, sehingga yang dapat dijanjikan saat ini adalah Visi 2525, yaitu di tahun 2025 nanti kontribusi EBT akan mencapai 25 %.

3. Tantangan ketiga yang harus dihadapi adalah ketersediaan air bersih.

Kekurangan air bersih saat ini dirasakan sebagai suatu masalah terutama di kota-kota besar. Sudah menjadi pemandangan yang jamak bahwa kita sering melihat mobil tangki yang berisi air dari daerah pegunungan yang dibawa ke kota-kota besar. Harga air minum dalam botol kemasan, meskipun harganya relatif mahal, namun tetap laku. Artinya kebutuhan air bersih merupakan sesuatu yang tidak terelakkan lagi, berapapun harganya. Di beberapa tempat, orang harus mengeluarkan porsi cukup besar dari sumber pendapatannya hanya untuk membeli air bersih. Ketersediaan air bersih akan mendukung kondisi kesehatan masyarakat yang lebih baik.

Diluar ketiga tantangan utama tersebut, sebetulnya masih ada masalah lain yaitu terkait dengan masalah kesehatan yang sampai saat ini juga menjadi perhatian utama bagi pencapaian kesejahteraan masyarakat Indonesia.

Pemanfaatan Iptek Nuklir di Indonesia diarahkan untuk menjawab ketiga tantangan utama dan juga masalah kesehatan yang dihadapi oleh masyarakat Indonesia tersebut. BATAN sebagai Lembaga Pemerintah Non Kementrian (LPNK) melaksanakan kegiatan Penelitian dan Pengembangan serta Pemanfaatan IPTEK Nuklir difokuskan untuk menjawab tantangan tersebut.

Dalam menjawab tantangan masalah tersebut di atas, berbagai hasil penelitian dan pengembangan sudah didesiminasikan dan dimanfaatkan oleh masyarakat. Hasil yang diperoleh selama ini di

bidang Pangan: misalnya bibit unggul berbagai jenis padi, kedelai, sudah digunakan di masyarakat. Dalam waktu dekat ini, Insha Allah bibit unggul sorghum (Jawa: cantel) akan dilepas oleh kementerian pertanian, demikian juga dengan bibit gandum tropis. Di bidang pengawetan pangan, sterilisasi radiasi juga sudah mulai digunakan di beberapa usaha UMKM. Dalam rangka peningkatan produksi daging dan susu, pemanfaatan iptek nuklir untuk nutrisi pakan ternak (UMMB, SPM, dll.) serta teknik RIA untuk mendukung reproduksi ternak juga sudah mulai banyak digunakan di masyarakat. Pemanfaatan teknik pemupukan dengan biofertilizer, growth-promoter sudah digunakan di beberapa tempat.

Di bidang energi, pemanfaatan iptek nuklir tidak hanya terkait dengan rencana pembangunan PLTN saja, tetapi iptek nuklir sudah mulai digunakan untuk berbagai keperluan, antara lain untuk membantu menangani eksplorasi dan manajemen pada pemanfaatan geothermal, serta pemanfaatan iptek nuklir untuk *Enhanced Oil Recovery*, pemanfaatan sumur2 minyak supaya tetap berproduksi dari pemompaan minyak yang sudah tidak dapat menggunakan cara biasa.

Bapak – Ibu, peserta Seminar yang kami hormati.

Capaian terbesar yang diharapkan dari pemanfaatan iptek nuklir di bidang Energi adalah pemanfaatan PLTN sebagai salah satu pembangkit listrik di Indonesia. Pemanfaatan PLTN di Indonesia merupakan suatu solusi yang diusulkan oleh BATAN dalam menjawab ketersediaan listrik di masa mendatang, terutama terkait dengan “security of energy supply” serta masalah pengurangan emisi gas CO₂ sebagai usaha untuk menangani pemanasan global.

PLTN yang beroperasi berdasarkan dari reaksi inti dapat menghasilkan energi secara masif, dan masih menyisakan bahan bakar lain (U-sisa serta Pu), serta sedikit (atau bahkan dapat dikatakan tidak mengemisikan) gas CO₂ dari prosesnya, dipilih sebagai suatu alternatif karena merupakan suatu difersifikasi energi bagi suatu negara dengan sumber energi yang terbatas. Oleh karena itu, maka berbagai negara yang bahkan dikenal dengan kaya sumber energi di dalam negerinya (UEA, USA, dan beberapa negara Asia) telah memilih untuk menggunakan PLTN dalam usaha menjamin keberlanjutan penggunaan energi di masa mendatang.

Indonesia sebagai negara dengan penduduk terbesar ke 4 di dunia, tidak terelakkan lagi harus menggunakan PLTN sebagai salah sumber listriknya. Penundaan penggunaan PLTN akan membuat kita terjebak untuk menggunakan energi fosil (yang sebetulnya dapat digunakan juga sebagai bahan baku industri petro-kimia) serta jumlahnya terbatas, serta akan membuat penyediaan listrik di masa mendatang akan terbatas dan terkendala dengan harga produksinya.

Penggunaan PLTN di Indonesia meskipun sudah didukung oleh berbagai peraturan perundang, seperti misalnya: UU No 17 tahun 2007 tentang RPJP Nasional, Perpres No. 5 tahun 2006 tentang Kebijakan (bauran) Energi Nasional, serta berbagai Ketentuan lain masih terkendala dengan aspek Penerimaan Masyarakat, sehingga sampai saat ini belum diputuskan.

Terkait dengan masalah penerimaan masyarakat, BATAN melalui pihak lain pada bulan Mei lalu telah melakukan suatu survey terhadap 3.000 responden yang tersebar di 22 Kota/Kabupaten di 7 Propinsi (Jawa – Bali). Hasil yang diperoleh adalah: 56,6 % responden menyatakan setuju, 24,6 % menolak, dan 17,8 % menjawab tidak tahu. Hal ini menunjukkan bahwa sesungguhnya sebagian besar masyarakat Indonesia menghendaki dibangunnya PLTN. Saya berharap, dengan Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir yang mengambil tema “Kesiapan SDM, Sains dan Teknologi dalam Pemanfaatan Teknologi Nuklir untuk Mengatasi Krisis Energi di Indonesia” ini dapat memberikan kontribusi yang positif untuk meningkatkan penerimaan masyarakat terhadap PLTN yang Insha Allah akan segera kita bangun di Indonesia.

Bapak, Ibu dan Saudara-saudara yang berbahagia

Dari berbagai uraian di atas peranan Sumber Daya Manusia sangat penting artinya dalam menunjang Penelitian, Pengembangan dan Pemanfaatan IPTEK Nuklir di Indonesia. Tersedianya SDM yang profesional di bidangnya, dan juga mempunyai suatu semangat untuk maju serta mau bersaing di lingkungan yang baru merupakan suatu kunci keberhasilan kita bersama. Baik itu sebagai suatu institusi/lembaga maupun bagi yang bersangkutan sendiri. Oleh karena itu saya merasa sangat bahagia dan bangga pada hari ini kita dapat menyelenggarakan Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir yang ke VI kalinya dilaksanakan bersama dengan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, suatu Lembaga Pendidikan yang cukup ternama di Yogyakarta.

Tantangan penyediaan SDM Teknologi Nuklir saat ini tidak hanya untuk mempersiapkan pembangunan dan pengoperasian PLTN di Indonesia, dan kepetingan nasional lainnya. Namun saya berharap juga kiranya SDM yang kita hasilkan mampu bersaing di tingkat internasional, khususnya di beberapa negara yang saat ini sedang merencanakan maupun sudah mengoperasikan fasilitas nuklir. Reputasi tenaga ahli dan juga pekerja Indonesia di luar negeri telah memberikan suatu kondisi bahwa beberapa negara bersedia untuk menerima tenaga-tenaga kerja kita untuk dididik lebih lanjut dan kemudian dipekerjakan di luar negeri selama beberapa tahun sebelum dapat pulang kembali ke Indonesia. Hal ini saya kira merupakan tantangan bagi kita semua, apakah peluang seperti ini akan kita ambil, atau kemudian kita lepas begitu saja.

Secara pribadi saya berpendapat bahwa tawaran seperti itu merupakan suatu peluang bagi kita semua, baik dari aspek pendidik, institusi, maupun para mahasiswa untuk secara bersama-sama maju. Bagi para pendidik, tentunya kita harus berusaha agar anak didik kita dapat melewati suatu test dasar standar internasional "*being recognized*" oleh masyarakat industri di negara penerima. Tentunya hal ini akan membuat kita harus menengok kembali sistem belajar mengajar dan juga tingkat materi yang telah diajarkan selama ini.

Bagi mahasiswa, tentunya hal ini menuntut suatu persiapan yang lebih baik, tidak hanya dari penguasaan teknis dan bahasa asing, tetapi juga suatu kesiapan untuk menyiapkan *softskill* sehingga dapat bersaing dan mempunyai semangat bekerja dan berkarya di dunia internasional. Secara nasional, saya beranggapan bahwa tenaga-tenaga kita yang bekerja di luar negeri, bukan berarti ada suatu *brain-drain*, tetapi harus dilihat sebagai suatu *brain-gain* dan *brain recirculation* untuk mendapatkan pengalaman di dunia internasional. Saya yakin, dengan melalui cara seperti ini, kita akan memperoleh tenaga-tenaga yang terlatih di tempat yang baik dan pada suatu ketika akan kembali ke Indonesia pada saat diperlukan nantinya.

Bapak, Ibu dan Saudara-saudara yang berbahagia,

Saya berharap, dalam seminar nasional SDM Teknolgi Nuklir ini isi bahasan tentunya lebih banyak menyangkut masalah penyiapan dan pembinaan SDM nuklir dibandingkan dengan substansi penelitian dan pengembangan iptek nuklirnya seperti yang sudah saya sarankan pada Seminar Nasional ke V SDM Teknologi Nuklir tahun lalu.

Sebelum saya menutup sambutan ini, perkenankan saya atas nama Pimpinan BATAN mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada pihak UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, para pembicara tamu, para undangan yang mewakili instansi masing-masing, para peserta dari dalam dan luar kota, yang semuanya tadi telah meluangkan waktunya untuk hadir dan berpartisipasi pada seminar ini.

Ucapan terima kasih saya sampaikan juga kepada seluruh Panitia yang telah bekerja keras untuk menjadikan acara Seminar ini berlangsung dengan sukses.

Selanjutnya, memenuhi permintaan Panitia dan Ketua STTN dengan senantiasa memohon Ridha Allah SWT dan ucapan Bismillaahirrahmaanirrahiim, Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir pada tanggal 18 November 2010 di UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta dengan tema “Kesiapan SDM, Sains dan Teknologi dalam Pemanfaatan Teknologi Nuklir untuk Mengatasi Krisis Energi di Indonesia” saya nyatakan dibuka dengan resmi.

Saya sampaikan selamat berseminar, semoga dengan seminar ini dapat terjadi diskusi dan interaksi yang hangat sehingga mampu meningkatkan peran iptek nuklir untuk mengatasi krisis energi nasional dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

Semoga seminar ini bermanfaat bagi kita semua.

Selamat berseminar.

Wassalaamu’alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 18 November 2010
Kepala BATAN

Hudi Hastowo

LEMBAR PERNYATAAN

Kami selaku panitia pelaksana Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir tahun 2010, dengan ini menyatakan bahwa seluruh makalah yang terdapat dalam prosiding ini telah diseleksi oleh reviewer dan telah diseminarkan pada tanggal 18 November 2010 bertempat di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Yogyakarta, 14 Februari 2011

Panitia

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|----------------|
| Surat Keputusan Tentang Pembentukan Panitia | iii-iv |
| Lampiran Keputusan tentang Pembentukan Panitia | v |
| Daftar Pembicara Tamu dan Redaktur Pelaksana | viii |
| Kata Pengantar | ix |
| Sambutan Kepala BATAN | xi |
| Lembar Pernyataan | xvii |
| Daftar Isi | xix-xxvii |
| | |
| 1. PENGELOLAAN PENGETAHUAN NUKLIR (<i>Nuclear Knowledge Management</i>) Noor Agus Salim | 1-8 |
| 2. PENYIAPAN SDM IPTEK NUKLIR DI STTN UNTUK KESEJAHTERAAN Kris Tri Basuki, Noor Anis Kundari | 9-14 |
| 3. KESIAPAN DAN PEMANFATAAN IPTEK NUKLIR DALAM ASPEK SOSIAL DAN AGAMA Musa Asy'arie | 15-18 |
| 4. ENERGI NUKLIR INDONESIA DALAM KONTEKS ENERGI NUKLIR DUNIA : ANTARA HARAPAN DAN KENYATAAN Chairil Anwar | 19-32 |
| 5. PERAN "SAFETY LEADERSHIP" DALAM MEMBANGUN BUDAYA KESELAMATAN YANG KUAT Yusri Heni Nurwidi Astuti. | 33-40 |
| 6. PELUANG DAN TANTANGAN BATAN SEBAGAI ORGANISASI PENDUKUNG TEKNIS DI BIDANG PROTEKSI RADIASI Eri Hiswara | 41-46 |
| 7. GAMBARAN SUMBER DAYA PENGAWAS PLTN DI INDONESIA Aris Sanyoto, Eko Legowo | 47-52 |
| 8. ASPEK-ASPEK PERPIPAAN YANG PENTING DALAM EVALUASI LAPORAN ANALISIS KESELAMATAN PENDAHULUAN PLTN Rahmat Edhi Harianto, Widia Lastana Istanto, Widi Laksmo, Tino Sawaldi Adi Nugroho | 53-58 |
| 9. EVALUASI KURIKULUM STTN SEBAGAI PENGANALISIS KESELAMATAN PLTN DALAM MENDUKUNG KEGIATAN TSO D. T. Sony Tjahyani | 59-66 |

10. KEBUTUHAN SDM UJI TAK RUSAK UNTUK INSPEKSI PRE-SERVICE PADA PEMBANGUNAN PLTN PERTAMA DI INDONESIA
Sri Nitiswati 67-74
11. PERAN KIMIA PEMISAHAN PADA PROSES UJUNG BELAKANG DAUR BAHAN BAKAR NUKLIR DAN PENGEMBANGAN SDM SEBAGAI PENDUKUNG PROGRAM NUKLIR DI INDONESIA
Gunandjar 75-88
12. PENYIAPAN SUMBER DAYA MANUSIA BERBASIS KOMPETENSI DI BIDANG TEKNOLOGI NUKLIR
Zainus Salimin, Gunandjar 89-98
13. PERAN PPR DALAM RADIOLOGI DIAGNOSTIK DAN INTERVENSIONAL
Togap Marpaung 99-110
14. STUDI TENTANG IMPLEMENTASI METODE PEMBELAJARAN AKTIF BERBASIS KONSUKTIVISME UNTUK PRODI ELEKTRONIKA-INSTRUMENTASI-STTN
Djoko Hari Nugroho 111-120
15. KESIAPAN DAN KONTRIBUSI BATAN DALAM MENYONGSONG KEMANDIRIAN TEKNOLOGI NUKLIR DI INDONESIA
Falconi Margono, Budi Santoso dan Ani Syamsi 121-128
16. PENYIAPAN SDM UNTUK PLTN DI INDONESIA: PENYUSUNAN STANDAR KOMPETENSI PERSONIL
Bagiyono, Fatmuanis Basuki 129-138
17. KUALIKASI PERSONIL UJI TAK RUSAK DALAM PEMBANGUNAN DAN PERAWATAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR
Renaningsih Setjo 139-144
18. PERANAN STTN PADA PROGRAM PLTN YANG PERTAMA DI INDONESIA
Supriyono 145-154
19. PRESERVASI PENGETAHUAN NUKLIR
Karsono 155-160
20. PERBANDINGAN HASIL PRESTASI BELAJAR WISUDAWAN STTN TAHUN 2009 DITINJAU DARI INDEK PRESTASI
Giyatmi, M. Thoha 161-166
21. DESAIN FASILITAS PELATIHAN SDM PLTN
Bambang Suprawoto 167-178
22. KERANGKA PERATURAN PERUNDANG-UNDANGAN UNTUK PROGRAM PEMBANGUNAN PLTN
Ferhat Aziz, Yaziz Hasan 179-200

| | |
|---|---------|
| 23. JAMINAN MUTU UNTUK PERSIAPAN PEMBANGUNAN PLTN Syahrudin | 201-206 |
| 24. UPAYA MENINGKATKAN KEEFEKTIFAN ORGANISASI DALAM SISTEM PENJAMINAN MUTU PERGURUAN TINGGI DI INDONESIA Muhammad Khoiri | 207-212 |
| 25. PEMBUATAN PERANGKAT LUNAK PENAMPIL, PENYIMPAN DAN PENGIRIMAN DATA GPS SURVEY METER DENGAN PC MELALUI <i>PORT</i> USB Adi Abimanyu, Prajitno, Jumari, Jani Bs | 213-222 |
| 26. RANCANG BANGUN MODUL PENGKONDISI SINYAL DENGAN PENGANALISA KANAL TUNGGAL PADA SISTEM SPEKTROSKOPI GAMMA Joko Sumanto, Toto Trikasjono, Sigit Bachtiar | 223-232 |
| 27. PENGIRIMAN DAN PENERIMAAN DATA FREKUENSI SEBAGAI REPRESENTASI SUHU MELALUI JARINGAN LISTRIK Kristian Harika, Sudiono, Muhtadan | 233-240 |
| 28. DETEKSI DINI PENYAKIT DALAM DENGAN METODE <i>NON-INVASIVE</i> SPEKTROSKOPI FOTOAKUSTIK LASER Mitrayana, M.A.J.Wasono, M.R.Ikhsan, F.J.M.Harren | 241-246 |
| 29. PERANCANGAN OTOMASI PENGARAH TELESKOP MATAHARI BERBASIS MIKROKONTROLER SERI AT89S51 Eko Ribut Suprianto, Toni Subiakto | 247-252 |
| 30. SISTEM MONITORING CHILLER MENGGUNAKAN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER DAN PROGRAMMABLE TERMINAL I Wayan Widiana, Jakaria, Sofyan Sori | 253-258 |
| 31. RANCANG BANGUN SIMULATOR KENDALI LIFT PARKIR MOBIL BERTINGKAT BERBASIS PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER Budi Suhendro, Satrio Wibowo, Suyamto | 259-266 |
| 32. STUDI PENGGUNAAN DETEKTOR GELEMBUNG SEBAGAI DOSIMETER DAN DETEKTOR KEKRITISAN Sjafruddin | 267-272 |
| 33. VALIDASI METODA XRF (X-RAY FLUORESCENCE) SECARA TUNGGAL DAN SIMULTAN UNTUK ANALISIS UNSUR Mg, Mn DAN Fe DALAM PADUAN ALUMINUM Rosika Kriswarini, Dian Anggraini, Agus Djamaludin | 273-278 |
| 34. PENGARUH <i>KLOROFIL</i> TERHADAP P-N <i>JUNCTION</i> PADA SUSUNAN LAPISAN TIPIS Ag/CuInSe/SiP Nugroho Tri Sanyoto, Giri Slamet | 279-290 |

35. OTOMASI BLOWER PADA CEROBONG ASAP MENGGUNAKAN PHOTOTRANSISTOR
Nugroho Tri Sanyoto, Djiwo Harsono , Riszal Fandri Murti 291-300
36. PENGGUNAAN PARAMETRISASI BARU POTENSIAL WOODS- SAXON UNTUK PERHITUNGAN SPEKTRUM TENAGA INTI Pb208
Raden Oktova 301-308
37. RANCANG BANGUN MODUL *ELECTRICAL POWER DEMAND* UNTUK SIMULATOR INSTALASI PLTN
Ikhsan Shobari, Dian Fitri Atmoko, Syahrudin Yusuf, Sutomo Budihardjo 309-316
38. PENENTUAN KOEFISIEN DIFUSI BATANG DAN AKAR PADI TERHADAP PERTUKARAN GAS O₂ DAN CO₂ DENGAN METODE SPEKTROSKOPI FOTOAKUSTIK LASER CO₂ MENGGUNAKAN GAS SF₆ SEBAGAI PELACAK
MAJ Wasono , Tohari, Suparmo, Mitrayana, D Octaffany 317-324
39. SISTEM PANEL KENDALI LIFT *SCHINDLER* BERBASIS PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER DI PRSG
Asep Saepuloh, Heri Suherkiman 325-338
40. RANCANGAN SISTEM MEKANIK PENARIK KAPSUL FPM
Hari Sudirdjo 339-342
41. APLIKASI PAPERLESS RECORDER UNTUK PENINGKATAN KUALITAS OPERASI DAN PERAWATAN REAKTOR RSG-GAS
Hari Prijanto, Heri Suherkiman 343-350
42. EVALUASI KINERJA SISTEM PENYEDIA AIR DINGIN (QKJ 01/02/03)
Mohamad Yahya, Dede Solehudin Fauzi 351-358
43. EVALUASI KINERJA SISTEM PEMANTAU AKTIVITAS GAMMA PENDINGIN PRIMER RSG-GAS
Tri Anggono, Nugraha Luhur, Unggul H. , Y. Sumarno 359-364
44. MODIFIKASI SISTEM KENDALI MOTOR POMPA PENDINGIN SEKUNDER RSG-GAS UNTUK MENANGGULANGI KEDIP LISTRIK
Yayan Andriyanto, M.Tufiq, Adin Sudirman, Koes Indrakoesoema 365-376
45. VISUALISASI PERGERAKAN BATANG KENDALI REAKTOR RSG-GAS
Sujarwono 377-384
46. SISTEM INFORMASI AKADEMIK DENGAN KONSEP COLLABORATIVE CUSTOMER RELATIONSHIP MANAGEMENT
Muhammad Alex Syaekhoni, Agus Mulyanto, Shofwatul 'Uyun 385-394
47. SISTEM INFORMASI PENERIMAAN MAHASISWA BARU BERBASIS WEB DAN WAP
Sidiq Wahyu Surya Wijaya, Agus Mulyanto, M. Mustakim 395-404

| | |
|---|---------|
| 48. RANCANG BANGUN PERANGKAP TIKUS ELEKTRONIK BERBASIS SENSOR INFRA MERAH Afris Amin Mufti, Widayanti | 405-412 |
| 49. KESETIMBANGAN MASSA DAN KALOR SERTA EFISIENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP PADA BERBAGAI PERUBAHAN BEBAN DENGAN MENVARIASIKAN JUMLAH FEEDWATER HEATER Dendi Junaidi, I Made Suardjaja, Tri Agung Rohmat | 413-422 |
| 50. ANALISIS PERAWATAN UNIT PEMBANGKITAN GRESIK UNIT III DENGAN METODE RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE Didik Wahyudi, M. Waziz Wildan, Teguh Pudji Purwanto Setyanto Kresno Murti | 423-432 |
| 51. SISTEM KENDALI SUHU RUANG BERBASIS MIKROKONTROLER AT89S51 Masruchin, Widayanti | 433-438 |
| 52. PENGEMBANGAN KAMERA CCD PADA FASILITAS RADIOGRAFI NEUTRON, RN1, DI BATAN SERPONG Sutiarso, Bharoto, Setiawan, Juliyani, Fahrurrozi | 439-444 |
| 53. UJI TAK MERUSAK KOMPONEN <i>LOCK ACTUATOR</i> MENGGUNAKAN TEKNIK RADIOGRAFI NEUTRON Juliyani, Setiawan, Sutiarso | 445-450 |
| 54. PERBAIKAN FAKTOR DAYA MOTOR INDUKSI 3 FASE Rahardjo, Yadi Yunus | 451-458 |
| 55. PEMBUATAN ALAT VIBRATION MONITOR BERBASIS MIKROKONTROLER UNTUK APLIKASI PADA MESIN INDUSTRI Joko Sunardi, Nugroho Tri Sanyoto, Soma Wira Perdana | 459-468 |
| 56. HUBUNGAN ANTARA LAJU DOSIS SERAP AIR DENGAN LAPANGAN RADIASI BERKAS ELEKTRON PESAWAT PEMERCEPAT LINIER MEDIK ELEKTA C. Tuti Budiantari, Nurman R. | 469-476 |
| 57. MODIFIKASI PANEL LISTRIK SISTEM LAPISAN AIR HANGAT KOLAM REAKTOR SERBA GUNA GA. SIWABESSY M. Taufik, Kiswanto, Teguh Sulisty, Yuyut S | 477-484 |
| 58. PENENTUAN JENIS SESAR PADA GEMPABUMI SUKABUMI 2 SEPTEMBER 2009 BERDASARKAN GERAK AWAL GELOMBANG P Merdiani Rahmania, Thaqibul Fikri Niyartama, Ari Sungkowo | 485-492 |
| 59. PENERAPAN SISTEM SEIFGARD NUKLIR DAN TANTANGANNYA SAAT INI Eri Hiswara | 493-500 |

| | |
|--|---------|
| 60. FUNGSI PROGRAM PROTEKSI DAN KESELAMATAN RADIASI DALAM PEMANFAATAN TENAGA NUKLIR Aris Sanyoto | 501-506 |
| 61. APLIKASI RADIASI DAN RADIOISOTOP DALAM BIDANG KEDOKTERAN Ferry Suyatno | 507-514 |
| 62. KAJIAN TERHADAP IMPLEMENTASI PROGRAM PROTEKSI RADIASI DI INSTALASI ELEMEN BAKAR EKSPERIMENTAL Budi Prayitno | 515-526 |
| 63. PEMANTAUAN KEBERSIHAN UDARA PADA DAERAH PENGOPERASIAN <i>HOTCELL</i> INSTALASI RADIOMETALURGI Suliyanto, Muradi | 527-534 |
| 64. ANALISIS PERHITUNGAN KETEBALAN KONTAINER PERALATAN BRAKITERAPI MDR UNTUK TERAPI KANKER LEHER RAHIM Kristiyanti, Abdul Jalil | 535-540 |
| 65. PEMINDAHAN BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS DARI KOLAM REAKTOR KE CASK TRANSNUCLEAR MATERIAL TESTING REACTOR Dyah Sulistyani R, Arie Budiyantri | 541-550 |
| 66. STUDI LITERATUR MENGENAI KEAMANAN DALAM PENGANGKUTAN ZAT RADIOAKTIF Togap Marpaung | 551-564 |
| 67. ANALISIS REDUKSI RAGAM DALAM SISTEM KLUSTER MCNP5 Mike Susmikanti | 565-570 |
| 68. UPAYA PENINGKATAN BUDAYA KESELAMATAN PEKERJA RADIASI RUMAH SAKIT DI INDONESIA Muhammad Khoiri | 571-576 |
| 69. RANCANG BANGUN KONTENER UNTUK PENGGANTIAN SUMBER RADIOGRAFI IRIDIUM 192 Sigit Purnomo, Desi Retnaningrum, Bangun Pribadi | 577-580 |
| 70. PENGUKURAN UJI KEBOCORAN TABUNG PESAWAT SINAR-X DIAGNOSTIK RONTGEN DI WILAYAH KABUPATEN PATI DAN KABUPATEN REMBANG JAWA TENGAH Sigit Purnomo | 581-584 |
| 71. PERUBAHAN MOLEKULER GEN PENEKAN TUMOR <i>p53</i> AKIBAT PAJANAN RADIASI PENGION Mukh Syaifudin | 585-594 |
| 72. PENENTUAN LAJU DOSIS SERAP DI AIR BERKAS FOTON 6 MV PESAWAT PEMERCEPAT LINIER MEDIK MODEL GK-06-100 MENGGUNAKAN PROTOKOL TRS 277 DAN TRS 398 Nurman Rajagukguk, C Tuti Budiantari | 595-600 |

73. REDUKSI LIMBAH B3 CAIR MENGGUNAKAN ZEOLIT DAN PASIR SILIKA
Retno Susetyaningsih, Endro Kismolo, Nurimaniwathy 601-608
74. PENGOLAHAN LIMBAH RADIOAKTIF HEPA FILTER MENGGUNAKAN
METODE REDUKSI VOLUME DAN IMOBILISASI
DENGAN Matrik Semen
Bung Tomo 609-614
75. ANALISIS LAJU KOROSI DENGAN PENAMBAHAN INHIBITOR KOROSI
PADA PIPA SEKUNDER REAKTOR RSG-GAS
Febrianto, Geni Rina Sunaryo dan Sofia L. Butarbutar 615-620
76. KARAKTERISTIK KETAHANAN KOROSI WADAH LIMBAH RADIOAKTIF
AKTIVITAS RENDAH DAN TINGGI
Aisyah 621-632
77. MELTER PEMANAS INDUKSI DAN JOULE
UNTUK VITRIFIKASI LIMBAH CAIR AKTIVITAS TINGGI DENGAN GELAS
BOROSILIKAT
Herlan Martono 633-640
78. UJI BANDING KIT *IMMUNORADIOMETRICASSAY* (IRMA)
CARBOHYDRATE ANTIGEN 125 (CA-125) LOKAL (PUSAT
RADIOISOTOP DAN RADIOFARMAKA) DENGAN KIT IRMA CA-125
IMPOR (*IMMUNOTECH*)
Puji Widayati, Sri Hartini, Agus Ariyanto 641-648
79. PEMBUATAN ¹⁷⁷Lu-CTMP UNTUK PALIATIF NYERI TULANG
METASTASIS: PENINGKATAN KEMURNIAN RADIOKIMIA ¹⁷⁷Lu CTMP
DAN UJI STABILITASNYA
Sri Setiyowati, Maskur, Martalena Ramli dan M.Subur 649-654
80. UJI FUNGSI MODUL SINTESIS OTOMATIS
DAN KARAKTERISASI ¹⁸F-FDG
Sulaiman, Chairuman, Yono Sugiharto, Karyadi, Enny Lestari 655-662
81. PREPARASI DAN UJI STABILITAS ¹⁷⁷Lu-DOTA-NIMOTUZUMAB
SEBAGAI RADIOFARMAKA TERAPI KANKER
Titis S. H., Martalena Ramli, Cecep Taufik Rustendi, Muhammad Subur 663-670
82. PEMANTAUAN KANDUNGAN ORTOFOSFAT SEBAGAI PARAMETER
UJI PENGOPERASIAN SISTEM INJEKSI INHIBITOR KOROSI (PAQ 2)
PADA SISTEM PENDINGIN SEKUNDER RSG-G.A.SIWABESSY
Diyah Erlina Lestari, Setyo Budi Utomo 671-678
83. ANALISIS FUNGSI LAPISAN AIR HANGAT TERAS 70
DI REAKTOR SERBA GUNA GA. SIWABESSY
Yulius Sumarno, Rohidi, Anto Setiawanto 679-684
84. PERANCANGAN ALAT PENGENDAP AIR LIMBAH KOTA BERDASARKAN
OPTIMASI PROSES PENGENDAPAN DENGAN RADIOISOTOP I-131
Ayunita Iriyanti, Sugili Putra, Suryo Rantjono 685-694

85. PREPARASI 131I-MIBG :RADIOFARMAKA DIAGNOSA DAN TERAPI NEUROBLASTOMA
Purwoko , Adang Hardi G. , Maskur dan Cahya Nova A. 695-704
86. ADSORPSI Fe DAN Mn DALAM LIMBAH CAIR DENGAN ZEOLIT ALAM
Noor Anis Kundari, Apri Susanto, Maria Christina Prihatiningsih 705-710
87. PREPARASI, BIODISTRIBUSI DAN CLEARANCE SENYAWA PENGONTRAS MRI Gd-DTPA-PAMAM G4-NIMOTUZUMAB MELALUI SIMULASI MENGGUNAKAN 153Gd-DTPA-PAMAM G4-NIMOTUZUMAB
Adang H.G., Rista S., A. Mutalib, Yono S., Ratna Dini H., Karyadi, Sri A. 711-718
88. SISTEM PERHITUNGAN PRODUKSI RADIOISOTOP Mo-99 DAN GENERATOR Mo-99/Tc-99m MENGGUNAKAN MICROSOFT ACCESS
Maskur, Adang.H.G.,Sriyono, Gatot S. 719-726
89. PEMISAHAN ION Fe DAN Mn DALAM LARUTAN MENGGUNAKAN PASIR BESI TERMAGNETISASI
Sari Husniwati Amaliena, Sugili Pu 727-738
90. PREPARASI DAN KARAKTERISASI KATALIS NI-MO/ZEOLIT ALAM AKTIF
Esis Witanto, Wega Trisunaryanti, Triyono 739-746
91. UJI STABILITAS KIT IMMUNORADIOMETRICASSAY CARBOHYDRATE ANTIGEN-125 UNTUK PEMANTAUAN KANKER OVARIUM
Triningsih, Puji Widayati, Sutari, Sri Setiyowati 747-750
92. PENENTUAN KANDUNGAN LOGAM DI DALAM SEDIMEN WADUK GAJAH MUNGKUR DENGAN METODE ANALISIS AKTIVASI NEUTRON CEPAT
Sudaryo, Sutjipto 751-758
93. STUDI EKSTRAKSI PADAT CAIR MENGGUNAKAN PELARUT HF DAN HNO₃ PADA PENENTUAN LOGAM Cr, dan Cu DALAM SAMPEL SEDIMEN SUNGAI DI SEKITAR CALON PLTN MURIA
Imelda Fajriati, Muzakky, Malawati Rizkiyah 759-768
94. SIMULASI MODIFIKASI REAKTOR TRIGA 2000 BANDUNG DENGAN BAHAN BAKAR JENIS PELAT
Gede Ardana Mandala 769-776
95. ANALISIS INTEGRITAS BEJANA TEKAN REAKTOR PWR DAN VVER
Roziq Himawan 777-784
96. KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN ISOTOP Cs-137 DALAM BAHAN BAKAR U₃Si₂ -AI PASCA IRRADIASI
Dian Anggraini, Arif N , Noviarthy 785-788

97. ANALISIS RADIONUKLIDA ^{137}Cs DALAM PELAT ELEMEN BAKAR (PEB)
 $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ DENSITAS $2,96\text{ g/cm}^3$ PASCA IRADIASI
Arif Nugroho, Dian Anggraini, Noviarty 789-794
98. EVALUASI FLUKS NEUTRON TERMAL
DI FASILITAS SILIKON DOPING RSG G.A. SIWABESSY
Jaka Iman, Asnul Sufmawan, Kawkab Mustofa 795-802
99. ANALISIS WARM WATER LAYER SEBAGAI SISTEM PROTEKSI PADA
REAKTOR SERBA GUNA G. A. SIWABESSY DENGAN MENGGUNAKAN
KOMPUTASI DINAMIKA FLUIDA
Tiar Fridianto, Tri Agung Rohmat, M. Dhandhang Purwadi 803-812
100. ANALISIS PENGARUH PENGOPERASIAN
TERHADAP KEMAMPUAN SHUTDOWN BATANG KENDALI
PADA REAKTOR KARTINI
Tegas Sutondo 813-820
101. RANCANG BANGUN SISTEM ISOLASI INPUT OUTPUT KANAL
DAYA DAN POSISI BATANG KENDALI REAKTOR RISET SR4 DENGAN
ANALOG DEVICE AD210
Syahrudin Yusuf , Ikhsan Shobari 821-828
102. OPTIMASI JUMLAH TANAH LIAT, TAWAS, DAN KAPUR PADA
PROSES PENGENDAPAN LIMBAH CAIR TAHU DENGAN METODE
LABELLING I-131
Sugili Putra, Mutia Anggraini dan Suryo Rantjono 829-836
103. EVALUASI KENDALI MUTU SENYAWA BERTANDA $^{153}\text{SAMARIUM-EDTMP}$
(*ETHYLENE DIAMINE TETRA METHYLEN PHOSPHONATE*)
Yayan Tahyan, Enny Lestari, Sudarsih, Endang Sarmini, Karyadi 837-842
104. PENYIAPAN SDM UNTUK PLTN PERTAMA DI INDONESIA
Hendriyanto Haditjahyono 843-850
105. Daftar Peserta Seminar

PELUANG DAN TANTANGAN BATAN SEBAGAI ORGANISASI PENDUKUNG TEKNIS DI BIDANG PROTEKSI RADIASI

Eri Hiswara

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi BATAN
Jalan Lebak Bulus Raya No.49, Kotak Pos 7043 JKSKL, Jakarta Selatan 12070

Abstrak

PELUANG DAN TANTANGAN BATAN SEBAGAI ORGANISASI PENDUKUNG TEKNIS DI BIDANG PROTEKSI RADIASI. Organisasi Pendukung Teknis (OPT) merupakan suatu organisasi yang diposisikan sebagai pendukung teknis dan ilmiah dalam pembangunan dan pengoperasian suatu Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Salah satu aspek penting dalam seluruh kegiatan PLTN ini adalah proteksi radiasi. Mengingat sifat pekerjaan proteksi radiasi yang sangat luas, baik badan pengawas maupun operator PLTN diperkirakan akan memerlukan suatu OPT di bidang proteksi radiasi ini. Luasnya pekerjaan proteksi radiasi ini juga merupakan peluang sekaligus tantangan bagi para spesialis proteksi radiasi untuk dapat melakukan verifikasi terhadap kegiatan terkait proteksi radiasi pada suatu PLTN. BATAN sebagai suatu lembaga yang telah lama berkecimpung dalam proteksi radiasi yang dapat berfungsi sebagai OPT dimaksud. Para spesialis proteksi radiasi yang dimiliki BATAN akan siap berhimpun untuk melaksanakan tugas sebagai OPT di bidang proteksi radiasi ini.

Kata kunci: PLTN, OPT, proteksi radiasi, BATAN

Abstract

OPPORTUNITIES AND CHALLENGES OF BATAN AS TECHNICAL SUPPORT ORGANIZATION IN RADIATION PROTECTION. Technical Support Organization (TSO) is an organization positioned as technical and scientific supporter in the development and operation of a Nuclear Power Plant (NPP). One important aspect in every NPP's activity is radiation protection. Considering the nature of work of radiation protection which is very broad, the TSO in radiation protection is needed by both regulatory body and NPP's operator. The wide-scale works in radiation protection are also considered as opportunities as well challenges for radiation protection specialists to verify the radiation protection related activities in NPP. BATAN as an institution which has many years of experiences in radiation protection can be functioned as the said TSO. All of radiation protection specialists in BATAN will be ready to gather to carry out the work as the TSO in radiation protection.

Keywords: NPP, TSO, radiation protection, BATAN

PENDAHULUAN

Organisasi Pendukung Teknis (OPT) merupakan suatu organisasi yang diposisikan sebagai pendukung teknis dan ilmiah dalam pembangunan dan pengoperasian suatu Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Ruang lingkup pekerjaan OPT sangat luas, dan bergantung pada setiap negara

untuk merumuskannya. Namun demikian, Govaerts^[1] menyatakan bahwa OPT dapat mendukung pekerjaan baik badan pengawas maupun industri nuklir sebagai operator atau pemegang izin.

Pekerjaan badan pengawas dalam kaitannya dengan PLTN secara umum dapat dibedakan atas penerbitan izin, dengan segala aspek yang terkait, dan pengkajian keselamatannya. Untuk melaksanakan pekerjaannya ini badan pengawas

kemungkinan dapat melakukannya sendiri, dengan kemampuan teknis dan ilmiah yang dimilikinya. Namun, pada saat ini sangat sulit untuk memiliki seorang ahli di setiap bidang teknologi nuklir yang terus berkembang dan menghimpunnya dalam satu institusi tersendiri, sehingga di banyak negara badan pengawasnya memilih untuk mencari bantuan dan dukungan teknis dari luar institusinya.

Di lain pihak, industri nuklir juga memiliki keterbatasan yang sama dengan badan pengawas. Mereka tidak memiliki ahli yang cukup untuk dapat meliputi semua bidang teknologi nuklir yang menjadi pekerjaannya. Untuk ini maka industri nuklir memerlukan dukungan teknis dari luar, yang bisa diberikan oleh suatu OPT.

Kegiatan OPT yang mendukung industri nuklir pada dasarnya hampir sama dengan kegiatannya yang mendukung badan pengawas. Namun, penekanannya bukan hanya pada memecahkan masalah, melainkan juga pada pengajuan usulan untuk memecahkan masalah tersebut.

Di banyak negara, OPT bisa berasal dari perguruan tinggi, institusi nuklir lain, atau bahkan konsultan untuk isu-isu seperti sumber daya manusia atau manajemen. Saat meminta bantuan OPT, baik badan pengawas maupun industri nuklir harus dapat dengan jelas menentukan apa kebutuhan mereka, topik apa yang harus dipelajari dan diselidiki, seberapa besar pentingnya bagi keselamatan, atau bagaimana potensi interaksinya dengan topik yang lain.

Pengkajian keselamatan merupakan bidang pekerjaan yang harus dilakukan baik oleh badan pengawas maupun industri nuklir. Pengkajian keselamatan ini lebih lanjut juga dapat dibedakan atas keselamatan nuklir dan keselamatan radiasi. Yang dimaksud dengan keselamatan radiasi disini tidak hanya terkait dengan upaya untuk menghindari bahaya yang berasal dari sumber radiasi, namun juga upaya untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi. Kegiatan keselamatan radiasi yang terakhir ini disebut juga sebagai proteksi radiasi.

Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) merupakan lembaga pemerintah yang salah satu tugasnya adalah melaksanakan penelitian dan pengembangan dalam skala nasional di bidang proteksi radiasi. Oleh karena itu, BATAN dipandang sebagai layak untuk menjadi OPT di bidang proteksi radiasi. Pandangan ini juga dikuatkan oleh pernyataan Antariksawan^[2] bahwa BATAN telah disiapkan untuk memainkan peranan sebagai OPT untuk baik badan pengawas maupun operator PLTN.

Makalah ini secara singkat akan membahas tantangan dan peluang yang akan dihadapi BATAN

sekiranya lembaga pemerintah non kementerian ini ditunjuk sebagai OPT di bidang proteksi radiasi. Pembahasan akan meliputi periode sejak konsep desain hingga dilakukannya dekomisioning terhadap PLTN.

TUJUAN KESELAMATAN

PLTN bukan satu-satunya sumber bagi dosis radiasi yang diterima oleh manusia dan lingkungannya. Pada dasarnya, manusia dan lingkungannya tersebut terus menerus menerima dosis radiasi yang berasal dari bahan yang dikandung bebatuan di lapisan bumi dan dari pajanan yang berasal dari sinar kosmik. Oleh karena itu, tujuan proteksi radiasi tidak bersifat khusus untuk PLTN, namun untuk semua fasilitas dan kegiatan yang melibatkan pemanfaatan sumber radiasi dan bahan nuklir.

Di masa lalu, IAEA membedakan tujuan proteksi radiasi dengan tujuan keselamatan nuklir^[3]. Namun, saat ini IAEA hanya memiliki satu tujuan pokok keselamatan untuk semua fasilitas dan kegiatan radiasi atau nuklir, yaitu untuk melindungi manusia dan lingkungannya dari efek radiasi pengion yang berbahaya^[4].

Tujuan pokok keselamatan di atas harus dapat dicapai tanpa membatasi operasi suatu fasilitas atau kegiatan yang membangkitkan risiko radiasi. Untuk menjamin bahwa fasilitas dan kegiatan tetap dioperasikan dan dijalankan dengan standar keselamatan yang tinggi, beberapa tindakan harus dilakukan dengan maksud untuk:

- mengendalikan pajanan radiasi ke manusia dan pelepasan bahan radioaktif ke lingkungan;
- membatasi kemungkinan kejadian yang dapat mengakibatkan hilangnya kendali terhadap teras reaktor nuklir, reaksi berantai nuklir, sumber radioaktif atau sumber radiasi yang lain; dan
- mengurangi konsekuensi sekiranya kejadian di atas terjadi.

PROTEKSI RADIASI PADA TAHAP DESAIN

Berbagai sumber yang dapat mengakibatkan terjadinya pajanan radiasi pada saat operasi normal dan dekomisioning PLTN sudah harus diketahui pada saat desain dibuat. Sumber pajanan radiasi tersebut adalah teras dan bejana reaktor, pendingin reaktor dan sistem moderator fluida; sistem uap dan turbin, sistem penanganan limbah, bahan bakar teriradiasi, gudang bahan bakar baru, fasilitas dekontaminasi, dan berbagai sumber lain seperti sumber tertutup yang digunakan untuk pengujian tak rusak^[5].

Sumber pajanan radiasi pada kondisi kecelakaan juga harus diperhitungkan pada tahap

desain. Sumber utama pajanan radiasi adalah produk fisi yang terlepas baik dari elemen bakar maupun dari berbagai sistem dan peralatan yang mengandung bahan radioaktif.

Dua prinsip utama proteksi radiasi harus digunakan dalam tahap desain, yaitu menjaga agar dosis radiasi yang diterima pekerja dan masyarakat umum tidak melebihi nilai batas dosis yang ditentukan, dan dosis radiasi tersebut juga harus dijaga serendah mungkin yang dapat dicapai. Kepatuhan terhadap prinsip pertama dapat ditunjukkan dengan membandingkan dosis radiasi terhitung dengan nilai batas dosis yang ada, sementara prinsip kedua dapat dipenuhi melalui proses optimisasi dengan memperhitungkan semua biaya yang diperlukan untuk memperoleh tingkat keselamatan yang diinginkan.

Untuk dapat memenuhi kedua prinsip proteksi radiasi ini maka beberapa upaya yang dapat dilakukan adalah dengan ^[6]:

- a. merancang letak dan perisai struktur, sistem dan komponen yang mengandung bahan radioaktif secara tepat;
- b. memberikan perhatian pada desain bangunan dan peralatan agar dapat meminimalkan jumlah dan lamanya kegiatan pekerja di medan radiasi dan mengurangi terjadinya kontaminasi pada pekerja;
- c. membuat ketentuan untuk perlakuan terhadap bahan radioaktif, baik untuk pembuangannya, penyimpanan pada tapak atau pemindahannya dari tapak; dan
- d. menyusun upaya untuk mengurangi kuantitas dan konsentrasi bahan radioaktif yang dihasilkan dan tersebar di dalam bangunan atau terlepas ke lingkungan.

Pertimbangan aspek proteksi radiasi di atas akan menjadi bagian dari suatu laporan analisis keselamatan yang harus disusun sebelum desain PLTN sendiri disampaikan ke badan pengawas. Verifikasi terhadap laporan ini bisa dilakukan oleh OPT.

Untuk dapat mengevaluasi dan memverifikasi isu proteksi radiasi yang terdapat pada laporan analisis keselamatan, OPT harus memiliki spesialis di bidang proteksi radiasi dengan pengetahuan dan kemampuan yang memadai. Ahli di bidang proteksi radiasi paling tidak harus mampu mengevaluasi berbagai sumber pajanan radiasi yang ada di seluruh bangunan PLTN dan dosis radiasi yang dihasilkannya dengan metode analisis dan data dari pengalaman operasi PLTN sejenis, memahami semua kegiatan PLTN yang berakibat terbentuknya bahan radioaktif dan bagaimana pergerakannya mulai di dalam PLTN itu sendiri hingga terlepas ke lingkungan, memahami kegiatan pemeliharaan, inspeksi setempat (*in-service inspection*) dan

pekerjaan lain di daerah radiasi tinggi yang memberikan kontribusi besar pada pajanan radiasi yang diterima pekerja, dan juga memahami semua peraturan perundangan, ketentuan dan pedoman yang berlaku. Pemahaman tentang peraturan dan ketentuan perundangan ini bahkan diperlukan pada setiap tahap selanjutnya.

PROTEKSI RADIASI PADA TAHAP OPERASI

Seperti halnya pada tahap desain, dua prinsip proteksi radiasi tentang nilai batas dosis dan optimisasi juga menjadi pertimbangan utama dalam menyusun upaya proteksi radiasi pada tahap operasi. Untuk memenuhi kedua prinsip ini maka operator PLTN perlu menyusun dan menerapkan suatu program proteksi radiasi.

Program proteksi radiasi harus didasarkan pada analisis keselamatan yang telah disusun dan disetujui sebelumnya oleh badan pengawas, dan paling tidak mengandung beberapa butir berikut ^[7]:

- a. Klasifikasi daerah dan kontrol akses, termasuk informasi lokal tentang laju dosis dan tingkat kontaminasi aktual;
- b. Kerjasama dalam menetapkan prosedur operasi dan pemeliharaan jika diperkirakan akan terjadi bahaya radiasi, dan menyediakan bantuan langsung jika diperlukan;
- c. Instrumentasi dan peralatan pemantauan;
- d. Peralatan untuk proteksi personil;
- e. Pemantauan dan survei radiasi daerah kerja;
- f. Dekontaminasi personil, peralatan dan struktur;
- g. Pengawasan dan pemantauan radioaktivitas lingkungan;
- h. Pengendalian bahan radioaktif, termasuk transfer dan pembuangan limbah radioaktif padat;
- i. Pengendalian dan pemantauan pelepasan radioaktif berbentuk gas dan cair.

Program proteksi radiasi juga perlu dievaluasi dan diverifikasi sebagai bagian dari upaya pengawasan keselamatan terhadap operasi PLTN yang dilaksanakan. Untuk ini maka spesialis proteksi radiasi yang ada di OPT harus memiliki keahlian pada proteksi radiasi operasional di daerah kerja, memiliki pengetahuan yang mendalam mengenai perpindahan radioaktif yang terlepas dari PLTN ke berbagai komponen lingkungan, memiliki keahlian dalam mengelola keadaan darurat radiasi, dan memiliki keahlian dalam pengelolaan limbah radioaktif. Pemahaman tentang peraturan perundangan, ketentuan dan pedoman yang berlaku juga perlu dimiliki oleh seorang spesialis proteksi radiasi.

PROTEKSI RADIASI PADA TAHAP DEKOMISIONING

Untuk menunjukkan bahwa prinsip nilai batas dosis dan optimisasi dipenuhi pada tahap dekomisioning, operator PLTN perlu melakukan pengkajian atau analisis keselamatan^[8]. Analisis keselamatan juga dapat digunakan untuk mendukung pemilihan strategi dekomisioning, pengembangan rencana dekomisioning dan kegiatan lain yang terkait yang telah disusun sebelumnya.

Analisis keselamatan untuk dekomisioning harus dilakukan dengan memperhitungkan bahaya yang mungkin terjadi yang dapat membangkitkan paparan radiasi. Upaya ini dimulai dengan melakukan identifikasi terhadap semua sumber bahaya dengan dasar uraian fasilitas dan kegiatan dekomisioning yang akan dilakukan. Semua sumber bahaya tersebut kemudian dikuantifikasi dan ditapis untuk mengarahkan upaya keselamatan hanya pada bahaya yang relevan dan signifikan, dan yang dapat memulai timbulnya kejadian yang tidak diinginkan^[8].

Dalam identifikasi sumber bahaya semua jalur paparan yang potensial harus diperhitungkan. Jalur yang paling nyata adalah paparan eksternal langsung dari bahan radioaktif yang ada, termasuk karena kontaminasi, aktivasi struktur (komponen, gedung, permukaan, dan lain-lain), atau bahan limbah radioaktif. Jalur lain adalah paparan internal akibat inhalasi atau ingesti dari lepasan gas, partikulat atau aerosol ke udara dari pekerjaan pemotongan (thermal maupun mekanik).

Berdasarkan uraian di atas maka spesialis proteksi radiasi yang diutamakan di OPT untuk melakukan verifikasi pada tahap dekomisioning adalah yang memiliki keahlian di proteksi radiasi lingkungan. Namun demikian tidak berarti spesialis proteksi radiasi yang lain tidak berperan. Spesialis dalam pengelolaan limbah radioaktif tetap berperan penting, demikian pula dengan spesialis dalam kedaruratan radiasi.

PEMBAHASAN

Proteksi radiasi pada dasarnya merupakan ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) multi disiplin. Iptek ini berkembang sejak timbul kesadaran bahwa radiasi dapat menimbulkan efek yang berbahaya bagi tubuh manusia. Dengan demikian, biologi radiasi dapat dikatakan sebagai 'ibu iptek proteksi radiasi', sementara ilmu dasar lain seperti fisika dan kimia digunakan untuk membantu dalam mencegah terjadinya efek-efek berbahaya tersebut, atau paling tidak mengurangi kemungkinan terjadinya efek, sewaktu dilakukan kegiatan pemanfaatan radiasi.

Kegiatan proteksi radiasi di Indonesia, atau

dalam hal ini di BATAN, telah dimulai sejak awal pembentukan BATAN itu sendiri pada tahun 1958. Organisasi BATAN yang terus berkembang menyebabkan para spesialis proteksi radiasi di lembaga pemerintah non kementerian ini tersebar di berbagai satuan kerjanya.

Mengikuti tugas utama satuan kerjanya, secara keilmuan para spesialis proteksi radiasi ini juga akan memiliki keahlian yang berbeda satu sama lain. Para spesialis proteksi radiasi yang bekerja di satuan kerja dengan tugas utama menjalankan reaktor riset, misalnya, keahlian mereka akan lebih terasah pada upaya proteksi radiasi yang terkait dengan operasi dan pemeliharaan reaktor. Sementara itu, mereka yang bekerja di instalasi pengolahan limbah radioaktif menjadi lebih ahli di proteksi radiasi terkait limbah radioaktif. Demikian seterusnya hal yang sama berlaku untuk mereka yang bekerja di satuan kerja dengan tugas utama di bidang bahan bakar nuklir, geologi nuklir, radioisotop dan radiofarmaka, dan aplikasi isotop dan radiasi.

Sebagaimana telah diuraikan di atas, aspek proteksi radiasi yang terkait dengan PLTN ternyata melibatkan banyak keahlian proteksi radiasi. Hal ini merupakan peluang bagi para spesialis proteksi radiasi untuk dapat menerapkan keahliannya dalam melakukan verifikasi terhadap kegiatan terkait proteksi radiasi tersebut. Namun demikian, hal ini juga merupakan tantangan karena akan merupakan pengalaman pertama bagi para spesialis proteksi radiasi untuk menangani pekerjaan yang besar dan sangat rumit di dalam sistem PLTN.

Mengingat spesialis proteksi radiasi di BATAN telah memiliki keahlian masing-masing sesuai dengan bidang tugas satuan kerjanya, maka jika BATAN akan bertindak sebagai OPT di bidang proteksi radiasi, segenap potensi keahlian proteksi radiasi yang terserak di berbagai satuan kerja tersebut perlu dihimpun dalam suatu wadah tersendiri. Dengan kata lain, peranan BATAN sebagai OPT di bidang proteksi radiasi tidak dapat dilakukan hanya oleh salah satu satuan kerja yang ada di dalamnya, namun harus dilakukan oleh suatu tim yang anggotanya merupakan gabungan dari para spesialis yang bekerja di berbagai satuan kerja yang ada di lingkungan BATAN.

KESIMPULAN

Proteksi radiasi merupakan salah satu aspek penting dalam seluruh kegiatan PLTN, sejak konsep desain hingga dilakukannya dekomisioning. Mengingat sifat pekerjaan proteksi radiasi yang sangat luas, baik badan pengawas maupun operator PLTN diperkirakan akan memerlukan suatu OPT di bidang proteksi radiasi ini. BATAN merupakan suatu

lembaga yang telah lama berkecimpung dalam proteksi radiasi yang dapat berfungsi sebagai OPT dimaksud. Pekerjaan OPT ini akan menjadi peluang untuk menerapkan keahlian para spesialis proteksi radiasi, sekaligus tantangan karena merupakan pengalaman pertama dalam menangani proyek sebesar dan serumit PLTN. Namun demikian, para spesialis proteksi radiasi yang dimiliki BATAN diyakini akan siap berhimpun untuk melaksanakan tugas sebagai OPT ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Govaerts, P., Lead-in Presentation: Roles, Functions and Value of TSOs (Proc. Int. Conf. on the Challenges Faced by Technical and Scientific Support Organizations in Enhancing Nuclear Safety, 2007), IAEA, Vienna (2007) 49-54.
2. Antariksawan, Anhar R. Concept of Technical Support Organization for Nuclear Activities in Indonesia, (Int.Conf. on the Challenges Faced by Technical and Scientific Support Organizations in Enhancing Nuclear Safety, Contributed Paper, IAEA-CN-142, 2007), IAEA, Vienna (2007) 63-68.
3. IAEA, "The Safety of Nuclear Installations" (Safety Series No.110), IAEA, Vienna (1993).
4. IAEA, "Fundamental Safety Principles" (Safety Fundamentals No. SF-1), IAEA, Vienna (2006).
5. IAEA, "Radiation Protection Aspects of Design for Nuclear Power Plants" (Safety Standard Series No. NS-G-1.13), IAEA, Vienna (2005).
6. IAEA, "Safety of Nuclear Power Plants: Design" (Safety Standard Series No. NS-R-1), IAEA, Vienna (2000).
7. IAEA, "Safety of Nuclear Power Plants: Operation" ((Safety Standard Series No. NS-R-2), IAEA, Vienna (2000).
8. IAEA, "Safety Assessment for the Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material" ((Safety Standard Series No. WS-G-5.2), IAEA, Vienna (2008).

PELUANG DAN TANTANGAN BATAN SEBAGAI ORGANISASI PENDUKUNG TEKNIS DI BIDANG PROTEKSI RADIASI

Eri Hiswara

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi BATAN
Jalan Lebak Bulus Raya No.49, Kotak Pos 7043 JKSKL, Jakarta Selatan 12070

Abstrak

PELUANG DAN TANTANGAN BATAN SEBAGAI ORGANISASI PENDUKUNG TEKNIS DI BIDANG PROTEKSI RADIASI. Organisasi Pendukung Teknis (OPT) merupakan suatu organisasi yang diposisikan sebagai pendukung teknis dan ilmiah dalam pembangunan dan pengoperasian suatu Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Salah satu aspek penting dalam seluruh kegiatan PLTN ini adalah proteksi radiasi. Mengingat sifat pekerjaan proteksi radiasi yang sangat luas, baik badan pengawas maupun operator PLTN diperkirakan akan memerlukan suatu OPT di bidang proteksi radiasi ini. Luasnya pekerjaan proteksi radiasi ini juga merupakan peluang sekaligus tantangan bagi para spesialis proteksi radiasi untuk dapat melakukan verifikasi terhadap kegiatan terkait proteksi radiasi pada suatu PLTN. BATAN sebagai suatu lembaga yang telah lama berkecimpung dalam proteksi radiasi yang dapat berfungsi sebagai OPT dimaksud. Para spesialis proteksi radiasi yang dimiliki BATAN akan siap berhimpun untuk melaksanakan tugas sebagai OPT di bidang proteksi radiasi ini.

Kata kunci: PLTN, OPT, proteksi radiasi, BATAN

Abstract

OPPORTUNITIES AND CHALLENGES OF BATAN AS TECHNICAL SUPPORT ORGANIZATION IN RADIATION PROTECTION. Technical Support Organization (TSO) is an organization positioned as technical and scientific supporter in the development and operation of a Nuclear Power Plant (NPP). One important aspect in every NPP's activity is radiation protection. Considering the nature of work of radiation protection which is very broad, the TSO in radiation protection is needed by both regulatory body and NPP's operator. The wide-scale works in radiation protection are also considered as opportunities as well challenges for radiation protection specialists to verify the radiation protection related activities in NPP. BATAN as an institution which has many years of experiences in radiation protection can be functioned as the said TSO. All of radiation protection specialists in BATAN will be ready to gather to carry out the work as the TSO in radiation protection.

Keywords: NPP, TSO, radiation protection, BATAN

PENDAHULUAN

Organisasi Pendukung Teknis (OPT) merupakan suatu organisasi yang diposisikan sebagai pendukung teknis dan ilmiah dalam pembangunan dan pengoperasian suatu Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN). Ruang lingkup pekerjaan OPT sangat luas, dan bergantung pada setiap negara

untuk merumuskannya. Namun demikian, Govaerts^[1] menyatakan bahwa OPT dapat mendukung pekerjaan baik badan pengawas maupun industri nuklir sebagai operator atau pemegang izin.

Pekerjaan badan pengawas dalam kaitannya dengan PLTN secara umum dapat dibedakan atas penerbitan izin, dengan segala aspek yang terkait, dan pengkajian keselamatannya. Untuk melaksanakan pekerjaannya ini badan pengawas

kemungkinan dapat melakukannya sendiri, dengan kemampuan teknis dan ilmiah yang dimilikinya. Namun, pada saat ini sangat sulit untuk memiliki seorang ahli di setiap bidang teknologi nuklir yang terus berkembang dan menghimpunnya dalam satu institusi tersendiri, sehingga di banyak negara badan pengawasnya memilih untuk mencari bantuan dan dukungan teknis dari luar institusinya.

Di lain pihak, industri nuklir juga memiliki keterbatasan yang sama dengan badan pengawas. Mereka tidak memiliki ahli yang cukup untuk dapat meliputi semua bidang teknologi nuklir yang menjadi pekerjaannya. Untuk ini maka industri nuklir memerlukan dukungan teknis dari luar, yang bisa diberikan oleh suatu OPT.

Kegiatan OPT yang mendukung industri nuklir pada dasarnya hampir sama dengan kegiatannya yang mendukung badan pengawas. Namun, penekanannya bukan hanya pada memecahkan masalah, melainkan juga pada pengajuan usulan untuk memecahkan masalah tersebut.

Di banyak negara, OPT bisa berasal dari perguruan tinggi, institusi nuklir lain, atau bahkan konsultan untuk isu-isu seperti sumber daya manusia atau manajemen. Saat meminta bantuan OPT, baik badan pengawas maupun industri nuklir harus dapat dengan jelas menentukan apa kebutuhan mereka, topik apa yang harus dipelajari dan diselidiki, seberapa besar pentingnya bagi keselamatan, atau bagaimana potensi interaksinya dengan topik yang lain.

Pengkajian keselamatan merupakan bidang pekerjaan yang harus dilakukan baik oleh badan pengawas maupun industri nuklir. Pengkajian keselamatan ini lebih lanjut juga dapat dibedakan atas keselamatan nuklir dan keselamatan radiasi. Yang dimaksud dengan keselamatan radiasi disini tidak hanya terkait dengan upaya untuk menghindari bahaya yang berasal dari sumber radiasi, namun juga upaya untuk melindungi pekerja, anggota masyarakat dan lingkungan hidup dari bahaya radiasi. Kegiatan keselamatan radiasi yang terakhir ini disebut juga sebagai proteksi radiasi.

Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) merupakan lembaga pemerintah yang salah satu tugasnya adalah melaksanakan penelitian dan pengembangan dalam skala nasional di bidang proteksi radiasi. Oleh karena itu, BATAN dipandang sebagai layak untuk menjadi OPT di bidang proteksi radiasi. Pandangan ini juga dikuatkan oleh pernyataan Antariksawan^[2] bahwa BATAN telah disiapkan untuk memainkan peranan sebagai OPT untuk baik badan pengawas maupun operator PLTN.

Makalah ini secara singkat akan membahas tantangan dan peluang yang akan dihadapi BATAN

sekiranya lembaga pemerintah non kementerian ini ditunjuk sebagai OPT di bidang proteksi radiasi. Pembahasan akan meliputi periode sejak konsep desain hingga dilakukannya dekomisioning terhadap PLTN.

TUJUAN KESELAMATAN

PLTN bukan satu-satunya sumber bagi dosis radiasi yang diterima oleh manusia dan lingkungannya. Pada dasarnya, manusia dan lingkungannya tersebut terus menerus menerima dosis radiasi yang berasal dari bahan yang dikandung bebatuan di lapisan bumi dan dari pajanan yang berasal dari sinar kosmik. Oleh karena itu, tujuan proteksi radiasi tidak bersifat khusus untuk PLTN, namun untuk semua fasilitas dan kegiatan yang melibatkan pemanfaatan sumber radiasi dan bahan nuklir.

Di masa lalu, IAEA membedakan tujuan proteksi radiasi dengan tujuan keselamatan nuklir^[3]. Namun, saat ini IAEA hanya memiliki satu tujuan pokok keselamatan untuk semua fasilitas dan kegiatan radiasi atau nuklir, yaitu untuk melindungi manusia dan lingkungannya dari efek radiasi pengion yang berbahaya^[4].

Tujuan pokok keselamatan di atas harus dapat dicapai tanpa membatasi operasi suatu fasilitas atau kegiatan yang membangkitkan risiko radiasi. Untuk menjamin bahwa fasilitas dan kegiatan tetap dioperasikan dan dijalankan dengan standar keselamatan yang tinggi, beberapa tindakan harus dilakukan dengan maksud untuk:

- mengendalikan pajanan radiasi ke manusia dan pelepasan bahan radioaktif ke lingkungan;
- membatasi kemungkinan kejadian yang dapat mengakibatkan hilangnya kendali terhadap teras reaktor nuklir, reaksi berantai nuklir, sumber radioaktif atau sumber radiasi yang lain; dan
- mengurangi konsekuensi sekiranya kejadian di atas terjadi.

PROTEKSI RADIASI PADA TAHAP DESAIN

Berbagai sumber yang dapat mengakibatkan terjadinya pajanan radiasi pada saat operasi normal dan dekomisioning PLTN sudah harus diketahui pada saat desain dibuat. Sumber pajanan radiasi tersebut adalah teras dan bejana reaktor, pendingin reaktor dan sistem moderator fluida; sistem uap dan turbin, sistem penanganan limbah, bahan bakar teriradiasi, gudang bahan bakar baru, fasilitas dekontaminasi, dan berbagai sumber lain seperti sumber tertutup yang digunakan untuk pengujian tak rusak^[5].

Sumber pajanan radiasi pada kondisi kecelakaan juga harus diperhitungkan pada tahap

desain. Sumber utama pajanan radiasi adalah produk fisi yang terlepas baik dari elemen bakar maupun dari berbagai sistem dan peralatan yang mengandung bahan radioaktif.

Dua prinsip utama proteksi radiasi harus digunakan dalam tahap desain, yaitu menjaga agar dosis radiasi yang diterima pekerja dan masyarakat umum tidak melebihi nilai batas dosis yang ditentukan, dan dosis radiasi tersebut juga harus dijaga serendah mungkin yang dapat dicapai. Kepatuhan terhadap prinsip pertama dapat ditunjukkan dengan membandingkan dosis radiasi terhitung dengan nilai batas dosis yang ada, sementara prinsip kedua dapat dipenuhi melalui proses optimisasi dengan memperhitungkan semua biaya yang diperlukan untuk memperoleh tingkat keselamatan yang diinginkan.

Untuk dapat memenuhi kedua prinsip proteksi radiasi ini maka beberapa upaya yang dapat dilakukan adalah dengan ^[6]:

- a. merancang letak dan perisai struktur, sistem dan komponen yang mengandung bahan radioaktif secara tepat;
- b. memberikan perhatian pada desain bangunan dan peralatan agar dapat meminimalkan jumlah dan lamanya kegiatan pekerja di medan radiasi dan mengurangi terjadinya kontaminasi pada pekerja;
- c. membuat ketentuan untuk perlakuan terhadap bahan radioaktif, baik untuk pembuangannya, penyimpanan pada tapak atau pemindahannya dari tapak; dan
- d. menyusun upaya untuk mengurangi kuantitas dan konsentrasi bahan radioaktif yang dihasilkan dan tersebar di dalam bangunan atau terlepas ke lingkungan.

Pertimbangan aspek proteksi radiasi di atas akan menjadi bagian dari suatu laporan analisis keselamatan yang harus disusun sebelum desain PLTN sendiri disampaikan ke badan pengawas. Verifikasi terhadap laporan ini bisa dilakukan oleh OPT.

Untuk dapat mengevaluasi dan memverifikasi isu proteksi radiasi yang terdapat pada laporan analisis keselamatan, OPT harus memiliki spesialis di bidang proteksi radiasi dengan pengetahuan dan kemampuan yang memadai. Ahli di bidang proteksi radiasi paling tidak harus mampu mengevaluasi berbagai sumber pajanan radiasi yang ada di seluruh bangunan PLTN dan dosis radiasi yang dihasilkannya dengan metode analisis dan data dari pengalaman operasi PLTN sejenis, memahami semua kegiatan PLTN yang berakibat terbentuknya bahan radioaktif dan bagaimana pergerakannya mulai di dalam PLTN itu sendiri hingga terlepas ke lingkungan, memahami kegiatan pemeliharaan, inspeksi setempat (*in-service inspection*) dan

pekerjaan lain di daerah radiasi tinggi yang memberikan kontribusi besar pada pajanan radiasi yang diterima pekerja, dan juga memahami semua peraturan perundangan, ketentuan dan pedoman yang berlaku. Pemahaman tentang peraturan dan ketentuan perundangan ini bahkan diperlukan pada setiap tahap selanjutnya.

PROTEKSI RADIASI PADA TAHAP OPERASI

Seperti halnya pada tahap desain, dua prinsip proteksi radiasi tentang nilai batas dosis dan optimisasi juga menjadi pertimbangan utama dalam menyusun upaya proteksi radiasi pada tahap operasi. Untuk memenuhi kedua prinsip ini maka operator PLTN perlu menyusun dan menerapkan suatu program proteksi radiasi.

Program proteksi radiasi harus didasarkan pada analisis keselamatan yang telah disusun dan disetujui sebelumnya oleh badan pengawas, dan paling tidak mengandung beberapa butir berikut ^[7]:

- a. Klasifikasi daerah dan kontrol akses, termasuk informasi lokal tentang laju dosis dan tingkat kontaminasi aktual;
- b. Kerjasama dalam menetapkan prosedur operasi dan pemeliharaan jika diperkirakan akan terjadi bahaya radiasi, dan menyediakan bantuan langsung jika diperlukan;
- c. Instrumentasi dan peralatan pemantauan;
- d. Peralatan untuk proteksi personil;
- e. Pemantauan dan survei radiasi daerah kerja;
- f. Dekontaminasi personil, peralatan dan struktur;
- g. Pengawasan dan pemantauan radioaktivitas lingkungan;
- h. Pengendalian bahan radioaktif, termasuk transfer dan pembuangan limbah radioaktif padat;
- i. Pengendalian dan pemantauan pelepasan radioaktif berbentuk gas dan cair.

Program proteksi radiasi juga perlu dievaluasi dan diverifikasi sebagai bagian dari upaya pengawasan keselamatan terhadap operasi PLTN yang dilaksanakan. Untuk ini maka spesialis proteksi radiasi yang ada di OPT harus memiliki keahlian pada proteksi radiasi operasional di daerah kerja, memiliki pengetahuan yang mendalam mengenai perpindahan radioaktif yang terlepas dari PLTN ke berbagai komponen lingkungan, memiliki keahlian dalam mengelola keadaan darurat radiasi, dan memiliki keahlian dalam pengelolaan limbah radioaktif. Pemahaman tentang peraturan perundangan, ketentuan dan pedoman yang berlaku juga perlu dimiliki oleh seorang spesialis proteksi radiasi.

PROTEKSI RADIASI PADA TAHAP DEKOMISIONING

Untuk menunjukkan bahwa prinsip nilai batas dosis dan optimisasi dipenuhi pada tahap dekomisioning, operator PLTN perlu melakukan pengkajian atau analisis keselamatan^[8]. Analisis keselamatan juga dapat digunakan untuk mendukung pemilihan strategi dekomisioning, pengembangan rencana dekomisioning dan kegiatan lain yang terkait yang telah disusun sebelumnya.

Analisis keselamatan untuk dekomisioning harus dilakukan dengan memperhitungkan bahaya yang mungkin terjadi yang dapat membangkitkan paparan radiasi. Upaya ini dimulai dengan melakukan identifikasi terhadap semua sumber bahaya dengan dasar uraian fasilitas dan kegiatan dekomisioning yang akan dilakukan. Semua sumber bahaya tersebut kemudian dikuantifikasi dan ditapis untuk mengarahkan upaya keselamatan hanya pada bahaya yang relevan dan signifikan, dan yang dapat memulai timbulnya kejadian yang tidak diinginkan^[8].

Dalam identifikasi sumber bahaya semua jalur paparan yang potensial harus diperhitungkan. Jalur yang paling nyata adalah paparan eksternal langsung dari bahan radioaktif yang ada, termasuk karena kontaminasi, aktivasi struktur (komponen, gedung, permukaan, dan lain-lain), atau bahan limbah radioaktif. Jalur lain adalah paparan internal akibat inhalasi atau ingesti dari lepasan gas, partikulat atau aerosol ke udara dari pekerjaan pemotongan (thermal maupun mekanik).

Berdasarkan uraian di atas maka spesialis proteksi radiasi yang diutamakan di OPT untuk melakukan verifikasi pada tahap dekomisioning adalah yang memiliki keahlian di proteksi radiasi lingkungan. Namun demikian tidak berarti spesialis proteksi radiasi yang lain tidak berperan. Spesialis dalam pengelolaan limbah radioaktif tetap berperan penting, demikian pula dengan spesialis dalam kedaruratan radiasi.

PEMBAHASAN

Proteksi radiasi pada dasarnya merupakan ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) multi disiplin. Iptek ini berkembang sejak timbul kesadaran bahwa radiasi dapat menimbulkan efek yang berbahaya bagi tubuh manusia. Dengan demikian, biologi radiasi dapat dikatakan sebagai 'ibu iptek proteksi radiasi', sementara ilmu dasar lain seperti fisika dan kimia digunakan untuk membantu dalam mencegah terjadinya efek-efek berbahaya tersebut, atau paling tidak mengurangi kemungkinan terjadinya efek, sewaktu dilakukan kegiatan pemanfaatan radiasi.

Kegiatan proteksi radiasi di Indonesia, atau

dalam hal ini di BATAN, telah dimulai sejak awal pembentukan BATAN itu sendiri pada tahun 1958. Organisasi BATAN yang terus berkembang menyebabkan para spesialis proteksi radiasi di lembaga pemerintah non kementerian ini tersebar di berbagai satuan kerjanya.

Mengikuti tugas utama satuan kerjanya, secara keilmuan para spesialis proteksi radiasi ini juga akan memiliki keahlian yang berbeda satu sama lain. Para spesialis proteksi radiasi yang bekerja di satuan kerja dengan tugas utama menjalankan reaktor riset, misalnya, keahlian mereka akan lebih terasah pada upaya proteksi radiasi yang terkait dengan operasi dan pemeliharaan reaktor. Sementara itu, mereka yang bekerja di instalasi pengolahan limbah radioaktif menjadi lebih ahli di proteksi radiasi terkait limbah radioaktif. Demikian seterusnya hal yang sama berlaku untuk mereka yang bekerja di satuan kerja dengan tugas utama di bidang bahan bakar nuklir, geologi nuklir, radioisotop dan radiofarmaka, dan aplikasi isotop dan radiasi.

Sebagaimana telah diuraikan di atas, aspek proteksi radiasi yang terkait dengan PLTN ternyata melibatkan banyak keahlian proteksi radiasi. Hal ini merupakan peluang bagi para spesialis proteksi radiasi untuk dapat menerapkan keahliannya dalam melakukan verifikasi terhadap kegiatan terkait proteksi radiasi tersebut. Namun demikian, hal ini juga merupakan tantangan karena akan merupakan pengalaman pertama bagi para spesialis proteksi radiasi untuk menangani pekerjaan yang besar dan sangat rumit di dalam sistem PLTN.

Mengingat spesialis proteksi radiasi di BATAN telah memiliki keahlian masing-masing sesuai dengan bidang tugas satuan kerjanya, maka jika BATAN akan bertindak sebagai OPT di bidang proteksi radiasi, segenap potensi keahlian proteksi radiasi yang terserak di berbagai satuan kerja tersebut perlu dihimpun dalam suatu wadah tersendiri. Dengan kata lain, peranan BATAN sebagai OPT di bidang proteksi radiasi tidak dapat dilakukan hanya oleh salah satu satuan kerja yang ada di dalamnya, namun harus dilakukan oleh suatu tim yang anggotanya merupakan gabungan dari para spesialis yang bekerja di berbagai satuan kerja yang ada di lingkungan BATAN.

KESIMPULAN

Proteksi radiasi merupakan salah satu aspek penting dalam seluruh kegiatan PLTN, sejak konsep desain hingga dilakukannya dekomisioning. Mengingat sifat pekerjaan proteksi radiasi yang sangat luas, baik badan pengawas maupun operator PLTN diperkirakan akan memerlukan suatu OPT di bidang proteksi radiasi ini. BATAN merupakan suatu

lembaga yang telah lama berkecimpung dalam proteksi radiasi yang dapat berfungsi sebagai OPT dimaksud. Pekerjaan OPT ini akan menjadi peluang untuk menerapkan keahlian para spesialis proteksi radiasi, sekaligus tantangan karena merupakan pengalaman pertama dalam menangani proyek sebesar dan serumit PLTN. Namun demikian, para spesialis proteksi radiasi yang dimiliki BATAN diyakini akan siap berhimpun untuk melaksanakan tugas sebagai OPT ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Govaerts, P., Lead-in Presentation: Roles, Functions and Value of TSOs (Proc. Int. Conf. on the Challenges Faced by Technical and Scientific Support Organizations in Enhancing Nuclear Safety, 2007), IAEA, Vienna (2007) 49-54.
2. Antariksawan, Anhar R. Concept of Technical Support Organization for Nuclear Activities in Indonesia, (Int.Conf. on the Challenges Faced by Technical and Scientific Support Organizations in Enhancing Nuclear Safety, Contributed Paper, IAEA-CN-142, 2007), IAEA, Vienna (2007) 63-68.
3. IAEA, "The Safety of Nuclear Installations" (Safety Series No.110), IAEA, Vienna (1993).
4. IAEA, "Fundamental Safety Principles" (Safety Fundamentals No. SF-1), IAEA, Vienna (2006).
5. IAEA, "Radiation Protection Aspects of Design for Nuclear Power Plants" (Safety Standard Series No. NS-G-1.13), IAEA, Vienna (2005).
6. IAEA, "Safety of Nuclear Power Plants: Design" (Safety Standard Series No. NS-R-1), IAEA, Vienna (2000).
7. IAEA, "Safety of Nuclear Power Plants: Operation" ((Safety Standard Series No. NS-R-2), IAEA, Vienna (2000).
8. IAEA, "Safety Assessment for the Decommissioning of Facilities Using Radioactive Material" ((Safety Standard Series No. WS-G-5.2), IAEA, Vienna (2008).

