



ISSN 1410-6086

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH XIII TAHUN 2015

Tema :
*“Penguasaan Teknologi Pengelolaan Limbah untuk Mendukung
Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan Menuju Kesejahteraan
Bangsa”*



Diselenggarakan pada :
Selasa, 29 September 2015
di Gaha Widya Bhakti
PUSPIPTEK Tangerang Selatan, Banten

Diterbitkan pada :
30 Desember 2015



Seminar Nasional Teknologi Limbah XIII

Sekretariat :
Gd. 50, PTLR-BATAN, Kawasan Puspipstek Setu, Tangerang Selatan, 15310
Telp. (021) 7563142, Fax (021) 7560927
Website : www.batan.go.id/seminarlimbah

PROSIDING SEMINAR NASIONAL
TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH XIII

2015



PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas karunia-Nya Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIII dapat diterbitkan. Seminar dengan tema "Penguasaan Teknologi Pengelolaan Limbah untuk Mendukung Pemanfaatan Energi Baru dan Terbarukan Menuju Kesejahteraan Bangsa", telah dilaksanakan pada tanggal 29 Oktober 2015 di Gedung Graha Widya Bhakti, Kawasan PUSPIPTEK Serpong – Tangerang.

Seminar ini diselenggarakan sebagai media sosialisasi hasil penelitian di bidang pengelolaan limbah radioaktif dan non radioaktif. Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIII dijadikan sebagai media tukar menukar informasi dan pengalaman, ajang diskusi ilmiah, peningkatan kemitraan di antara peneliti dengan praktisi, penimbul dengan pengelola limbah, mempertajam visi pembuat kebijakan dan pengambil keputusan, serta peningkatan kesadaran kolektif terhadap pentingnya pengelolaan limbah yang handal.

Prosiding ini memuat karya tulis dari berbagai hasil penelitian mengenai pengelolaan limbah radioaktif, industri dan lingkungan. Dalam seminar ini disajikan 45 makalah dalam bentuk poster dari para peneliti di lingkungan BATAN, BPPT, LIPI, SMPN 7 Bojonegoro, UNTAN dan Rumah Sakit Siloam. Makalah yang diterbitkan dalam prosiding ini sudah melalui proses editing dari para editor. Prosiding ini diterbitkan dalam bentuk buku dan CD.

Semoga penerbitan prosiding ini dapat digunakan sebagai data sekunder dalam pengembangan penelitian di masa akan datang, serta dijadikan bahan acuan dalam pengelolaan limbah. Akhir kata kepada semua pihak yang telah membantu, kami ucapkan terima kasih.

Serpong, 30 Desember 2015
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif
Kepala,

Ir. Suryantoro, MT

SUSUNAN TIM EDITOR

Ketua	:	Dr. Budi Setiawan	- BATAN
Anggota	:	1. Drs. Gunandjar, SU	- BATAN
		2. Ir. Aisyah, MT	- BATAN
		3. Kuat Heriyanto, ST	- BATAN
		4. Dr. Heny Suseno, S.Si, M.Si	- BATAN
		5. Dr. Sigit Santoso	- BATAN
		6. Dr. Erlan Rosyadi	- BPPT
		7. Dr. Tamzil Las	- UIN Syarif Hidayatullah

SUSUNAN PANITIA

Pengarah

Pembina : Dr. Djarot Sulistio Wisnubroto - BATAN

Penanggung Jawab : Ir. Suryantoro, MT - BATAN

Penyelenggara

Ketua : Gustri Nurlianti, S.Si, M.Si - BATAN

Wakil Ketua : Nurul Efri Ekaningrum, S.ST - BATAN

Sekretaris : Enggartati Budhi Hendarti, A.Md - BATAN

Mirawaty. S.Si - BATAN

Anggota : 1. Anna Triyana, A.Md - BATAN

2. Mas Udi, S.ST - BATAN

3. Endang Nuraeni, ST - BATAN

4. Yuli Purwanto, A. Md - BATAN

5. Sugianto, ST - BATAN

6. Siswanto - BATAN

7. Budi Arisanto, A.Md - BATAN

8. Adi Wijayanto, A.Md - BATAN

9. Siti Silaturohmi - BATAN

10. Imam Sasmito - BATAN

11. Ajrieh Setyawan, S.ST - BATAN

12. Parjono, ST - BATAN

13. Sariyadi - BATAN

14. Moh. Cecep Cepi Hikmat, S.ST - BATAN

15. Suparno, A.Md - BATAN

16. Drs. Hendro - BATAN

17. Sunardi, ST - BATAN

18. Ir. Eko Madi Parmanto - BATAN

19. Jamilah Hanum, S.IP - BATAN

20. Ade Rustiadam, S.ST - BATAN

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
SUSUNAN TIM EDITOR	ii
SUSUNAN PANITIA	iii
DAFTAR ISI	iv
1. Pengkajian Pengelolaan Limbah Radioaktif Reaktor Daya Eksperimental Tipe HTR-10 Zainus Salimin, Endang Nuraeni	1
2. Proyeksi Fasilitas Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Bekas di Pulau Jawa B.Setiawan, E. Nuraeni, H. Sriwahyuni, Mirawaty, D.S. Rahayu, T. Sundari, N. Efriekaningrum, G. Nurliati, H. Zamroni	15
3. Pengolahan Limbah Daur Bahan Bakar Nuklir Yang Mengandung Uranium Menggunakan Resin Penukar Anion Aisyah	21
4. Pengolahan Limbah Cair Simulasi Dari <i>Pressurized Water Reactor</i> Dengan Amonium Zeolit Secara Kontinyu dan Imobilisasi Zeolit Jenuh Menggunakan Polimer Poliester Dwi Luhur Ibnu Saputra, Herlan Martono, Ajrieh Setyawan	29
5. Karakterisasi Limbah Radioaktif Cair Untuk Kesesuaian Proses Evaporasi Sugeng Purnomo, Ajrieh Setyawan, Darmawan Aji	37
6. Pengembangan Teknologi Pengolahan Limbah Cair Dari Industri : Imobilisasi Limbah Radioaktif Thorium Menggunakan Bahan Matriks <i>Synroc</i> Titanat Dengan Proses Sintering Suhu Tinggi Gunandjar, Titik Sundari, Yuli Purwanto	45
7. Imobilisasi Limbah Thorium Dengan Bahan Matriks <i>Synroc Supercalcine Zirkonia Fosfat</i> Mirawaty	57
8. Pengaruh Komposisi dan Radiasi Terhadap Ketahanan Kimia Gelas-Limbah Hasil Vitrifikasi Herlan Martono, Wati	67
9. Penggunaan Data Analisis Paparan Radiasi Untuk Merancang Wadah Limbah Reflektor Dari Reaktor Triga Mark II Mulyono Daryoko , Sutoto, Dwi Luhur Ibnu Saputra	79
10. Kajian Pengolahan Limbah Resin Penukar Ion Dari Proses Aplikasi Nuklir Mirawaty	87
11. Evaluasi Pengelolaan Limbah Radioaktif di Pusat Teknologi Limbah Radioaktif Tahun 2001 s/d 2010 Ayi Muzyawati	99
12. Evaluasi Operasi Unit Evaporasi Untuk Pengolahan Limbah Radioaktif Cair Pada Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif Selama Tahun 2014 Bambang Sugito	107

13.	Studi Pengelolaan Limbah Radioaktif Hasil Dekomisioning di Instalasi Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka Suhaedi Muhammad, Rr.Djarwanti,RPS, Farida Tusafariah	113
14.	Isolasi Dan Seleksi Bakteria Penghasil Biosurfaktan Untuk Pengolahan Air Limbah Hanies Ambarsari, Hsiao Yun Chen	123
15.	Inventarisasi Peralatan Sistem Pendingin Sebagai Studi Optimalisasi Pengelolaan Limbah Dari Dekomisioning Reaktor Kartini Sutoto	133
16.	Studi Karakterisasi <i>Dismantling</i> Program Dekomisioning Reaktor <i>Triga Mark II</i> Bandung Kuat Heriyanto	143
17.	Karakterisasi Tanah Pada Tapak Calon Demo Disposasi Lokasi SP4 di Kawasan Nuklir Serpong Dewi Susilowati, Heru Sriwahyuni	155
18.	Penyiapan Konsep Desain Drainase Fasilitas Disposasi Demo di Kawasan Nuklir Serpong Heru Sriwahyuni, Sucipta	165
19.	Kesiapan Teknologi Pendukung Untuk Keselamatan Fasilitas Disposasi Limbah Radioaktif Sucipta, Arimuladi SP, Dadang S, Hendra AP, Nurul Efri E.	173
20.	Karakterisasi Geofisika Tapak Terpilih Untuk Disposasi Limbah Radioaktif di P. Jawa : Penggunaan Metode Geolistrik di Daerah Kabupaten Serang Dadang Suganda	191
21.	<i>Hazard And Operability Study</i> desain Disposasi Demo Limbah Radioaktif di Tapak Kawasan Nuklir Serpong Moch Romli, Sucipta	199
22.	Studi Penyusunan Dokumen Laporan Analisis Keselamatan (LAK) Fasilitas Disposasi Demo Di Kawasan Nuklir Serpong Nurul Efri Ekaningrum	213
23.	Pembuatan <i>Ca-Montmorillonite</i> dan Koefisien Difusi $^{85}\text{Sr}^{+2}$ Dalam <i>Ca-Montmorillonite</i> Terpadatkan Yuli Purwanto, Jaka Rachmadetin	221
24.	Penentuan Kelompok Kritis Masyarakat Sekitar Kawasan Nuklir Serpong Untuk Lepas Atmosferik Dalam Kondisi Operasi Normal Dengan Pendekatan <i>Representative Person</i> Arif Yuniarto, Syahrir	229
25.	Perbandingan Teknik Interpolasi Linier dan <i>Inverse Distance Weighted</i> Untuk Pemetaan Radioaktivitas Lingkungan Chevy Cahyana	243
26.	Bioakumulasi Logam Berat Pb dan Cd: Menggunakan Tanaman Sebagai Akumulator Dengan dan Tanpa Konsorsia Inokulan Mikroba Berbasis Kompos Radiasi Tri Retno D.L, Yusraini D.I.S, dan Susi Susiyanti	253

27.	Validasi Metode Analisis Beta Dalam Sampel Urin Pekerja Radiasi Ruminta Ginting, Yanni Andriani, Ratih Kusuma P.	267
28.	Implikasi Seifgard Terhadap Limbah Radioaktif dan Bahan Bakar Bekas Endang Susilowati	279
29.	Kajian Perancangan Unit <i>Prefilter</i> Pada Sistem Filtrasi Zona 2 dan 3 Instalasi Pengelolaan Limbah Radioaktif Arifin Istavara	285
30.	Kajian Penentuan Pembatas Dosis Di Kanal Hubung –Instalasi Penyimpanan Sementara Bahan Bakar Nuklir Bekas (KH-IPSB3) L.Kwin Pudjiastuti, Suhartono, Untara	291
31.	Perumusan Kerangka Sasaran Sistem Manajemen K3 OHSAS 18001 Sih Damayanti, Sik Sumaedi, Tri Widiанти, dan Medi Yarmen	299
32.	Penerapan Sistem Akuntansi Limbah Radioaktif Terpadu (SALT) Pada Bidang Kedokteran Nuklir Diagnostik In Vivo Suhaedi Muhammad, Rr.Djarwanti, RPS, Farida Tusafariah	305
33.	Implementasi 5S Untuk Optimasi Keselamatan, Kesehatan Dan Performa Kerja Tri Widiанти, Sih Damayanti, Sik Sumaedi	315
34.	Perancangan dan Perhitungan Sistem Pemipaan Saluran Limbah Cair Dari KH-IPSB3 ke Saluran PBT Titik Sundari, Marhaeni Djoko P, Yhon Irzon, Arifin	325
35.	Pemantauan Tingkat Kebisingan dan Pencahayaan Daerah Kerja Untuk Menunjang K3 di PTLR-BATAN Adi Wijayanto, Arie Budianti, Cecep Cepi Hikmat	333
36.	Upaya Pencegahan Korosi Galvanik Pada Kelongsong Bahan Bakar Nuklir Bekas Di Fasilitas Kanal Hubung – Instalasi Penyimpanan Bahan Bakar Bekas (KH-IPSB3) Endang Nuraeni, Sumarbagiono	341
37.	Karakteristik Radioaktivitas Lepasn Efluen Limbah Cair Pada Operasi PLTN PWR 1000 MWe Nurokhim	351
38.	Teknologi Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga Adi Mulyanto	361
39.	Kajian Pra-Revitalisasi Mesin Pendingin (<i>Chiller</i>) <i>York Ycha 175</i> Pada Fasilitas Instalasi Pengolahan Limbah Radioaktif Budiyono, Parjono, Sugianto	369
40.	Perhitungan Dan Pengurangan Limbah Abu Batubara Produk PLTU Batubara Dalam Rencana Pembangkit 35.000 Mw Rizki Firmansyah Setya Budi, Muhammad Muhyidin Farid	377

- | | | |
|-----|---|-----|
| 41. | Efisiensi Pemilihan Kandungan Uranium Tinggi dan Sulfur Rendah Melalui Analisis Radiometri Pada Bijih Uranium Bm-179 Kalan-Kalbar
Rachmat Sahputra | 385 |
| 42. | Analisis Integrasi ISO 9001 dan ISO 14001
Muh. Azwar Massijaya, Sih Damayanti, Sik Sumaedi, Medi Yarmen | 391 |
| 43. | Pengelolaan Tailing Tambang Timah Menggunakan Tanaman Akar Wangi (<i>Vetiveria zizanioides</i>)
Tuti Suryati , Dominikus H. Akhadi | 403 |
| 44. | Pemanfaatan Teknologi <i>Infrared Thermography</i> Untuk Memantau Distribusi Panas Pada Panel Sistem Penyedia Air Dingin Di Sistem Ventilasi Daerah Radiasi Rendah RSG-GAS
Teguh Sulisty, M. Taufiq | 415 |
| 45. | Manajemen Limbah <i>Gamma Knife</i> [®] <i>Perfexion</i> di Indonesia
Irhas, Elia Soediatmoko, Sammuel Mamesa | 431 |

STUDI KARAKTERISASI *DISMANTLING* PROGRAM DEKOMISIONING REAKTOR *TRIGA MARK II* BANDUNG

Kuat Heriyanto

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN

kuat@batan.go.id

ABSTRAK

STUDI KARAKTERISASI *DISMANTLING* PROGRAM DEKOMISIONING REAKTOR *TRIGA MARK II* BANDUNG. Telah dilakukan studi karakterisasi dismantling program dekomisioning reaktor triga mark II Bandung. Studi dilakukan dengan menggunakan data awal berupa karakteristik komponen reaktor yang teraktivasi. Dari data tersebut diperoleh paparan radiasi pada tiap komponen menggunakan software microshield 7.02. Kemudian berdasarkan jenis material serta dengan memperhatikan paparan radiasi maka dapat dipilih metode dismantling. Hasil perhitungan diperoleh paparan radiasi terbesar adalah $2,610 \times 10^3$ mR/jam. Sedangkan metode dismantling yang dipilih adalah Remote handling tools dan peralatan yang digunakan adalah pemotong metal dan beton.

Kata kunci: *Dismantling*, metode dan paparan radiasi

ABSTRACT

Study of dismantling characterization for decommissioning program reactor triga mark II Bandung. Study of characterization dismantling the TRIGA reactor II decommissioning program II Bandung have been conducted. The study was conducted by using the initial data in the form of the characteristics of the reactor components are activated. The data obtained by the radiation exposure of each component using software microshield 7:02. Then based on the type of material as well as with regard to radiation exposure it may have been dismantling method. The calculation is the largest radiation exposure 2.610×10^3 mR / h. While dismantling the chosen method is Remote handling tools and equipment used are metal and concrete cutters.

Keywords: Dismantling, methods and exposure to radiation

PENDAHULUAN

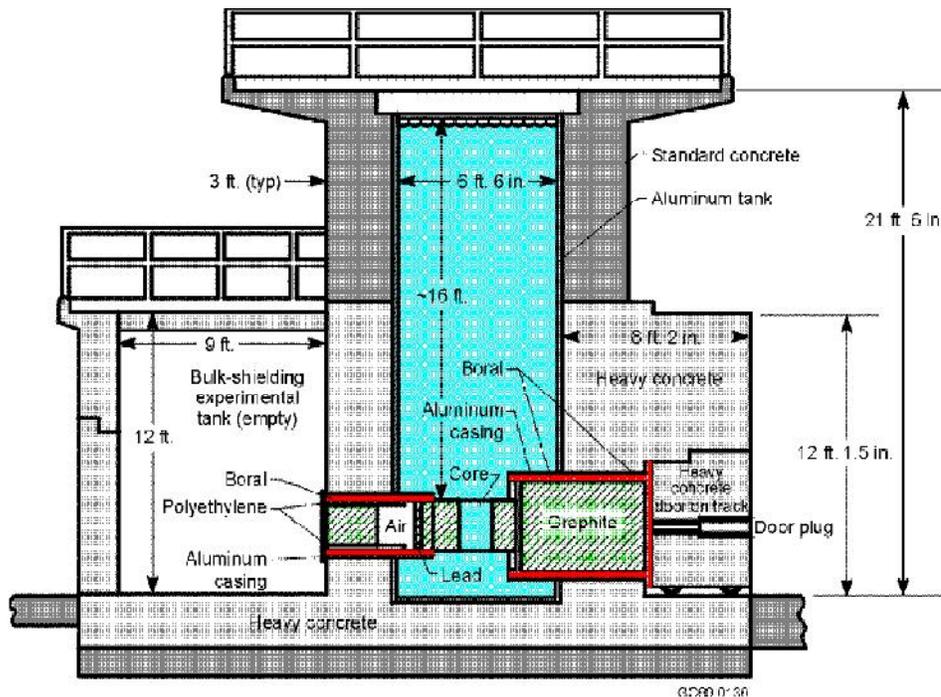
Reaktor *Triga Mark II* Bandung mulai dioperasikan pada tahun 1965 pada daya 250 kW. Pada tahun 1971 daya reaktor ditingkatkan menjadi 1000 kW. Pada tahun 1996 operasi reaktor diberhentikan untuk *upgrade* menjadi 2000 kW dan selesai pada tahun 2000^[1,2]. Komisioning reaktor dilakukan pada tahun 2001, dengan Izin Operasi untuk reaktor yang baru di *upgrade* diberikan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) hingga tahun 2016. Reaktor tersebut cepat atau lambat pasti akan di dekomisioning. Oleh karena itu Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) harus menyiapkan perencanaan dari kegiatan dekomisioning sampai dengan pengelolaan limbahnya^[3]. Salah satu kegiatan dekomisioning adalah *dismantling*. Kegiatan *dismantling* harus direncanakan dengan baik agar tidak menimbulkan efek negatif terhadap pekerja dan lingkungan sekitar. Perencanaan tercakup antara lain tentang pemilihan metode *dismantling*, peralatan, penjadwalan dan aspek keselamatan. Dalam pemilihan metode dan peralatan *dismantling*, diperlukan data awal tentang inventarisasi radionuklida yang terkandung pada material-material yang terletak pada inti reaktor dan sekitarnya. Inventarisasi radionuklida telah dilakukan dengan perhitungan menggunakan data sekunder yang berasal dari berbagai pustaka dan menggunakan *computer code (Origen 2.1)*^[4,5,6,7]. Dari kegiatan tersebut diperoleh hasil inventarisasi radionuklida yang diperkirakan secara kualitatif maupun kuantitatif. Kegiatan ini

diharapkan dapat menjadi acuan untuk kegiatan *dismantling* Reaktor *Triga Mark II* Bandung dapat, sehingga keselamatan masyarakat dan lingkungan generasi mendatang dapat terjamin.

Karakteristik Reaktor

Reaktor TRIGA MARK II Bandung mempunyai ukuran diameter dalam 2438 mm, diameter luar 6969 mm, kedalaman 7553 mm. Reaktor tersebut dilengkapi dengan berbagai fasilitas untuk keperluan eksperimen Gambar 1. menampilkan struktur konstruksi reaktor *TRIGA MARK II* Bandung ^[1,2]. Reaktor ini telah didisain sedemikian rupa sehingga akan mempermudah pengoperasian, perawatan, dan dekomisioning serta mengutamakan keselamatan bagi pekerja, masyarakat, dan lingkungannya. Pemisahan dilakukan antara ruang reaktor, ruangan *blower*, ruangan filter, fasilitas cerobong udara, dan pendingin sekunder.

Di dalam ruangan reaktor terdapat unit reaktornya sendiri yang terdiri dari teras reaktor, reflektor yang terletak di dalam tangki reaktor yang dikelilingi oleh perisai radiasi dari beton berat, fasilitas tabung berkas radiasi, fasilitas iradiasi, unit penukar panas dan sistem demineralisasi resin penukar ion, dan fasilitas kolam penyimpanan bahan bakar bekas dan bahan radioaktif, serta perlengkapan dengan tingkat radiasi tinggi lainnya. Untuk mempermudah operasi pengangkatan dan pengangkutan benda berat dengan bahan radiasi tinggi tersedia *hoist-crane*. *Hoist-crane* ini akan mempermudah operasi perpindahan *transfer-cask* berisi bahan bakar bekas, perpindahan blok perisai beton, blok grafit, kontainer bahan bakar bekas, barang berat lainnya, dan pekerjaan-pekerjaan yang berkaitan dengan dekomisioning.



Gambar 1. Penampang Reaktor *Triga Mark II* Bandung^[1,2]

Tabel 1. menampilkan inventaris limbah radioaktif reaktor hasil perhitungan menggunakan *Origen 2.1*. Pada Tabel 1 terlihat radionuklida yang dominan adalah Fe-55, Co-60, Ni-63, sedangkan aktivitas spesifik yang paling besar adalah *Grid plate*.

Tabel 1. Inventariasi Limbah Radioaktif Reaktor Hasil Perhitungan Menggunakan *Origen 2.1*^[8]

NO.	KOMPONEN LIMBAH	MATERI-AL	RADIO-NUKLIDA	AKTIVITAS (Bq/gram)	VOLUME (Liter)	BERAT (gram)
1.	<i>Grid plate</i>	Al	Fe-55, Co-60, Ni-63, Rb-82	1.08E+06	4,012	10.829
2.	<i>Supporting Core</i>	Al	Fe-55, Co-60, Ni-63, Rb-82	1.55E+05	2,6	7.017
3.	<i>Supporting Thermal Core</i>	Al	Fe-55, Co-60, Ni-63, Rb-82	2.00E+03	2,6	7.017
4.	<i>Reflektor</i>	Al, Grafit	Fe-55, Co-60, Ni-63, Zn-65 dan	2.26E+05	573,785	960.171
5.	<i>Biological Shielding</i>	<i>Concrete</i>	Fe-55, Co-60, Ni-63, Ba-133, Eu-152	1.63E+03	283.829,78	667.000.000
6.	<i>Control Rod Colum</i>	Al	Fe-55, Ni-63, Zn-65, Pb-204	9.61E+05	0,95	2.564
7.	<i>Detector Rod Colum</i>	Al	Fe-55, Ni-63, Zn-65, Pb-204	2.03E+05	13,195	35.612
8.	<i>Grafit Thermal Colum Inner</i>	Al	Fe-55, Ni-63, Zn-65	1.15E+05	38,405	103.655
9.	<i>Grafit Thermal Colum Outer</i>	Al	Fe-55, Ni-63, Zn-65	1.52E+03	171.912	463.990
10.	<i>Thermalizing</i>	Al	Fe-55, Ni-63,	1.18E+05	45,63	123.155

	<i>Colum Inner</i>		Zn-65			
11.	<i>Thermalizing Colum Outer</i>	Al	Fe-55, Ni-63, Zn-65	2.92E+03	23,75	64.096
12.	<i>Grafit Thermal Colum Inner</i>	Grafit	H-3, C-14, Fe-55, Co-60, Eu-152, Eu-154	4.42E+02	1.828,80	2.926.080
13.	<i>Grafit Thermal Colum Inner</i>	Grafit	H-3, C-14, Fe-55, Co-60, Eu-152, Eu-154	4.42E+02	491,172	785.875
14.	<i>Grafit Thermal Colum</i>	Boral	Be-10, Cl-36, K-40, Fe-55	8.88E+02	49,795	11.651
15.	<i>Thermalizing Colum</i>	Boral	Be-10, Cl-36, K-40, Fe-55	8.88E+02	38,94	9.113

Dismantling

Hampir semua teknik *dismantling* menggunakan pembongkaran secara konvensional. bedanya adalah kendali radiologi untuk membatasi paparan personil, tempat kerja dan lingkungan. Hal utama yang harus diperhatikan adalah ^[3,9]:

- Menjaga supaya teknik *dismantling* dan peralatan yang digunakan sederhana mungkin
- Menggunakan atau mengadopsi peralatan industri yang telah terbukti kualitasnya
- Adanya pengalaman *dismantling* terhadap penunjang sarana atau sistem tak terkontaminasi
- Menunda sementara *dismantling* sistem yang mempunyai potensi bahaya sampai adanya rasa percaya diri diantara staf serta adanya peralatan yang sesuai.
- Serta menggunakan *mocks-up* untuk menguji peralatan.

Beberapa yang harus diperhatikan dalam kegiatan *dismantling* antara-lain:

- Komponen - komponen aktivitas tinggi akan di-*dismantling* dengan menggunakan alat - alat potong dengan sistem pengoperasian jarak jauh (*remote*).
- Komponen-komponen aktivitas rendah akan di-*dismantling* dengan menggunakan alat-alat potong portabel.
- Pekerjaan *dismantling* harus efisien, sehingga dapat meminimalisasi resiko terhadap para pekerja radiasi.

Peralatan *dismantling*

1. *Metal cutting* (pemotong metal)

Pemotong metal dapat dibedakan menjadi 4 (empat) kategori ke dalam teknologi yang spesifik, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Teknologi potong yang terbaik adalah sebuah peralatan akan dapat melakukan semua pekerjaan dari semua komponen yang dipertimbangkan akan dilakukan pemotongan. Dalam hal ini tidaklah mungkin ada sebuah alat teknologi potong yang dapat diaplikasikan untuk semua kondisi komponen reaktor. Di bawah ini adalah daftar 4 kategori sejumlah teknologi alat potong metal yang telah digunakan di dalam pekerjaan Dekontaminasi & Dekomisioning (D&D)^[9,10].

1. *Mechanical Metal Cutting* (Pemotong Metal Mekanik)

- *Shears and Nibblers* (Gunting dan Pelubang)
- *Saws* (Gergaji)
- *Abrasive Wheels* (Roda abrasif)
- *Diamond Wire* (Kawat Diamond)
- *Milling* (Frais)

2. *Thermal Metal Cutting* (Pemotong Metal Termal)

- *Plasma Arc* (Pancaran Cahaya Plasma)
- *Oxygen Fuel Torch* (Pemotong Oksigen)
- *Controlled Explosive* (Pemotongan dengan Peledak Pengendalian)

3. *Electrical Metall Cutting* (Pemotong Metal Elektrik)

- *Metal Disintegration Machining* (MDM)
- *Electrical Discharge Machining* (EDM)
- *Arc Saws* (Gergaji Pancaran Cahaya)
- *Electric Arc Gouging*

4. *Other Metal Cutting* (Pemotong Metal Lainnya)

- *Abrasive Water Jet* (Pancaran Abrasif-Air)
- *Laser* (Pemotong Laser)

5.. *Diamond Wire Cutting* (Pemotong Kawat Diamond)

Pemotong kawat diamond terdiri dari deretan poli pengarah yang menarik menggerakkan secara kontinu membentuk putaran melingkar/*loop* dari beberapa untai tali baja dengan rentetan manik-manik diamond dan pengatur jarak palung petongan. Salah satu manfaat utama dari gergaji kawat adalah kelenturan atau fleksibilitas dari sistem kerek (puli), yang dapat mengikuti konfigurasi pemotongan yang tidak biasa. Fleksibilitas ini juga mudah mengikuti dengan aman dalam pemotongan daerah yang aksesnya susah tanpa memindahkan tanpa mengalami kesulitan. Gergaji kawat diamond ini juga memberikan kemungkinan sendiri untuk mengendalikan pemotongan dalam kondisi bahaya seperti radioaktif, atau kondisi di dalam air. Keunggulan alat

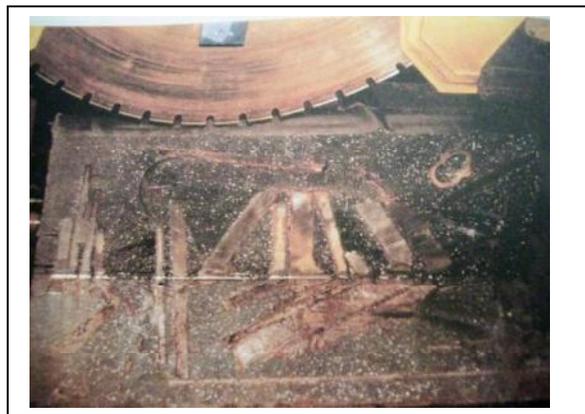
potong ini karena menimbulkan sedikit kebisingan dan getaran, juga kondisi disekeliling struktur adalah tidak mempengaruhi. Biasanya digunakan air untuk pendinginan, pelumasan dan pengambilan partikel dari potongan gergaji. Air dan partikel harus dikumpulkan dan dikelola dengan baik dan didisposal sebaik mungkin di dalam pekerjaan dekontaminasi dan dekomisioning (D&D). Cairan nitrogen juga potensial digunakan sebagai pengganti dari air namun limbahnya harus dibatasi dan hal ini hanya digunakan untuk membatasi sisa potongan atau puing-puing.



Gambar 2. Pemotong Kawat Diamond (*Diamond Wire Cutting*)^[9,10]

6. Saws (Gergaji)

Gergaji ini biasanya digunakan untuk memotong dinding dan lantai, namun ketika terganggu dengan material disekitar harus dijaga seminimal mungkin. Roda diamond dan roda karbida adalah kekasaran yang digunakan untuk memotong melalui potongan gergaji pada beton. Pisau dapat digunakan untuk memotong batang beton bertulang, namun demikian batang beton tersebut akan meningkatkan pemakaian daripada pisau tersebut. Pisau ini diputar atau digerakkan melalui motor pnumatik atau hidrolik. Debu yang ditimbulkan oleh pemotongan abrasif dikendalikan dengan menggunakan semprotan air. Untuk beton yang terkontaminasi, air dan pemotong harus dikumpulkan dan dikelola dengan baik sebagaimana mestinya. Kekurangan dari alat ini adalah bahwa pisau abrasif sedikit menimbulkan getaran, kejutan, asap atau *slag* namun cukup tenang.



Gambar 3. Gergaji Pisau Diamond (*Diamond Dice Cutting*)^[9,10]

7. *Hammers/Jack Hammer* (Palu Lengan Hidrolik)

Palu lengan hidrolik (*Hammers/Jack Hammer*) digunakan untuk membongkar beton dengan menggunakan mesin untuk mematahkan bagian permukaan setempat. Patahan akan terjadi ketika pahat baja keras mematahkan dengan menabrak atau membentur beton. Pahat baja keras digerakkan bolak-balik menggunakan sumber tenaga dari pnumatik, elektrik, atau hidrolik.

Palu lengan pnumatik (*Hammers/Jack Hammer*) ini disarankan untuk digunakan membongkar lantai atau untuk membongkar daerah yang sempit yang tidak memungkinkan alat berat masuk. Bisa juga digunakan setelah peledakan terkendali (*controlled blasting*) dilakukan untuk menyingkap besi beton untuk dipotong. Pengendalian debu untuk beton terkontaminasi bisa lebih baik dengan menyemprotkan kabut air.



Gambar 4. Palu Lengan Hidrolik (*Hammer/Jackhammer*)^[9,10]

8. Perkakas khusus

Beberapa kegiatan dekomisioning melibatkan operasi yang dikendalikan dari jarak jauh. *Remote handling tools* dapat digunakan untuk mengurangi paparan yang diterima pekerja selama *dismantling*, demikian juga untuk pengurangan ukuran dan dekontaminasi komponen-komponen reaktor. Pada beberapa hal sangat praktis untuk memasang peralatan kendali jarak jauh tersentralisasi seperti sebuah tiang yang mendukung beberapa peralatan yang berbeda. Peralatan dan manipulator dapat dikaitkan dengan peralatan untuk memotong dan *dismantling*. Sangat dianjurkan untuk memberikan pelindung proteksi atau *coating* yang dapat dilepas untuk meminimisasi kontaminasi pada perkakas. Perkakas harus bersifat mudah diganti dan dijaga supaya paparan radiasi pekerja seminimum mungkin. Dimanapun *dismantling* dilakukan misalnya di kolam bahan bakar bekas, maka peralatan tambahan dapat digunakan, misalnya meja putar kendali jarak jauh untuk mendukung komponen yang berat selama dipotong. Uji *mock-up* dilakukan dengan mempertimbangkan bahwa pekerjaan dekomisioning sebenarnya sering kali kotor. *Sludge* dan debu pemotongan mengurangi daya lihat dan menimbulkan masalah pada peralatan kendali jarak jauh. *Plasma cutting* juga menimbulkan kontaminasi udara di atas kolam pemotongan.

METODELOGI

Pemilihan metode dan peralatan *dismantling* dilakukan berdasarkan pertimbangan karakteristik komponen reaktor, aspek keselamatan, efektivitas alat. Data awal keselamatan berupa aktivitas pada tiap komponen kemudian diperoleh laju paparannya dengan menggunakan *software microshield 7.02*. Dengan mempertimbangkan karakteristik komponen reaktor, besaran paparan dan kondisi lapangan, maka dapat ditentukan metode dan jenis alat *dismantling*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Persiapan *Dismantling*

1.1. Proteksi Radiasi

Program proteksi radiasi dibutuhkan selama dekomisioning. Untuk tiap kegiatan maka proteksi radiasi harus direncanakan dan diimplementasikan. Langkah pertama adalah mengestimasi inventori radionuklida kemudian merencanakan aktivitas *dismantling* untuk menjamin paparan memenuhi prinsip ALARA. Langkah berikutnya adalah melaksanakan program dengan pemantauan dari dekat daerah radiasi dan paparannya. Program ini diperlukan untuk mengatur waktu efektif yang diijinkan bagi pekerja agar tidak menerima laju dosis di atas yang diijinkan^[11].

Sebelum kegiatan dekomisioning dilakukan perlu dipersiapkan kelengkapan administrasi (dokumen) seperti izin BAPETEN. Selain itu perlu dilakukan analisis khusus tentang proteksi radiasi yang meliputi: aktivitas limbah, paparan, perlengkapan proteksi dan kemungkinan lainnya.

Hal-hal yang perlu diperhatikan untuk keselamatan pekerja adalah sebagai berikut^[12]:

- Membuat rencana pengaturan kerja *shift* guna menghindari penerimaan dosis radiasi yang berlebihan.
- Para pekerja radiasi di dalam kegiatan dekomisioning harus memakai alat kontrol personal minimal memakai *film badge* dan pen dosimeter di saku baju kerja, untuk mengetahui jumlah paparan radiasi yang telah diterima.
- Paparan radiasi yang diperbolehkan untuk diterima oleh para pekerja adalah sebesar 50 mSv/tahun atau 25 μ Sv/jam (5000 mRem/tahun atau 2,5 mRem/jam).
- Pelepasan limbah ke lingkungan agar tidak mencemari masyarakat umum dan lingkungan, untuk pemancar $\beta - \gamma$ sebesar 0,4 Bq/cm² atau 0,4 Bq/g dan untuk pemancar α sebesar 0,04 Bq/cm² atau 0,04 Bq/g.
- Para pekerja harus dilengkapi dengan pakaian kerja yang memadai sehingga dapat mengurangi resiko pada kegiatan dekomisioning.

1.2. Kajian Resiko

Kajian resiko dilakukan dengan mempertimbangkan estimasi dosis radiasi dan dampak bahaya konvensional. Resiko menerima dosis radiasi berlebihan berpotensi pada pekerja jika pengaturan waktu tidak dipatuhi atau perlengkapan proteksi radiasi yang memadai. Sedangkan resiko non radiasi yang dapat terjadi antara lain adalah kecelakaan mekanik, kimia dan lain-lain.

Potensi resiko kecelakaan yang dapat terjadi selama kegiatan *dismantling* antara lain^[3,9,10].

- Kegagalan lokal terhadap kendali kontaminasi
 - Kegagalan alat pemotong
 - Kecelakaan pemotongan untuk bahan teraktivasi
-

- Tidak cukupnya mesin pendukung untuk
- komponen yang dipotong
- Terhentinya service sarana penunjang.
- Ledakan oksiasetylen
- Ledakan yang berlebihan
- Kegagalan filter HEPA
- Kebakaran limbah yang mudah terbakar
- Beban yang jatuh

2. Pemilihan metode

Tabel 2 menampilkan hasil studi tentang pemilihan metode dan peralatan *dismantling*. Pada kolom 6 diperoleh nilai paparan radiasi tiap-tiap komponen reaktor menggunakan *software microshield 7.02*. dengan input data adalah material dan aktivitasnya. Rata-rata paparan radiasi yang dipancarkan komponen reaktor masih di bawah 200 mR/jam, kecuali pada komponen *Biological Shielding*. Hal tersebut dapat terjadi karena mempunyai volume yang sangat besar jika dibandingkan dengan komponen lain. Sedangkan metode *dismantling* yang dipilih adalah *remote handling tools*. Pertimbangannya adalah komponen-komponen tersebut berada dilokasi yang berdekatan satu sama lain, sehingga terjadi akumulasi paparan radiasi pada saat pekerjaan jika dilakukan dengan jarak dekat. Pelaksanaan *dismantling* dapat dilakukan dengan bertahap untuk menghindari penerimaan dosis radiasi yang berlebihan. Secara umum peralatan yang digunakan adalah pemotong metal dan beton^[3,9,10].

Pelaksanaan kegiatan *dismantling* dilakukan secara bertahap berdasarkan situasi dilapangan, antara lain dengan mempertimbangkan besaran nilai paparan radiasi dan faktor kesulitan pengerjaannya.

Tabel 2. Pemilihan Metode dan Peralatan pada Kegiatan *Dismantling*

NO.	KOMPONEN LIMBAH	MATERIAL	VOLUME (Liter)/BERAT (gram)	AKTIVITAS (Bq/gram)	PAPARAN (mR/jam)	METODE/ PERALATAN
1.	<i>Grid plate</i>	Al	4,012 10.829	1.08E+06	3,562 x 10 ¹	<i>Remote handling tools</i>
2.	<i>Supporting Core</i>	Al	2,6 7.017	1.55E+05	4,172 x 10 ²	<i>Remote handling tools</i>
3.	<i>Supporting Thermal Core</i>	Al	2,6 7.017	2.00E+03	3,140 x 10 ⁻²	<i>Remote handling tools</i>
4.	<i>Reflektor</i>	Al, Grafit	573,785 960.171	2.26E+05	8,196 x 10 ¹	<i>Remote handling tools</i>

5.	<i>Biological Shielding</i>	<i>Concrete</i>	283.829,78 667.000	1.63E+03	$2,610 \times 10^3$	<i>Remote handling tools</i>
6.	<i>Control Rod Colum</i>	Al	0,95 2.564	9.61E+05	$4,149 \times 10^2$	<i>Remote handling tools</i>
7.	<i>Detector Rod Colum</i>	Al	13,195 35.612	2.03E+05	$4,148 \times 10^2$	<i>Remote handling tools</i>
8.	<i>Grafit Thermal Colum Inner</i>	Al	38,405 103.655	1.15E+05	$5,590 \times 10^1$	<i>Remote handling tools</i>
9.	<i>Grafit Thermal Colum Outer</i>	Al	171.912 463.990	1.52E+03	$8,120 \times 10^{-1}$	<i>Remote handling tools</i>
10.	<i>Thermalizing Colum Inner</i>	Al	45,63 123.155	1.18E+05	$1,140 \times 10^2$	<i>Remote handling tools</i>
11.	<i>Thermalizing Colum Outer</i>	Al	23,75 64.096	2.92E+03	$1,278 \times 10^1$	<i>Remote handling tools</i>
12.	<i>Grafit Thermal Colum Inner</i>	Grafit	1.828,80 2.926.080	4.42E+02	$2,712 \times 10^{-1}$	<i>Remote handling tools</i>
13.	<i>Grafit Thermal Colum Inner</i>	Grafit	491,172 785.875	4.42E+02	$1,770 \times 10^1$	<i>Remote handling tools</i>
14.	<i>Grafit Thermal Colum</i>	Boral	49,795 11.651	8.88E+02	$1,421 \times 10^0$	<i>Remote handling tools</i>
15.	<i>Thermalizing Colum</i>	Boral	38,94 9.113	8.88E+02	$1,447 \times 10^0$	<i>Remote handling tools</i>

KESIMPULAN

1. Paparan radiasi terbesar adalah pada komponen *Biological Shielding* yaitu $2,610 \times 10^3$ mR/jam
2. Metode dismantling yang dipilih adalah *Remote handling tools*, dengan menggunakan alat antara lain pemotong metal dan beton.
3. Pekerjaan *dismantling* dilakukan secara bertahap dengan memperhatikan besaran paparan radiasi dan faktor kesulitan pengerjaannya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri, "Laporan Analisa Kecelakaan Reaktor Triga Mark 2000 Bandung Revisi 3", PTNBR-BATAN, Bandung, 2006
2. Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri, "Bahan Presentasi Kajian Biaya Dekomisioning Reaktor Triga Mark 2000", PTNBR-BATAN, Bandung, 2009.
3. Pusat Teknologi Limbah Radioaktif, "Pedoman Dekomisioning Reaktor Riset", PTLR-BATAN, Serpong, 2008.
4. Anonymous, "Radioisotope Inventories: Origen 2.2 Isotopic Depletion Calculation for High Burnup Low-enriched Uranium and Weapons-Grade Mix-Oxide Pressurized-Water Reactor Fuel Assemblies", Sandia Report, 2010.
5. Anonymous, "Origen 2.1, System Analysis of the Nuclear Fuel Cycle", 2010
6. Ludwig, S., "Origen 2, Version 2.1 Released Notes", revised May 1999.
7. Nurohim & Laz T., "Evaluasi Komposisi Limbah TRU dalam Bahan Bakar Bekas Reaktor Nuklir", Prosiding Seminar Tahunan Pengawasan Pemanfaatan Tenaga Nuklir, BAPETEN, Jakarta, 2003.
8. DARYOKO, M., dkk, "Perhitungan Perkiraan Biaya Pengelolaan Limbah Pada Perencanaan Dekomisioning Reaktor Triga Mark II Bandung", Laporan Program Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti dan Perekayasa, 2012.
9. Suwardiyono, "TEKNOLOGI DISMANTLING", DIKLAT PELATIHAN DEKOMISIONING REAKTOR RISET, pusklat-BATAN, 26 – 30 SEPTEMBER 2011
10. Dadoumont, J., "Dismantling techniques for projects with limited funding", Presentation in the IAEA First Research Co-ordinated Meeting Innovative and Adaptive Technologies in Decommissioning of Nuclear Facilities, Halden, Norway, 2005
11. BAPETEN, "Surat No. : International Atomic Energy Agency (2002), Radiological Characterization of Shut Down Nuclear Reactor for Decommissioning Purposes, IAEA-TRS No. 389, Vienna.
12. DARYOKO, M., and GUNANDJAR, "Inventarisasi Radionuklida dalam Komponen Nuklir, Jurnal Teknologi Pengolahan Limbah, ISSN 1410-9565, Volume 6 Nomor 1, Jakarta tahun 2003.

KARAKTERISASI TANAH PADA TAPAK CALON DEMO DISPOSAL LOKASI SP4 DI KAWASAN NUKLIR SERPONG

Dewi Susilowati, Heru Sriwahyuni
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

ABSTRAK

KARAKTERISASI TANAH PADA TAPAK CALON DEMO DISPOSAL LOKASI SP4 DI KAWASAN NUKLIR SERPONG. Telah dilakukan penelitian tentang karakterisasi tanah SP4 di kawasan Nuklir Serpong, dengan cara pengeboran di 5 titik lokasi dengan. Dari hasil pengeboran dihasilkan variasi jenis tanah seperti :batulanau lempungan untuk kedalaman rata-rata 0-15 m dengan warna coklat kemerahan , sedang untuk kedalaman 15-20 m didominasi selang seling antara batulanau lempungan dan batulanau pasir. Sebagai target alternatif rencana akan digunakan batu lanau untuk konstruksi NSD, yang mempunyai tingkat heterogenitas yang tinggi. Batuan ini berselingan dengan batupasir dan batugamping, secara setempat mengandung modul batugamping.

Kata kunci: demo disposal, desain konsep, penyimpanan limbah radioaktif

ABSTRACT

SOIL CHARACTERIZATION AT DEMO CANDIDATE SITE OF SP4 DISPOSAL AREA AT SERPONG NUCLEAR AREA. Research has been conducted about SP4 soil characterization at Serpong Nuclear Area, by drilling in 5 appointed sites. The drilling results in a wide variety of soil such as clay siltstone at approximate depth of 0-15 meters, while clay siltstone and sand siltstone dominate the soil's depth of 15-20 meters at intervals. As alternative target plan, siltstone, which possesses high rate of heterogeneity, will be used for NSD construction. This variety of soil is present at intervals with sandstone and limestone, in which locally contains limestone module.

Keywords: disposal demo, design concept, radioactive waste disposal

PENDAHULUAN

Batan sebagai lembaga pemerintah penyedia fasilitas nasional pelayanan pengelolaan limbah radioaktif non Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN), berkewajiban mengembangkan konsep desain *Near Surface Disposal* (NSD) yang mempertimbangkan aspek keselamatan masyarakat dan lingkungan. Sistem NSD telah diaplikasikan dalam beberapa dekade, dengan tipe yang sangat beragam dalam hal tapak, jenis dan jumlah limbah serta desain repositori. Pengalaman menunjukkan bahwa pengungkungan yang efektif dan aman terhadap limbah tergantung pada unjuk kerja sistem disposal secara menyeluruh yang terdiri dari tiga komponen atau barrier utama yaitu kemasan limbah, tapak dan fasilitas disposal [1]. Untuk mengantisipasi pemenuhan kebutuhan penyimpanan akhir (disposal) limbah radioaktif dari kegiatan riset, medis dan industri maka PTLR berencana membangun suatu fasilitas disposal di Kawasan Nuklir Serpong, untuk keperluan tersebut, maka perlu dipersiapkan parameter-parameter untuk kebutuhan fasilitas *near surface disposal* (NSD). Penyediaan fasilitas NSD tersebut wajib mempertimbangkan aspek keselamatan masyarakat dan lingkungan. Fasilitas tersebut juga dirancang agar dapat digunakan sebagai *demonstration plant* (disposal demo = DD) yang merupakan wujud nyata kehandalan unjuk kerja sistem disposal.

Berdasarkan hal tersebut, sesuai dengan prinsip *co-location* (kerjasama lokasi), maka fasilitas NSD untuk limbah aktivitas rendah yang berasal dari non PLTN, yang pengolahan dan penyimpanan sementara di Kawasan Nuklir Serpong (KNS), maka perlu dipelajari karakteristik