

ISSN : 0854 – 4778

PROSIDING

Seminar Nasional Ke 54

TEMU-ILMIAH JARINGAN KERJASAMA KIMIA INDONESIA

Seminar Nasional XVIII

KIMIA DALAM PEMBANGUNAN

“Perkembangan Mutakhir dalam Ilmu dan Teknologi Kimia di Indonesia”
(Hotel Phoenix Yogyakarta 17 September 2015)



REDAKSI:

Ketua merangkap anggota	:	Prof. Dr. Sigit, DEA
Sekretaris merangkap anggota	:	Sihono
Anggota	:	Ir. Prayitno., MT., Pen. Utama Drs. Sutjipto., MS Dra. Susanna TS., MT Imam Prayogo., ST

Diterbitkan 27 Nopember 2015

Oleh

JARINGAN KERJASAMA KIMIA INDONESIA

YAYASAN MEDIA KIMIA UTAMA

Akta No : 24/15/IV/1993

REFEREE / DEWAN PENELAAH :

Prof. Drs. I Nyoman Kabinawa, MM, MBA	Mikrobiologi (<i>Microbiology</i>)
Prof. DR., Ir., Drs., Kris Tri Basuki., M.Sc.	Ilmu Separasi (<i>Separation Sciences</i>), Teknologi Soprograsi dan Membran (<i>Membrane and Separation Tech- nology</i>)
Prof. Drs.Sukandi Nasir, MM	Acrodinamika, Teknik Ruang Angkasa Lainnya/ Bahan Bakar Roket (<i>Aerospace Engineering not elsewhere classified</i>)
Wisnu Susetyo, Ph.D	Jaminan Kualitas, Ilmu-ilmu Kimia Lainnya/ Managernen Mutu laborato- rium Kimia (<i>Chemical Sciences not elsewhere Classified</i>)
DR. Bambang Setiaji	Kimia Bahan Solid (<i>Solid State Chemistry</i>), Katalis Kimia (<i>Chemistry of Catalyses</i>) dan ilmu-ilmu Anorganik lainnya (<i>Non-Organic Chemistry not elsewhere classified</i>)
DR. Eko Sugiharto	Kimia Lingkungan, Jaminan Kualitas (<i>Quality Assurance</i>)
Prof. DR.Ir. Sigit, DEA	Simulasi dan Kontrol Proses, Design Teknik Kimia (<i>Chemical Engineering Design</i>) dan teknik Kimia Lainnya (<i>Other Chemical Engineering not elsewhere Classified</i>)
Drs. Sutjipto, MS, Pen.Utama	Kimia Lingkungan, Energy dan Termodinamika Kimia. Kimia Organik Fisik, Ilmu-ilmu kimia Lainnya (<i>Chemical Sciences not elsewhere classified</i>)
Ir. Ary Achyar Alfa, M.Si, Pen.Utama	Polimer, karakterisasi makromolekul, Mekanisme Polimerisasi (<i>Polymer- ization Machanism</i>) dan Teknik Bahan Lainnya (<i>Other Material Engineering not elsewhere classified</i>)
Ir. Erfin Yundra Febrianto, MT, Pen.Utama	Ilmu Bahan dan Proses/ Teknik Bahan Lainnya (<i>Other Moterial Engineering not elsewhere classified</i>)
DR. Ir. Mahyudin Abdul Rakhman M.Eng, Pen.Utama	Teknik Biokimia (<i>Other Chemical Engineering not elsewhere classified</i>)
DR. Djoko Santoso, Pen. Utama	Bioteknologi (<i>Biotechnology</i>)

SUSUNAN PANITIA PENYELENGGARA

Ketua I	:	Wisnu Susetyo, Ph.D.
Ketua II	:	DR. Eko Sugiharto
Ka. Dept. Diklat.	:	Ir. Prayitno., MT, Pen.Utama
Sekretaris	:	Sihono
Bendahara	:	Imam Prayogo, ST
Anggota	:	Prof. DR. Ir. Sigit, DEA Drs. Sutjipto., MS Dra. Susanna TS., MT. Ashar Andrianto., ST

KATA PENGANTAR

Segala Puji Syukur kami panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah melimpahkan Rahmat dan HidayahNya sehingga dapat kami susun dan terbitkan sebuah Prosiding hasil Seminar Nasional XVIII "Kimia dalam Pembangunan" dengan tema "Perkembangan Mutakhir dalam Ilmu dan Teknologi Kimia di Indonesia" yang telah terselenggara dengan baik pada tanggal 17 September 2015 di Hotel Phoenix Yogyakarta.

Seminar Nasional XVIII "Kimia dalam Pembangunan" diselenggarakan oleh Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia, sebagai organisasi Profesi berbadan Hukum dengan kegiatan menyelenggarakan Seminar, Lokakarya, Konperensi dan Pelatihan dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi kimia.

Seminar Nasional XVIII "Kimia dalam Pembangunan" ini dihadiri oleh 70 orang peserta. Yang berasal dari berbagai institusi yaitu:

No.	Institusi	Jumlah makalah
01	Pusat Penelitian Bioteknologi – LIPI, Cibinong	6
02	Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, Bandung	4
03	Pusat Teknologi Limbah Radioaktif –BATAN, Kawasan Puspitek, Serpong, Tangerang	4
04	Pusat Teknologi Wahana Dirgantara – LAPAN Mekarsari Rumpin, Bogor	4
05	Pusat Sains dan Teknologi Akselerator – BATAN, Yogyakarta	1
06	Pusat Teknologi Intervensi Kesehatan masyarakat Badan Penelitian Dan Pengembangan kesehatan kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Jakarta	7
07	Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI, Komplek LIPI, Bandung	4
08	Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi - BATAN, Jakarta	5
09	Unit Pelaksana Teknis Penambangan Jampang Kulon, LIPI Jl. Cigaru, Kertajaya, Simpanan, Sukabumi, Jawa Barat	3
10	Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju – BATAN, Puspitek Serong	9
11	Jurusan Teknik Mesin, Universitas pancasila, Jakarta	1
12	Puslitbang Biomedis dan Farmasi, Dept Kes RI, Jakarta	10
13	Politeknik AKA Bogor	1

Sebanyak 59 (Lima puluh sembilan) makalah yang dipresentasikan pada Seminar nasional XVIII "Kimia dalam Pembangunan" yang telah diselenggarakan pada tanggal 17 September 2015 tersebut diatas, dan setelah melalui penilaian oleh Referee diterbitkan dalam 1 (satu) buku prosiding.

Suatu hal yang menggembirakan bahwa sesuai dengan tujuannya Seminar ini telah dapat menjadi media komunikasi bagi rekan Kimiawan/Kimiawati yang berkarya di berbagai bidang yang berbeda.

Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia (JASAKIAI) sebagai pihak penyelenggara seminar, dengan ini menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua peserta dan pembawa makalah yang telah berpartisipasi dalam Seminar dan aktif memberikan masukan-masukan yang bermanfaat bagi semua pihak. Seluruh Dewan Penelaah yang telah membantu dalam seleksi dan peningkatan mutu makalah untuk bisa dipublikasikan, seluruh anggota dewan redaksi yang telah bekerja keras untuk menyusun dan

menerbitkan prosiding ini, serta semua pihak yang telah ikut membantu dalam penyelenggaraan seminar sampai dapat diterbitkannya prosiding ini.

Besar harapan kami bahwa Prosiding ini akan banyak berguna bagi para Pembaca semua rekan seprofesi, serta akan dapat menjadi acuan dan titik tolak untuk mencapai kemajuan yang lebih besar bagi perkembangan Ilmu Kimia dan terapannya di Indonesia. Kami menyadari bahwa dalam penyelenggaraan Seminar dan pembuatan Prosiding ini tidak lepas dari berbagai kekurangan. Untuk itu, kami mohon maaf dan kritik serta saran yang bersifat membangun demi perbaikan dimasa datang selalu kami harapkan dari Rekan Sejawat dan Pembaca yang budiman.

Yogyakarta, 27 Nopember 2015

Redaksi

DAFTAR ISI

NO.	DAFTAR ISI	HALAMAN
	HALAMAN JUDUL	i
	REFREE/DEWAN PENELAAH	iii
	SUSUNAN PANITIA	iv
	PENGANTAR	v-vi
	DAFTAR ISI	vii-xii
1.	DAMPAK KEBAKARAN HUTAN TERHADAP KEJADIAN PNEUMONIA KAITANNYA DENGAN PERILAKU MASYARAKAT DI KABUPATEN TANJUNG JABUNG TIMUR, PROVINSI JAMBI Suharjo	1 - 8
2.	PENYISIHAN RADIONUKLIDA DALAM LIMBAH RADIOAKTIF MELALUI PROSES KONTINYU MENGGUNAKAN ZEOLIT Aisyah, Yuli Purwanto	9 - 18
3.	PENYERAPAN URANIUM CAIR DENGAN PENGKOMPLEKS NATRIUM SULFAT MENGGUNAKAN RESIN PENUKAR ANION Dwi Luhur Ibnu Saputra, Herlan Martono	19 - 24
4.	GAMBARAN pH, KESADAHAN DAN KLOORIDA DARI BEBERAPA ASAL AIR DI DALAM DAN LUAR JABODETABEK TAHUN 2014-2015 Sukmayati Alegantina	25 - 32
5.	PEMANFAATAN BAHAN SEDIMENTASI SEBAGAI <i>FILLER</i> SAPC Jadigia Ginting dan Yustinus Purwamargapratala	33 - 42
6.	HIPERTENSI PADA WANITA USIA SUBUR DI INDONESIA Kristina*, Hendrik Edison**	43 - 48
7.	STATUS KARAKTERISTIK KEPEMIMPINAN, KREATIFITAS DAN KEPEDULIAN KADER POSYANDU DALAM CAPAIAN CAKUPAN IMUNISASI DAN PENIMBANGAN BALITA DI KABUPATEN BURU PROVINSI MALUKU M. Hasyimi¹, Betriyon² dan Yulianis Rahim³	49 - 56
8.	KONTAMINASI DETERJEN DALAM SUMBER AIR DI WILAYAH DKI JAKATA TAHUN 2012 Sukmayati Alegantina	57 - 66
9.	KONTRIBUSI KESEHATAN LINGKUNGAN SEBAGAI PENYUSUN INDEKS PEMBANGUNAN KESEHATAN MASYARAKAT (IPKM) DI KABUPATEN TEBO PROVINSI JAMBI TAHUN 2015. M. Hasyimi, Roy Nusa R.E.S dan Amir Su'udi	67 - 74

NO.		HALAMAN
10.	ANALISIS RADIASI POLIMER KOMPOSIT BERBASIS POLIURETAN SEBAGAI BAHAN PERISAI Jadigia Ginting dan Aloma Karo-karo	75 - 82
11.	PELINDIAN AIR MENGGUNAKAN REAKTOR ALIR TANGKI BERPENGADUK BERALAS DATAR UNTUK MENINGKATKAN HASIL PROSES SINTESIS Na_2ZrO_3 Harry Supriadi dan Sudaryadi	83 - 88
12	STUDI KUALITAS AIR SUNGAI TERKAIT LIMBAH INDUSTRI TEKSTIL (STUDI KASUS: HULU DAS CITARUM-CEKUNGAN BANDUNG) Lenny Marilyn Estiaty dan Dyah Marganingrum	89 - 94
13	ANALISA SEM PEMBENTUKAN LAPISAN OKSIDA PADA PADUAN ZrNbMoGe SETELAH PROSES QUENCHING Agus Sujatno, B. Bandriyana, Yustinus Purwamargapratala, Arbi Dimiyati	95 - 100
14	UPAYA PERBAIKAN PROSES PEMBUATAN BAHAN PIROTEKNIK PELLET SELONGSONG ISIAN SEKUNDER IGNITER ROKET RX122 MELALUI RANCANG BANGUN ALAT PENCETAKNYA Evie Lestariana	101 - 108
15	KARAKTERISASI BAKTERI <i>BACILLUS LICHENIFORMIS</i> PADA PROSES PENGOLAHAN LIMBAH CAIR TEKSTIL Lenny Marilyn Estiaty	109 - 116
16	POTENSI SENYAWA BAHAN ALAM SEBAGAI OBAT ANTI INFLAMASI NON STEROID MELALUI MEKANISME STUDI DOCKING MOLEKULER Ani Isnawati* dan Rosa Adelina*	117 - 124
17	MINERALOGI BENTONIT DI DAERAH KECAMATAN CIMERAK, KABUPATEN PANGANDARAN, PROVINSI JAWA BARAT Aryo Dwi Handoko, Rhazista Noviard, Suryo Sembodo, dan Lyza Primadona	125 - 128
18	PERANCANGAN DAN PEMBUATAN IGNITER ROKET PEMICU PETIR Evie Lestariana	129 - 138
19	POTENSI MIKROALGA <i>CHLORELLA PYRENOIDOSA</i> STRAIN LOKAL INK SEBAGAI PAKAN ALAMI ZOOPLANKTON DALAM BUDI DAYA TRADISIONAL I Nyoman K.Kabinawa	139 - 148
20	KUALITAS MUTU AIR MINUM BERDASARKAN PARAMETER BESI, MANGAN DAN PH PADA TAHUN 2014-2015 Ani Isnawati*	149 - 156

NO.		HALAMAN
21	SEROKONVERSI ANTIBODI DIFTERI PADA ANAK USIA DIBAWAH 18 BULAN DI CIANJUR JAWA BARAT Sehatman, Primasari, Dasuki	157 -164
22	PAPARAN PENYAKIT MENULAR DAN HUBUNGANNYA DENGAN KELOMPOK UMUR ANALIS LANJUT RISET KESEHATAN DASAR 2007 *Hendrik Edison, **Kristina	165 - 172
23	PEMERIKSAAN CHIKUNGUNYA MENGGUNAKAN REVERSE TRANSCRIPTION - POLYMERASE CHAIN REACTION (RT-PCR) DI INDONESIA Sehatman, Masri S Maha	173 - 180
24	PENGGUNAAN <i>CHLORELLA PYRENOIDOSA</i> DALAM LIMBAH CAIR AGROINDUSTRI TAPIOKA DAN KECAP I Nyoman K.Kabinawa, Ni Wayan Sri Agustini dan Kusmiati	181 - 190
25	GALUR MUTAN UBI JALAR UNTUK BAHAN SUBSTITUSI PEMBUATAN MI Aryanti¹ dan Elly Nurhayati²	191 - 196
26	ZAT KIMIA BERBAHAYA DALAM ANTINYAMUK BAKAR DAN DAMPAKNYA TERHADAP KESEHATAN Mariana Raini	197 - 204
27	PENGARUH MODIFIKASI KH_2PO_4 DAN NH_4NO_3 SERTA PENAMBAHAN ASAM GIBERELIK TERHADAP PERTUMBUHAN PLANLET <i>GLOXINIA SPECIOSA</i> SECARA <i>IN VITRO</i> Rudiyanto*, Deritha Ellfy Rantau dan Tri Muji Ermayanti	205 - 212
28	HORMON PERTUMBUHAN DALAM DAGING SAPI IMPOR GROWTH HORMONE IN BEEF IMPORTS Mariana Raini*	213 - 220
29	PENGARUH WAKTU KONTAK DAN KONSENTRASI ADSORBEN PADA PENURUNAN COD LIMBAH CAIR PABRIK TEKSTIL OLEH KARBON AKTIF BATUBARA Ika Monika	221 - 226
30	PENGARUH KONSENTRASI GULA TERHADAP PERTUMBUHAN KULTU TUNAS <i>TACCA LEONTOPELALOIDES</i> . Betalini Widhi Hapsari, Andri Fadillah Martin, dan Tri Muji Ermayanti	227 - 232
31	PEMANFAATAN BATUBARA KALORI RENDAH SEBAGAI ENERGI ALTERNATIF Daman Suyadi*)	233 - 240
32	PEMANFAATAN KARBON AKTIF BATUBARA UNTUK PENURUNAN SENYAWA FENOL HASIL PROSES GASIFIKASI BATUBARA PLTD <i>DUAL FUEL</i> Ika Monika dan Fahmi Sulistyohadi	241 - 248

NO.		HALAMAN
33	LINGKUNGAN PADAT HUNI DAN HUBUNGANNYA DENGAN PENYAKIT MENULAR TUBERCULOSIS Merryani Girsang¹ dan Suharjo²	249 - 256
34	PELARUTAN STRUKTURAL/NON-STRUKTURAL FE <i>LOW GRADE</i> KAOLINDENGAN ASAM KHLORIDA-SITRAT : STUDI KASUS KAOLIN KARANGNUNGGAL, TASIKMALAYA, JAWA BARAT Dewi Fatimah	257 - 260
35	GAMBARAN PENYAKIT TBC DAN HUBUNGANNYA DENGAN PEMERIKSAAN LABORATORIUM Merryani Girsang	261 - 274
36	PENGARUH SUHU SINTERING TERHADAP STRUKTUR KRISTAL FePO ₄ Indra Gunawan, Deswita, Bambang Sugeng	275 - 280
37	ANALISA BAHAN KATODA LiCoO ₂ YANG DITAMBAHKAN PVDF MENGGUNAKAN METODA ENERGY DISPERSIVE X-RAY SPECTROSCOPY Elman Panjaitan, Wagiyo	281 - 290
38	PENGARUH PENAMBAHAN Li ₂ CO ₃ TERHADAP SIFAT TERMAL PIEZOELEKTRIK K _{0,5} Na _{0,5} NbO ₃ Sugik Sugiantoro, Syahfandi Ahda	291 - 296
39	PEMERIKSAAN LABORATORIUM PADA DEMAM TIFOID Wibowo	297 - 304
40	PENGARUH IRADIASI SINAR GAMMA DAN MESIN BERKAS ELEKTRON TERHADAP SIFAT FISIS BAHAN POLIMER Gatot Trimulyadi Rekso	305 - 310
41	ISOLASI DAN SKRINING MIKROBA ENDOFOTIK ASAL TEMU MANGGA (<i>Curcuma mangga</i> Val), POTENSINYA SEBAGAI ANTIMIKROBA Harmastini Sukiman¹ dan Liseu Nurjanah¹	311 - 320
42	PEMANFAATAN PEWARNA SINTETIS DAN KEANEKARAGAMAN MIKROBA PADA MAKANAN JAJANAN Harsojo dan Made Sumarti	321 - 326
43	<i>STORAGE DAN DISPOSAL</i> LIMBAH AKTIVITAS TINGGI DALAM BENTUK BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS DAN GELAS-LIMBAH HASIL VITRIFIKASI Herlan Martono, Sutoto	327 - 336
44	PRAKTEK BUDAYA PENYEMBUHAN DAN PENCEGAHAN KEJADIAN SAKIT PADA BAYI DAN ANAK DI DESA GADINGSARI BANTUL YOGYAKARTA * Kasnodihardjo dan Ranti Suciati	337 - 346

NO.		HALAMAN
45	KESESUAIAN KARAKTERISTIK ABU TERBANG BATUBARA (<i>FLY ASH</i>) PLTU PALABUHANRATUDI KABUPATEN SUKABUMI DENGAN SNI : SPESIFIKASI ABU TERBANG SEBAGAI BAHAN TAMBAHAN UNTUK CAMPURAN BETON Lyza Primadona, Aryo Dwi Handoko dan Firman Arifianto	347 - 352
46	DEGRADASI LIGNOSELULOSA SERBUK KAYU MENGGUNAKAN RADIASI BERKAS ELEKTRON Made Sumarti K	353 - 358
47	PENGARUH IRADIASI BERKAS ELEKTRON TERHADAP KANDUNGAN ZAT TERLARUT AIR, HEMISELULOSA, SELULOSA, DAN LIGNIN PADA TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT Oktaviani, Santoso Prayitno, Made Sumarti K	359 - 364
48	KINETIKA EKSTRAKSI ASAM-ASAMLEMAK BIJI BUAH DAN CAMPURAN BIJI DAN DAGING BUAH BINTARO (<i>CERBERA MANGHAS LINN</i>) PADA SUHU 40 ^o C DAN 70 ^o C Sri Redjeki Setyawati*	365 - 372
49	PENGOLAHAN GAS BUANG ASAM INSENERATOR LIMBAH RADIOAKTIF Sutoto	373 - 378
50	PENGARUH TEKANAN DAN SUHU SINTERING PADA PROSES SINTESA BAHAN PIEZOELEKTRIK $K_{1/2}NA_{1/2}NBO_3$ (KNN) DENGAN MENGGUNAKAN METODA SOLID STATE REACTION Syahfandi Ahda	379 - 386
51	UJI ANTI BAKTERI DAN JAMUR TERHADAP PRODUK DETERJEN ANTISEPTIK BAGI MASYARAKAT Sylvia J. R. Lekatompessy dan Harmastini I. Sukiman	387 - 396
52	PENGARUH H ₂ O ₂ PADA PELARUTAN EMAS DENGAN SIANIDA TERHADAP PEROLEHAN EMAS Widodo	397 - 404
53	PENGARUH PERUBAHAN DESAIN KONTUR NOSEL TERHADAP KINERJA MOTOR ROKET RX200 Bagus H. Jihad, Evie Lestariana	405 - 412
54	KAJIAN PERBANDINGAN PENGGUNAAN MINYAK BERAT (MFO), AKUABAT DAN BATUBARA PADA PEMBANGKIT LISTRIK DI INDONESIA Gandhi Kurnia Hudaya, Fahmi Sulistyohadi	413 - 418
55	VALIDASI TERHADAP DESAIN NOSELROKET RX-1210 AKIBAT PEMBAKARAN PROPELAN PADA RUANG BAKAR Bagus H. Jihad, Evi Lestyana	419 - 426

NO.		HALAMAN
56	PENGARUH PIROFILIT TERHADAP BAHAN ANODA BATERAI BERBASIS GRAFIT Yustinus Purwamargapratala, Deswita dan Jadigia Ginting	427 - 432
57	RANCANG BANGUN UNIT PENGOLAHAN AIR LAUT PESISIR PANTAI MENJADI AIR BERSIH KAPASITAS 5000 LITER PERHARI Eddy Djatmiko	433 - 442
58	PENGARUH IMPLANTASI ION NITROGEN PADA STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN BAJA FERITIK AISI 410 Sumaryo¹, Rohmad Salam¹, Agus Hadi Ismoyo¹, Sunarto², B. Bandriyana¹	443 - 448
59	KAJIAN POTENSI PENINGKATAN PENERIMAAN NEGARA MELALUI PEMBANGUNAN PABRIK KOMERSIAL AKUABAT DI INDONESIA Gandhi Kurnia Hudaya, Fahmi Sulistyohadi	449 - 450
	Daftar Hadir	451 - 458

STORAGE DAN DISPOSAL LIMBAH AKTIVITAS TINGGI DALAM BENTUK BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS DAN GELAS-LIMBAH HASIL VITRIFIKASI

Herlan Martono, Sutoto

Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN

ABSTRAK

STORAGE DAN DISPOSAL LIMBAH AKTIVITAS TINGGI DALAM BENTUK BAHAN BAKAR NUKLIR BEKAS DAN GELAS-LIMBAH HASIL VITRIFIKASI. Storage dan disposal limbah aktivitas tinggi dalam bentuk bahan bakar nuklir bekas dan gelas-limbah hasil vitrifikasi dibandingkan. Pada Daur Bahan Bakar Nuklir terbuka, bahan bakar nuklir bekas setelah dikeluarkan dari reaktor, disimpan di kolam reaktor untuk menurunkan panas peluruhan selama 5 tahun. Selanjutnya bahan bakar nuklir bekas dipindahkan ke tempat penyimpanan sementara di kolam dekat atau jauh dari reaktor. Setelah penyimpanan sementara selama 40 – 60 tahun bahan bakar nuklir bekas didisposal pada formasi geologi dengan kedalaman 500 – 1000 m dari permukaan tanah. Pada Daur Bahan Bakar Nuklir tertutup, limbah cair aktivitas tinggi timbul dari proses olah ulang bahan bakar nuklir bekas diimobilisasi dengan gelas borosilikat. Storage gelas-limbah dilakukan selama 30 – 50 tahun dengan pendingin udara untuk menghindari terjadinya devitrifikasi. Tahap selanjutnya gelas-limbah didisposal pada formasi geologi dengan kedalaman 500 - 1000 m. Penyimpanan limbah aktivitas tinggi dalam bentuk gelas-limbah, radionuklida terikat oleh matriks gelas yang terkungkung dalam canister baja tahan karat, tidak terjadi kritikalitas, dan laju korosinya rendah. Pada bahan bakar nuklir bekas memerlukan penanganan dalam jangka yang lebih lama karena banyak mengandung unsur aktinida yang berumur paro panjang. Konsep disposal untuk bahan bakar nuklir bekas dan gelas-limbah sama, dan disposal untuk keduanya belum dilakukan.

Kata-kata kunci: limbah aktivitas tinggi, bahan bakar nuklir bekas, gelas-limbah, storage, disposal.

ABSTRACT

STORAGE AND DISPOSAL OF HIGH LEVEL RADIOAKTIF WASTE AS SPENT NUCLEAR FUEL AND WASTE-GLASS AS VITRIFICATION PRODUCT. Storage and disposal of spent nuclear fuel and waste-glass as vitrification product are compared. For Open Nuclear Fuel Cycle, spent nuclear fuel after discharge from reactor, then stored in the pool of reactor for decreasing decay heat for 5 years. After that the spent nuclear fuel are transferred to interim storage in pool at reactor or away from reactor. After interim storage for 40 – 60 years, spent nuclear fuel will be moved to disposal site in the deep geological disposal about 500 – 1000 m from surface layer. For Closed Nuclear Fuel Cycle, high level liquid waste arising from the reprocessing of spent nuclear fuel are immobilized by borosilicate glass. Interim storage of waste-glass are conducted by air cooling system for 30 – 50 years to avoid devitrification. The continuous step, waste-glass will be disposed in the deep geological. The storage of high level waste in the form of waste-glass, radionuclide were bounded by glass matrix in the stainless steel canister, there is no critical, and corrosion rate of canister is low, but in the form of spent nuclear fuel it is need handling for along time because contain actinide elements. Conceptual disposal for spent nuclear fuel and waste - glass are the same, and disposal for both have not been conducted.

Keywords: high level waste, spent nuclear fuel, waste-glass, storage, disposal

PENDAHULUAN

Pada daur bahan bakar nuklir (*nuclear fuel cycle*) urutan proses bahan bakar nuklir adalah penambangan, pengolahan dan konversi mineral uranium, pengkayaan dan fabrikasi bahan bakar, penggunaan bahan

bakar untuk pembangkit energi dalam reaktor, penyimpanan akhir bahan bakar nuklir bekas (BBNB) secara permanen[1]. Daur bahan bakar nuklir tersebut dikenal dengan daur terbuka (*open nuclear fuel cycle*), yaitu proses olah ulang BBNB tidak dilakukan. Pada daur

tertutup (*close nuclear fuel cycle*), proses olah ulang BBNB dilakukan untuk mengambil uranium sisa yang tidak terbakar dan plutonium yang terjadi. Campuran oksida uranium dan oksida plutonium (UO_2, PuO_2) digunakan untuk bahan bakar reaktor pembiak cepat (*fast breeder reactor*).

Pada daur bahan bakar nuklir terbuka, BBNB disimpan secara basah dan atau kering selama 40 – 60 tahun, selanjutnya ditempatkan pada pembuangan lestari (*ultimate disposal*) di formasi geologi (*geologic disposal*) pada kedalaman 500 - 1000 m di bawah permukaan tanah[2,3]. Pada proses olah ulang BBNB timbul limbah cair aktivitas tinggi (LCAT) dengan kandungan utama hasil belah dan sedikit aktinida. Imobilisasi LCAT skala industri dengan gelas borosilikat dilakukan oleh negara-negara maju seperti Perancis, Amerika, Jepang, Inggris, dan India[4,5]. *Storage* (penyimpanan sementara) gelas-limbah dengan pendingin udara dilakukan selama 30 – 50 tahun[6]. Tujuan pendinginan adalah untuk menghindari terjadinya kristalisasi gelas yang dikenal dengan devitrifikasi, karena adanya perubahan struktur amorf menjadi kristalin. Terjadinya devitrifikasi menaikkan laju pelindihan radionuklida dari gelas ke lingkungan jika terjadi kontak dengan air[7]. Setelah 50 tahun, dilakukan *disposal* pada formasi geologi. *Disposal* pada formasi geologi untuk limbah dalam bentuk BBNB maupun gelas-limbah hasil vitrifikasi memiliki konsep yang sama, yaitu dilengkapi dengan penghalang rekayasa untuk meminimalkan potensi terlepasnya radionuklida ke lingkungan. Bahan bakar nuklir bekas secara utuh dimasukkan dalam canister, sedangkan gelas-limbah langsung dimasukkan dalam canister dari melter setelah proses vitrifikasi selesai. Selanjutnya canister jenis

Pada makalah ini disajikan pertimbangan dalam pemilihan daur bahan bakar nuklir, aspek keselamatan penyimpanan BBNB, dan penyimpanan gelas-limbah.

Pemilihan Daur Bahan Bakar Nuklir

Pada saat ini beberapa negara telah menetapkan pilihan DBBN, sedangkan beberapa negara yang lain belum. Negara yang memilih daur terbuka antara lain Canada, Swedia, dan Korea Selatan. Negara-negara tersebut memberlakukan BBNB sebagai bentuk akhir limbah untuk dibuang lestari di lapisan geologi dalam, karena itu di negara-negara tersebut litbang tentang *ultimate disposal of spent fuel* sangat berkembang. Korea Selatan mengembangkan bahan bakar

nuklir bekas yang dicampur dengan bahan bakar baru untuk dibuat bahan bakar jenis Direct Use of spent PWR fuel in CANDU (DUPIC), sehingga tidak ada limbah aktivitas tinggi[8].

Beberapa negara lain seperti Perancis, Jepang, Inggris, Rusia, India, Brazilia memilih DBBN tertutup. Negara-negara tersebut selain mempunyai instalasi pengolahan berbagai jenis BBNB, litbang tentang *fast breeder reactor* dan *ultimate disposal of waste-glass* sangat maju.

Beberapa pertimbangan dalam pemilihan DBBN, adalah [1, 2, 9].

1. Aspek ekonomi, meliputi :

- Perkembangan pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) sebagai pemasok BBNB untuk proses olah ulang. Banyaknya PLTN akan menghasilkan jumlah bahan bakar bekas yang lebih banyak.
- Harga bahan bakar dari proses olah ulang belum ekonomis dibandingkan dengan harga uranium di pasaran.
- Pembuangan lestari BBNB di lapisan geologi dalam, pada jangka panjang merupakan potensi tambang Pu bagi generasi ribuan tahun yang akan datang. Pada masa tersebut radionuklida lain telah meluruh.
- Negara – negara yang tidak mempunyai sumber daya alam dapat mengembangkan kebutuhan energinya tanpa tergantung dari sumber alam. Sebagai contoh Jepang yang sedikit sumber daya alamnya dan sangat tergantung pada impor bahan bakar bagi kebutuhan energinya.

2. Aspek teknologi, meliputi :

- Proses olah ulang BBNB hanya dikuasai oleh negara maju dan belum tentu akan ditransfer ke negara berkembang.
- Perkembangan teknologi pengolahan limbah aktivitas tinggi yang berumur panjang dari proses olah ulang BBNB.

3. Aspek politik dan keamanan, meliputi :

- Adanya pengawasan internasional (*safeguard*) yang efektif dan *non*

proliferasi treaty (NPT), terjadinya penyalahgunaan Pu sangat kecil.

4. Aspek keselamatan dan lingkungan, meliputi :
 - Pada daur bahan bakar tertutup, aktivitas LCAT dari BBNB akan berkurang, dan umur limbah berkurang sekitar sembilan juta tahun umur BBNB. Limbah cair aktivitas tinggi mudah diproses dengan vitrifikasi, sehingga lebih dijamin bagi keselamatan dan lingkungan. Jadi waktu pengelolaan limbah juga menjadi lebih pendek.

Karakteristik Bahan Bakar Nuklir Bekas.

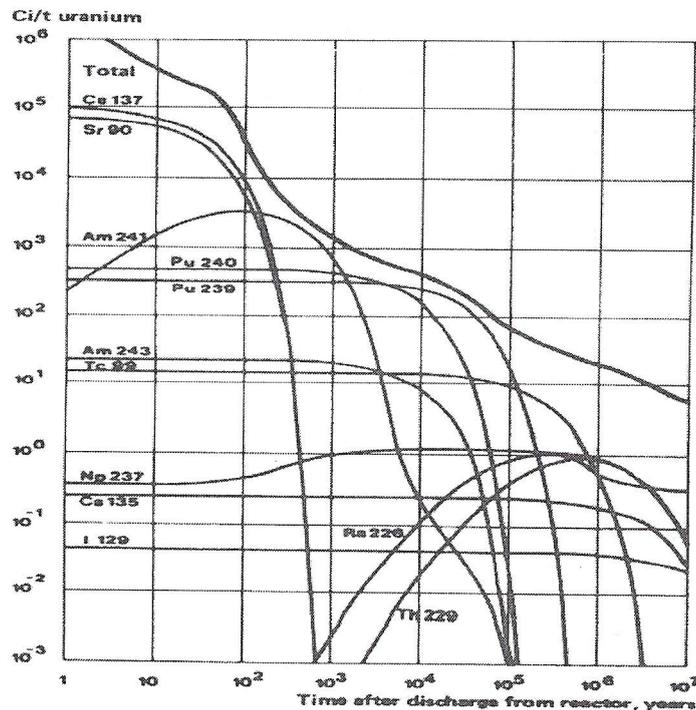
Aktivitas radionuklida dalam BBNB *Pressurized Water Reactor* (PWR) sebagai fungsi waktu ditunjukkan pada Gambar 1[3,10]. Panas peluruhan yang dihasilkan per ton U dalam bahan bakar nuklir bekas PWR dan BWR (*Boiling Water Reactor*) sebagai fungsi waktu ditunjukkan pada Gambar 2[10]. Setelah 10^7 tahun aktivitas radionuklida dalam bahan bakar nuklir bekas PWR 7,5 Ci/ton U,

sedangkan dalam LCAT dari proses olah Ulang BBNB PWR 0,5 Ci/ton U[10]. Panas peluruhan yang dihasilkan bahan bakar PWR lebih tinggi dibanding BWR.

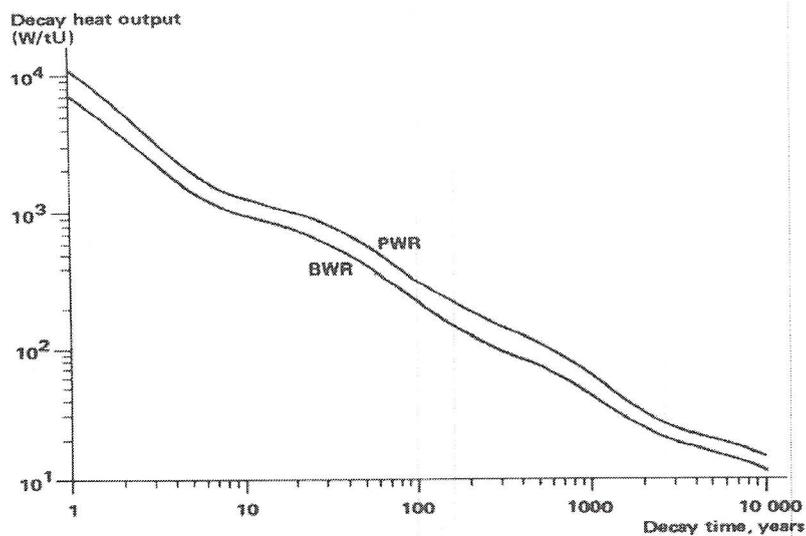
Burn up (fraksi bakar) yang tinggi dicapai dengan menaikkan pengkayaan U dan perbaikan perancangan bahan bakar. Makin tinggi fraksi bakar, maka makin sedikit BBNB yang dihasilkan. Kenaikan fraksi bakar memudahkan kerusakan *fuel assembly*.

Karakteristik Limbah Cair Aktivitas Tinggi.

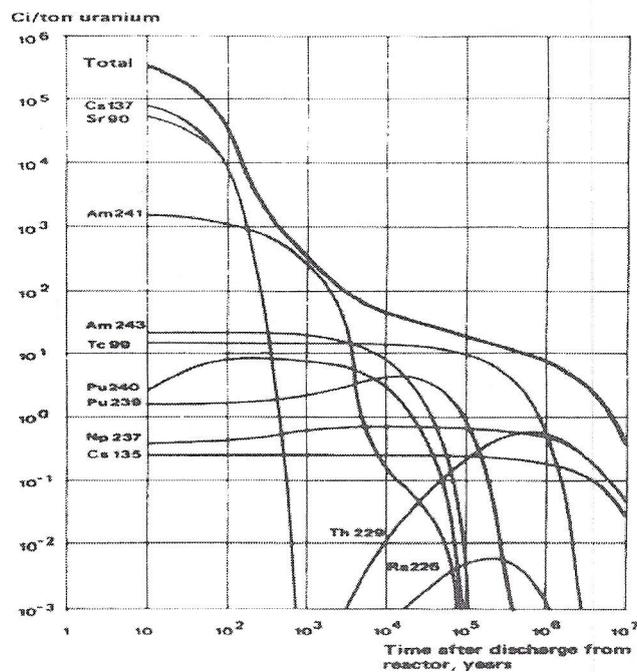
Aktivitas radionuklida dalam LCAT dari proses olah-ulang BBNB sebagai fungsi waktu ditunjukkan pada Gambar 3[10]. Imobilisasi LCAT dengan gelas borosilikat, komposisinya 75 % gelas dan 25 % limbah, dimasukkan dalam canister baja tahan karat 304 seperti di Jepang, yang tingginya 1040 mm, diameter 430 mm, dan tebalnya 6 mm. Volume satu canister 118 liter, 93 % atau 110 liter berisi gelas limbah. Berat gelas-limbah dalam satu canister 300 kg, aktivitas radionuklidanya 4×10^5 Ci, dan panas peluruhan 1,4 kW/jam[11].



Gambar 1. Aktivitas radionuklida dalam BBNB PWR sebagai fungsi waktu[10].



Gambar 2. Panas peluruhan yang dihasilkan BBNB PWR dan BWR[108].



Gambar 3. Aktivitas radionuklida dalam LCAT dari proses olah ulang BBNB sebagai fungsi waktu[10].

Keselamatan Penyimpanan Bahan Bakar Nuklir Bekas

Bahan bakar nuklir bekas dikeluarkan dari teras reaktor menimbulkan panas dan radiasi tinggi, sehingga harus disimpan dalam kolam reaktor selama minimum 1 tahun. Tahap awal penyimpanan pada kolam reaktor untuk mengurangi radionuklida yang volatil, medan radiasi, dan panas peluruhan.

Setelah tahap awal penyimpanan, BBNB dikeluarkan dan disimpan di tempat

penyimpanan sementara (*Interim Storage For Spent Fuel = ISFSF*). Letak ISFSF berada pada reaktor (AR) atau jauh dari reaktor (AFR). Keselamatan operasi dan perawatan fasilitas penyimpanan sementara BBNB tergantung disain dan konstruksinya. Untuk mencapai tujuan tersebut, pada disain fasilitas penyimpanan sementara BBNB harus mempertimbangkan karakteristik bahan bakar (jumlah dan lama penyimpanan yang diharapkan), keadaan subkritis bahan bakar,

proteksi radiasi, ketahanan wadah melebihi umur fasilitas.

Pertimbangan bahan bakar berkaitan dengan keselamatan adalah [12].

1. Disain *fuel assemblies*, meliputi uraian fisis (bentuk, komposisi, bahan, massa) pengkayaan awal, fraksi bakar (*burn up*), periode pendinginan minimum komposisi isotop dan medan radiasi pada waktu penyimpanan, reaktivitas pada waktu penyimpanan, panas peluruhan yang ditimbulkan.
2. Kerusakan bahan bakar, pelucutan radionuklida dalam bahan bakar sangat rendah.
3. *Fuel inventory* yang meliputi jumlah *assemblies* persatuan penyimpanan dan jumlah total *assemblies*.
4. Lama penyimpanan yang diharapkan. Parameter yang mempengaruhi keselamatan adalah disain umur fasilitas penyimpanan, pemilihan bahan komponen, suhu kelongsong bahan bakar, suhu bahan, medan radiasi, kimiaair kolam dan radioaktivitas, pelepasan gas dan cairan dalam fasilitas pelepasan gas dan cairan di luar fasilitas.
5. Panas dihasilkan BBNB dipertimbangkan secara tepat dalam perancangan. Akibat panas ini akan menimbulkan : *thermal stress*, tekanan dalam bahan bakar, perpindahan panas, evaporasi air, sehingga perlu *make up water*, efek suhu pada subkritisitas. Umur fasilitas dan waktu penyimpanan BBNByang diharapkan dalam perancangan fasilitas harus mempertimbangkan korosi, *creep*, *fatigue*, *shrinkage*, radiasi yang mengakibatkan perubahan.

Penyimpanan BBNB secara basah, dilakukan dalam kolam dekat reaktor. Bahan struktur fasilitas penyimpanan terdiri dari beton dan pelapis baja tahan karat atau Al + B. Bangunan penyimpanan seluruhnya dari beton. Sebagai perisai pada kolam penyimpanan dan pendingin adalah air, karena mempunyai sifat pendingin yang baik, perisai yang baik, transparan sehingga keadaan bahan bakar nuklir bekas mudah terlihat, terdapat dimana-mana dan harga murah [13].

Untuk mencegah operator menerima radiasi yang berlebihan, maka dipertimbangkan ketebalan kolam dan kedalaman air pendingin. Sebagai perisai

minimum 3 m diperlukan untuk penyimpanan BBNB dengan fraksi bakar yang tinggi (di atas 33.000 MWd/tU untuk BBNB LWR). Jenis bahan lain yang digunakan sebagai kombinasi perisai adalah besi baja, beton, dan timbal. Besi baja beton relatif lebih ekonomis untuk konstruksi walaupun relatif berat, sedangkan menggunakan timbal-besi baja relatif mahal, tetapi konstruksi relatif ringan. Perancangan perisai berkaitan dengan batas maksimum radiasi yang diperkenankan diterima operator, yaitu 5 mrem/jam.

Adanya U yang tidak terbakar, Pu yang terjadi dan bahan moderator maka pada penyimpanan BBNB, keadaan kritis dapat terjadi jika jarak antara BBNB tidak dipertahankan. Agar terjadi keadaan subkritis, maka dalam perhitungan koefisien kriticalitas (K_{eff}) = 0,95. Pada penyimpanan BBNB secara basah, dilengkapi dengan sistem sebagai berikut:

- Deteksi kebocoran, perlu pengawasan untuk menjamin tidak ada pelepasan bahan radioaktif. Hal ini dilakukan dengan mencegah degradasi BBNB mendeteksi kebocoran BBNB dan mencegah kebocoran kolam penyimpanan.
- *Fuel Assembly Racks*, jenis baja tahan karat. Keadaan subkritis dengan K_{eff} 0,95.
- Alat penukar ion dan filter untuk pemurnian air. Aktivitas jenis air dipertahankan di bawah 1 mCi/m³.
- Peralatan pembersih dan *skimmer*.
- Ventilasi dan filtrasi udara.
- *Supply* air pada keadaan darurat. Peralatan untuk monitor kondisi air, yaitu suhu, tinggi permukaan air, pH, konduktivitas, komposisi kimia dan radiokimia. Kontrol kimia air meliputi pH = 5,0 – 7,5, hantaran listrik 0,9 – 1,2 μ S/cm. Kandungan Cl^- , F^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , dan PO_4^{3-} .

Pada penyimpanan BBNB secara kering kapasitas pengambilan panasnya lebih rendah dibanding secara basah. Oleh karena itu penyimpanan secara kering tidak dilakukan pada tahap awal penyimpanan.

Keselamatan Penyimpanan Gelas-Limbah Hasil Vitrifikasi.

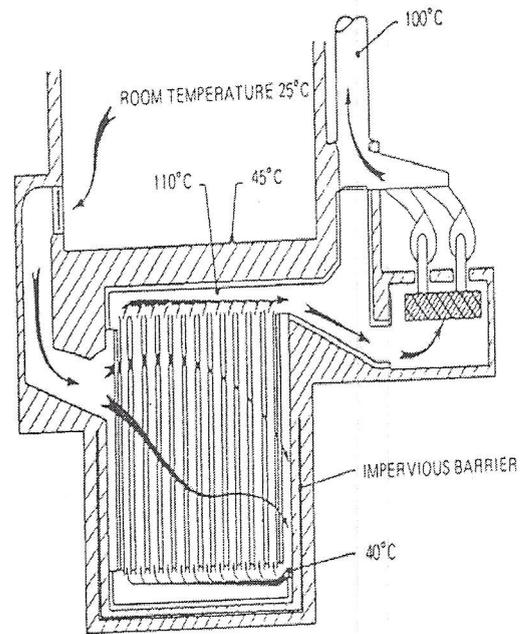
Gelas-limbah hasil vitrifikasi dimasukkan dalam *canister* baja tahan karat 304 L (di Perancis) dan baja tahan karat 304 (di Jepang).

Di Jepang *canister* berukuran tinggi 1040 mm, diameter 430 mm, volume 118 liter dan 93 % volume *canister* (110 liter) berisi gelas – limbah. Aktivitas limbah dalam satu *canister* 4×10^5 Ci dan panas radiasi yang timbul 1,4 kW/jam. *Canister* wadah gelas-limbah ditunjukkan pada Gambar 4(14). Dalam satu *canister* berisi 300 kg gelas-limbah yang komposisinya 75 % berat (225 kg) gelas dan 25 % berat (75 kg) limbah. *Canister* berbentuk silinder vertikal, puncaknya kuat menahan beban 400 kg (berat gelas dan *canister* termasuk angka keamanan) pada saat diangkat dengan *crane*. Puncak dan dasar *canister* dirancang masuk dalam lubang penyimpanan sementara. Dalam tempat penyimpanan sementara, 6 *canister* ditumpuk. Puncak *canister* dirancang mempunyai kekuatan tekan 2000 kg, sedangkan dasar *canister* mampu menahan beban 2400 kg. *Canister* Jepang mampu menahan benturan jatuh dari ketinggian 17 m, yaitu ketinggian maksimum saat transportasi. Penyimpanan sementara *canister* berisi gelas-limbah dengan pendingin udara ditunjukkan pada Gambar 5[2]. Jika terjadi kerusakan sistem pendingin, maka suhu gelas-limbah dapat melampaui 500 °C yaitu suhu transformasi gelas (T_g). Pada suhu tinggi di atas T_g dan dalam jangka lama dapat terjadi devitrifikasi gelas-limbah. Terjadinya devitrifikasi menaikkan laju pelindihan radionuklida dari gelas-limbah ke lingkungan jika terjadi kontak dengan air. Oleh karena itu terjadinya devitrifikasi harus dihindari. Untuk memperpendek masa penyimpanan maka Cs dipisahkan dari LCAT. Kalsinasi LCAT dilakukan pada 700 °C, selanjutnya sublimasi Cs pada 1000 °C. Pemisahan Cs dari LCAT akan mengurangi waktu penyimpanan sementara selama 27 tahun[15].

Setelah disimpan selama 30 – 50 tahun, yaitu kondisi devitrifikasi tidak terjadi maka *canister* berisi gelas-limbah *didisposal* pada lapisan geologi dalam.



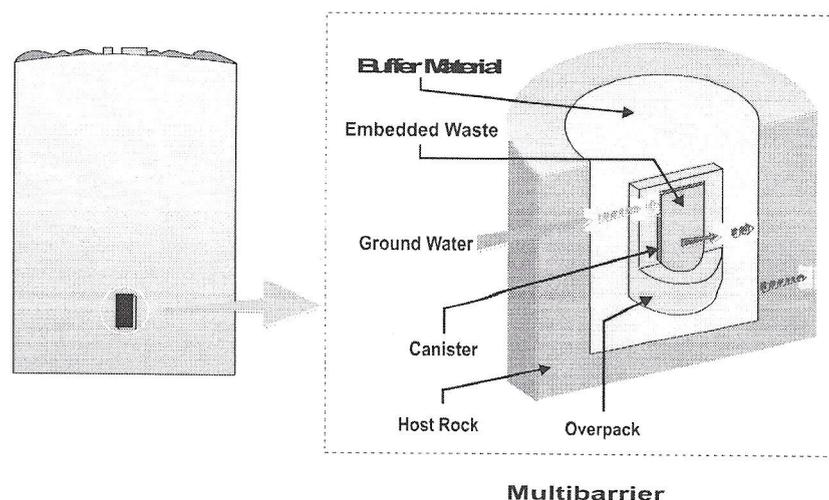
Gambar 4. Bentuk *canister* wadah gelas-limbah[14].



Gambar 5. Sistem pendingin udara gelas-limbah[16].

Konsep Disposal Limbah Aktivitas Tinggi.

Disposal adalah mengisolasi limbah dalam formasi geologi sehingga aman bagi manusia untuk generasi saat ini maupun yang akan datang. *Disposal* limbah aktivitas tinggi dilakukan sedalam 500 – 1000 m di bawah permukaan tanah yang dilengkapi dengan *multi barrier system* (sistem penghalang ganda), yang ditunjukkan pada Gambar 6[9]. Pada sistem penghalang ganda, gelas-limbah berfungsi mengungkung radionuklida dalam bahan matriks. Gelas borosilikat dipilih untuk immobilisasi LCAT, karena relatif mudah pembuatannya, cukup tinggi kandungan limbahnya, stabil dalam jangka panjang, dan telah digunakan dalam skala industri di negara maju seperti Jepang, Perancis, dan Inggris. *Canister* berfungsi untuk memperkuat dan menjaga fisik gelas-limbah selama immobilisasi, penanganan, transportasi, dan dalam disposal sebagai penghalang terhadap instruksi air kedalam gelas-limbah. *Canister* didisain agar mampu bertahan dalam ribuan tahun dengan memperhatikan beberapa persyaratan seperti mampu menahan beban limbah yang besar, persyaratan transportasi, proses immobilisasi, dan ketahanan dalam formasi geologi.



Gambar 6. Sistem penghalang ganda pada disposal limbah aktivitas tinggi[11].

Berdasarkan pengalaman negara maju seperti Jepang, *canister* yang digunakan terbuat dari baja tahan karat 304, karena baja jenis ini mempunyai kekuatan mekanik yang baik dan lebih tahan korosi dibandingkan jenis baja yang lain[17]. *Overpack* berfungsi sebagai penghalang untuk mencegah intrusi air tanah kontak dengan gelas-limbah jika terjadi kerusakan *canister*. *Overpack* didisain agar mampu bertahan selama 1000 tahun atau lebih. Buffer material adalah penghalang rekayasa yang ditempatkan melingkupi seluruh tumpukan paket limbah (gelas-limbah, *canister*, dan *overpack*) dan berfungsi memperpanjang umur *canister*, jika terjadi kerusakan *overpack* dengan cara menghasilkan lingkungan kimia yang kurang kondusif terhadap korosi *canister* dan meningkatkan konduktivitas panas antara *canister* dan *overpack*. Bentonit sangat dikenal sebagai salah satu bahan *buffer material*. Bentonit memiliki kekuatan mekanik dan konduktivitas panas yang rendah. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk *buffer material* digunakan campuran yang mengandung 70 % bentonit dan 30 % pasir silika[11]. Pasir silika untuk memperbaiki konduktivitas panas dan menekan sifat mengembang bentonit. *Backfill material* berfungsi setara dengan *buffer material*, biasanya *backfill material* ditempatkan untuk mengisi ruang kosong dan menutup bagian atas fasilitas disposal, untuk disposal yang berbentuk lubang vertikal. Pada umumnya *backfill material* dipakai bentonit yang memiliki sifat mengembang yang berfungsi menutup ruang sela, sehingga fasilitas *disposal* sukar ditembus air. Kondisi

geologi tempat *disposal* merupakan penghalang alam terhadap isolasi radionuklida limbah. Pada *disposal* formasi geologi dipilih lapisan batuan seperti granit yang kedap air, sehingga potensi terjadinya intrusi air tanah ke dalam fasilitas *disposal* bisa diminimalkan.

PEMBAHASAN

Berdasarkan karakteristik Gambar 1 dan Gambar 3, maka aktivitas total pada 10000 tahun untuk BBNB adalah 700 Ci/ton U, sedangkan untuk limbah aktivitas tinggi adalah 70 Ci/ton U. Pada saat yang sama aktivitas Pu untuk BBNB adalah 500 Ci/ton U, sedangkan untuk limbah aktivitas tinggi 5 Ci/ton U. Jadi pada penyimpanan BBNB masih mungkin terjadi kritikalitas, yaitu terjadinya reaksi fisi karena adanya bahan fisil yaitu U^{235} sisa dan Pu^{239} yang terjadi. Pada gelas-limbah tidak terjadi kritikalitas, karena bahan fisilnya telah diambil pada proses olah ulang. Pengelolaan BBNB memerlukan waktu yang lebih lama dibanding gelas-limbah.

Pada penyimpanan sementara BBNB di dalam kolam penyimpan, banyak aspek yang harus diperhatikan. Matriks bahan bakar dan kelongsong berfungsi sebagai barier untuk perisai radiasi dan mencegah lepasnya bahan radioaktif ke lingkungan serta penyimpanann bahan volatil. Barier selanjutnya adalah kolam dengan sistem bantuanya atau wadah dalam sistem penyimpanan. Kemungkinan lepasnya radionuklida dari BBNB ke air pendingin karena difusi, *thermal crack kelongsong*, dan korosi kelongsong.

Keutuhan struktur perlu dipertahankan pada kondisi beban yang sesuai yaitu tekanan, suhu, lingkungan yang korosif dan perlu mempertimbangkan *creep, fatigue, thermal stress*, korosi dan perubahan sifat material dengan waktu seperti *concrete shrinkage*. Keutuhan kelongsong bahan bakar dan barrier yang lain selama umur fasilitas, keutuhan kolam, kemampuan penyimpanan air harus dijaga. Kelongsong merupakan barrier utama lepasnya radionuklida ke lingkungan. *Zirconium alloy* banyak digunakan untuk kelongsong bahan bakar. Sifat *zirconium alloy* adalah stabil pada suhu kamar dan reaktif terhadap lingkungan pada suhu ratusan derajat. Pada penyimpanan BBNB perlu sistem pendingin dan kontrol pendingin. Kemurnian pendingin sangat diperlukan untuk menghindari terjadinya reaksi kimia bahan pendingin dan kelongsong, sehingga kerusakan kelongsong dapat dihindarkan. Hal ini berarti mengurangi terlepasnya radionuklida ke lingkungan.

Pada penyimpanan BBNB secara kering, kapasitas pengambilan panasnya lebih rendah dibanding secara basah. Oleh karena itu penyimpanan secara kering tidak dilakukan pada tahap awal penyimpanan. Struktur fasilitas penyimpanan sementara BBNB secara kering adalah meliputi wadah (*cask storage*) dan bangunan penyimpan dengan struktur *reinforce cement*. *Cask storage* untuk bahan bakar nuklir bekas LWR di USA berukuran diameter 2,0 – 2,5 m, tinggi 6,4 – 7,0 m dan berat 90 – 120 ton dengan fraksi bakar rata-rata 27.500 – 33.000 MWd/t U. Bahan perisai terdiri dari Pb dan bahan perisai neutron. Laju dosis yang diperkenankan adalah 200 mrem pada permukaan *cask* dan 10 mrem pada jarak 1 m dari permukaan *cask*. Sebagai pelindung adalah *cask* dan kelongsong bahan bakar. Bahan bakar nuklir bekas yang disimpan secara *cask storage* adalah yang telah mengalami pendinginan selama 5 tahun atau lebih. Untuk menjamin keutuhan bahan bakar nuklir bekas selama penyimpanan, maka dilakukan pemantauan kebocoran *cask*.

Pada penyimpanan LAT dalam bentuk gelas-limbah, maka sebagai barrier lepasnya radionuklida ke lingkungan adalah gelas dan barrier kedua adalah canister dari baja tahan karat. Barrier ketiga adalah beton dan Pb yang merupakan bahan konstruksi tempat

penyimpanan sementara yang umumnya berada di bawah permukaan tanah. Pendingin udara digunakan untuk mengambil panas peluruhan sehingga suhu gelas-limbah di bawah 500 °C (suhu transformasi gelas-limbah), sehingga mencegah terjadinya kristalisasi gelas-limbah. Unsur-unsur volatil sudah tidak ada pada saat pengujian udara melewati *Bell Jar* yang menutupi tutup *canister*[11].

Dari segi aspek keselamatan, maka pada penyimpanan LAT dalam bentuk gelas-limbah aman karena radionuklida terikat oleh matriks gelas yang terkungkung dalam canister baja tahan karat, tidak terjadi kritis karena tidak mengandung atau sedikit sekali bahan fisil, penyimpanan secara kering kemungkinan terjadi korosi canister lebih rendah, dan operasi lebih sederhana serta lebih murah. Pada disposal lama penyimpanan LAT dalam bentuk BBNB lebih lama. Pada penyimpanan BBNB secara basah untuk menghindari terjadinya lepasnya radionuklida ke air kolam harus mempertahankan keutuhan struktur, keutuhan kelongsong BBNB, keutuhan kolam dan barrier yang lain selama umur fasilitas serta kemampuan penyimpanan air harus dijaga. Kemungkinan lepasnya radionuklida dari BBNB ke air pendingin karena difusi, *thermal cracking* kelongsong, dan korosi kelongsong.

Konsep *disposal* dalam formasi geologi untuk BBNB dan gelas-limbah sama, dan disposal untuk kedua jenis bentuk limbah tersebut belum dilakukan. Konsep fasilitas *disposal* dengan *multibarrier system* yang meliputi gelas-limbah, *canister, overpack*, dan *buffer material* dan *backfill material* serta batuan granit sebagai penghalang alami.

KESIMPULAN

Umur pengelolaan pada BBNB jauh lebih lama dibandingkan limbah cair aktivitas tinggi yang diimobilisasi gelas borosilikat. Pada penyimpanan limbah aktivitas tinggi dalam bentuk gelas-limbah radionuklida terikat oleh matriks gelas yang terkungkung dalam canister baja tahan karat, tidak terjadi kritis karena tidak mengandung atau sedikit sekali bahan fisil, dan penyimpanan secara kering kemungkinan terjadinya korosi canister lebih rendah, operasi lebih sederhana serta lebih murah. Pada penyimpanan BBNB dapat terjadi kritikalitas, karena masih banyak

mengandung bahan fisil. Konsep disposal atau disposal dalam formasi geologi untuk BBNB dan gelas-limbah sama, dan disposal untuk kedua jenis bentuk limbah tersebut belum dilakukan. Pengelolaan LCAT dalam gelas limbah perlu waktu 10^6 tahun, sedangkan dalam bentuk bahan bakar bekas perlu waktu 10^7 tahun.

DAFTAR PUSTAKA

1. SHIRAI E, "Nuclear Fuel Cycle", Japan Electric Power Information Center, Japan, 1993.
2. International Atomic Energy Agency, "Spent Fuel Performance Assessment and Research", TECDOC - 1343, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2003.
3. Swedish Nuclear Fuel Supply Co, "Final Storage of Spent Nuclear Fuel - KBS - 3", SNFS Co, Stockholm, 1983.
4. Sasaki N, "Solidification of The High Level Liquid Waste From The Tokai Reprocessing Plant", PNC, Tokai-Mura, Japan, 1994.
5. Mendel J.E, "The Fixation Of High Level Wastes in Glasses", Pacific Northwest Laboratory, Washington 99352, 1985.
6. Horie M, "Advanced Technology of High Level Liquid Waste Management by Super High Temperature Method, JNC - Japan, 2000.
7. Suryantoro, dkk, "Pengaruh Devitrifikasi Terhadap Laju Pelucutan Gelas yang Mengandung Limbah Cair Aktivitas Tinggi Simulasi", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 1995.
8. MARTONO H, "Report on Radioactive Waste Treatment and Disposal at Korea Atomic Energy Research Institute", Republic of Korea, Taejon, 1999.
9. Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, "Japan's National Policy For The Back End Of The Nuclear Fuel Cycle", Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, Tokyo, 1987.
10. Mattsson E, "Canister Materials Proposed For Final Disposal Of High Level Nuclear Waste", Swedish Corrosion Institute, Stockholm, 1981
11. Aisyah, "Pengaruh Intrusi Air Laut Terhadap Ketahanan Korosi Wadah Gelas- Limbah Dalam Penyimpanan Lestari", Prosiding Seminar Nasional XV, Kimia Dalam Industri dan Lingkungan, 2006.
12. JGC, "Spent Fuel Storage Facility". Japan, 1995.
13. Lang - Leton. J, "Surveillance and Inspections at Wet Storage", Frederick, 1995.
14. Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, "Operation Summary for PNC Facilities", Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation, Japan, Tokyo, 1992.
15. Horie M, "Super High Temperature Method For Treatment of High Level Liquid Waste", Waste Management Seminar, Tucson, Arizona, USA, 2003.
16. International Atomic Energy Agency, "Handling and Storage of Conditional High Level Waste Safety Series No. 229, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1983.
17. Harsono Wiryosumarto, et al, *Teknologi Pengelasan Logam*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 1996.

TANYA JAWAB

Susana Tuning

- Apa manfaat dilakukan proses olah ulang bahan bakar nuklir bekas ?

Herlan Martono

- Manfaat dilakukan olah ulang adalah:
 - Untuk memperoleh bahan bakar baru
 - Mencegah tidak terjadi kritikalitas
 - Umur limbah aktivitas tinggi menjadi lebih pendek

- Radionuklida lebih sukar terlepas ke lingkungan

Jadia Ginting

- Pada penyimpanan hasil vitrifikasi kenapa kristalisasi gelas harus dihindari ?

Herlan Martono

- Kristalisasi gelas atau devitrifikasi terjadi pada suhu 500 - 900 °C. Terjadinya kristalisasi dihindari dengan sistem pendinginan, karena kristalisasi akan menaikkan laju pelindihan gelas-limbah.

DAFTAR PESERTA

No.	Nama	Alamat
01	Agus Sujatno	Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju – BATAN PSTBM-BATAN, Kawasan Puspiptek, Gd. 71, Serpong, Tangerang Selatan, Banten 15314
02	Aisyah	Pusat Teknologi Limbah Radioaktif - BATAN Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Gedung 50, Tangerang Selatan, Banten 15310 aisyah@batan.go.id
03	Ani Isnawati	Pusat Biomedis dan Teknologi Dasar Kesehatan, Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Kemkes RI Percetakan Negara No. 29, Jakarta 10560
04	Aryanti	Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN Jl. Lebak bulus raya No 49 Jakarta 12070 Fax : 021 7513270
05	Aryo Dwi Handoko	UPT Loka Uji Teknik Penambangan Jampang Kulon, LIPI Jl. Cihaur No. 2 Desa Kertajaya, Kecamatan Simpenan, Kabupaten Sukabumi 40559 Telepon (0266) 490533, Fax (0266) 490544
06	Ashar Andrianto., ST	PSTA – Batan Jl. Babarsari Yogyakarta
07	Betalini Widhi Hapsari	Pusat Penelitian Bioteknologi-LIPI Jalan Raya Bogor Km. 46 Cibinong, 16911. Tel. 021-8754587, Fax. 021-8754588; *E-mail : betalini_widhi@yahoo.com
08	D. Mutiatikum	Pusat Biomedis dan Teknologi Dasar Kesehatan Kementrian Kesehatan RI Jl. Percetakan Negara 29 Jakarta Pusat.

- 09 Daman Suyadi UPT Loka Uji Teknik Penambangan
Jampang Kulon, LIPI
Jl. Cihaur No. 2 Desa Kertajaya, Kecamatan
Simpenan,
Kabupaten Sukabumi 40559
Telepon (0266) 490533,
Fax (0266) 490544
- 10 Darwin A Siregar,. Drs Badan Geologi, Pusat Survei Geologi,
Jl. Diponegoro no. 57.
Bandung
- 11 Deris Selawati Fak. Mipa – Kimia
Universitas Gajah Mada
Yogyakarta
- 12 Deswita Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju –
BATAN
PSTBM-BATAN, Kawasan Puspiptek, Gd.
71,
Serpong, Tangerang Selatan,
Banten 15314
- 13 Dwi Luhur Ibnu Saputra Pusat Teknologi Limbah Radioaktif –
BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Gedung 50,
Tangerang Selatan, Banten 15310
- 14 Eddy Djatmiko Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik –
Universitas Pancasila
Srengseng, Sawah Jagakarsa,
Jakarta 12540
Tel/ Faxes (021) 7270128
- 15 Elman Panjaitan Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju –
BATAN
PSTBM-BATAN, Kawasan Puspiptek, Gd.
71,
Serpong, Tangerang Selatan,
Banten 15314
- 16 Evi Yulianti Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju –
BATAN
PSTBM-BATAN, Kawasan Puspiptek, Gd.
71,
Serpong, Tangerang Selatan,
Banten 15314
- 17 Evie Lestariana Bidang Teknologi Propelan,
Pusat Teknologi Roket, LAPAN
Ds. Sukamulya, Rumpin,
Bogor 16350
Telp. : (021)7560090, Fax. : (021)75790037
E-mail :evielestariana@yahoo.com

- 18 Fahmi Sulistyohadi Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral Jalan Jendral Sudirman No. 623 Bandung 40211
- 19 Gandhi Kurnia Hudaya, ST Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara Badan Penelitian dan Pengembangan Energi dan Sumber Daya Mineral Jalan Jendral Sudirman No. 623 Bandung 40211
Gandhi.kurnia@tekmira.esdm.go.id
- 20 Gatot Trimulyadi Rekso Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional Jl. Lebak bulus raya No 49 Jakarta 12070 Fax : 021 7513270. E-mail : gatot2811@yahoo.com
- 21 Harmastini Sukiman Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI / Research Center for Biotechnology, Indonesian Institute of Sciences Jl Raya Bogor Km 46, Cibinong, Bogor email: harmastini@yahoo.com
- 22 Harry Supriadi Pusat Sains dan Teknologi Akselerator – BATAN Jl, Babarsari Yogyakarta harrysupriadi48@yahoo.com
- 23 Harsojo PAIR-BATAN, Jl. Lebak Bulus Raya No.49 Jaksel 14040
- 24 Hendrik Edison Pusat Biomedis dan Teknologi Dasar Kesehatan Badan Litbangkes Kementerian Kesehatan RI Jl. Percetakan Negara 23 Jakarta
- 25 Herlan Martono Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Gedung 50, Tangerang Selatan, Banten 15310
- 26 I. Nyoman K Kabinawa., Prof Puslit Bioteknologi – LIPI Jl. Raya Cibinong Km 46, Cibinong – Bogor Tel: 021- 8754587; E-mail :ink.kabinawa@yahoo.com

- 27 Ika Monika
Pusat Penelitian dan Pengembangan
Teknologi Mineral dan Batubara
Badan Penelitian dan Pengembangan Energi
dan Sumber Daya Mineral
Jalan Jendral Sudirman No. 623
Bandung 40211
- 28 Imam Prayogo., ST
PSTA – Batan
Jl. Babarsari
Yogyakarta
- 29 Indra Gunawan., M.Sc
Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju –
BATAN
PSTBM-BATAN, Kawasan Puspiptek, Gd.
71,
Serpong, Tangerang Selatan,
Banten 15314
- 30 Jadigia Ginting
BSBM PSTBM BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong
Jl Raya Puspiptek Serpong
Tangerang Selatan 15320
- 31 Kasnodihardjo
Pusat Teknologi Intervensi Kesehatan
Masyarakat
Badan Penelitian Dan Pengembangan
Kesehatan, Kementerian Kesehatan RI
Jl. Percetakan Negara 29
Jakarta Pusat.
kasnodihardjo@litbang.depkes.go.id
, kasnodihardjo@yahoo.com
- 32 Kristina
Pusat Teknologi Intervensi Kesehatan
Masyarakat,
Badan Penelitian dan Pengembangan
Kesehatan
Jl. Percetakan Negara 23
Jakarta
kristina80@ymail.com
- 33 Lenny Marilyn Estiaty
Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI
Kompleks LIPI
Jl. Cisitua-Sangkuriang Gd. 70
Bandung
Telp. 022 2503654, Fax. 02202504593
- 34 Lyza Primadona
UPT Loka Uji Teknik Penambangan
Jampang Kulon, LIPI
Jl. Cihaur No. 2 Desa Kertajaya, Kecamatan
Simpenan, Kabupaten Sukabumi 40559
Telepon (0266) 490533,
Fax (0266) 490544

- 35 M. Hasyimi
Pusat Teknologi Intervensi Kesehatan Masyarakat,
Balitbangkes, Kemkes RI.
Jl. Percetakan Negara 29
Jakarta Pusat.
- 36 Made Sumarti K.
Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN
Jln. Lebak Bulus Raya No. 49,
Kotak Pos 7002 JKSKL,
Jakarta 12440
E-mail:titykardha@gmail.com
- 37 Mariana Raini
Pusat Biomedis dan Teknologi Dasar Kesehatan,
Badan Libangkes, Kemenkes RI
Percetakan Negara No. 29,
Jakarta 10560
- 38 Maulida Tri Agustina Miharjo
Fak. Mipa – Kimia
Universitas Gajah Mada
Yogyakarta
- 39 Merryani Girsang
Pusat Biomedis dan Teknologi dasar Kesehatan Badan Litbangkes¹.
Jl. Percetakan Negara 23
Jakarta
Email: merry@litbang.depkes.go.id
Hp. 0818124851
- 40 Oktaviani
Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR)-
BATAN,
Jl. Lebak Bulus Raya No.49
Jaksel 14040
Email: okta_hanif@yahoo.com
- 41 Prayitno,. Ir, MT
PSTA – Batan
Jl. Babarsari
Yogyakarta
- 42 Puguh Prasetyoputra
Center for Public Health Intervention Technology,
NIHRD, Ministry of Health, Republic of Indonesia
Jl. Percetakan Negara No. 29,
Jakarta Pusat, Indonesia
Fax. (+62)21 42872392

- 43 Rachma Yulia Fatmawati Fak. Mipa – Kimia
Universitas Gajah Mada
Yogyakarta
- 44 Ratih Nurjayati UPT Loka Uji Teknik Penambangan
Jampang Kulon LIPI
Jl. Cihaur No. 2
Desa Kertajaya Kec. Simpenan
Kab. Bandung
- 45 Rizna Triana Dewi Pusat Penelitian Kimia – Lembaga Ilmu
Penelitian Indonesia,
Kawasan PUSPIPTEK Serpong,
Tangerang Selatan Banten Indonesia
- 46 Rohmana Taufik Pusat Penelitian Kimia
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
(LIPI)
Kawasan Puspiptek
Serpong 15314 Tangerang Selatan
- 47 Rosalinawati Dewi, ST Badan Geologi, Pusat Survei Geologi,
Jl. Diponegoro no. 57.
Bandung
- 48 Rudi Cahyono Fak. Mipa Kimia
Univ. Gajah Mada
Yogyakarta
- 49 Rudiyanto Pusat Penelitian Bioteknologi LIPI
Jalan Raya Bogor Km 46,
Cibinong, Bogor 16911
Telp: +6218754587;
Fax: +628754588
E-mail : rudidinasty@yahoo.com
- 50 S i g i t., Prof, Dr Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-
BATAN,
Kawasan PUSPIPTEK,
Serpong 15314
Telp.(021) 756 0915,
Faks (021) 756 0547
- 51 S i h o n o PSTA – Batan
Jl. Babarsari
Yogyakarta
- 52 Sehataman Pusat penelitian dan Pengembangna
Kesehatan,
Balitbangkes, Depkes. RI
Percetakan Negara No. 29,
Jakarta 10560
hatman@litbang.depkes.go.id

- 53 Sri Irianti, SKM, Mphil, PhD Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, Jl. Percetakan Negara No. 29, Jakarta 10560
- 54 Sri Rejeki., Dra Sekolah Tinggi Analis Bogor Jl. P. Sogiri 283 Tanah Baru Bogor
- 55 Sugik Sugiantoro Bidang Sains dan Bahan Maju, PSTBM – BATAN Kawasan Puspiptek Serpong, TANGERANG 15314
- 56 Suharjo Pusat Teknologi Intervensi Kesehatan Masyarakat, Badan Penelitian dan Pengembangan Kesehatan Jl. Percetakan Negara 23 Jakarta
- 57 Sukmayati Alegantina Pusat Biomedis dan Teknologi Dasar Kesehatan, Balitbangkes, Kemkes RI Percetakan Negara No. 29, Jakarta 10560
- 58 Sumaryo Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju – BATAN PSTBM-BATAN, Kawasan Puspiptek, Gd. 71, Serpong, Tangerang Selatan, Banten 15314
- 59 Suprihati PSTA – Batan Jl. Babarsari Yogyakarta
- 60 Susana Tuning. Dra, MT PSTA – Batan Yogyakarta Jl. Babarsari Yogyakarta 55281
- 61 Sutjipto., Drs, MS PSTA – Batan Jl. Babarsari Yogyakarta
- 62 Sutoto Pusat Teknologi Limbah Radioaktif – BATAN Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Gedung 50, Tangerang Selatan, Banten 15310
Email : sutoto@batan.go.id

