



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 Grlha Widya Bhakti
PUSPIPTEK Tangerang Selatan, Banten*

*Diterbitkan pada :
30 Desember 2015*

PUSAT TEKNOLOGI LIMBAH RADIOAKTIF
BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL

PROSIDING SEMINAR NASIONAL TEKNOLOGI PENGELOLAAN LIMBAH XIII

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

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. Kwat 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 Nurliati, 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-IPS3 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 385
Rachmat Sahputra
42. Analisis Integrasi ISO 9001 dan ISO 14001 391
Muh. Azwar Massijaya, Sih Damayanti, Sik Sumaedi, Medi Yarmen
43. Pengelolaan Tailing Tambang Timah Menggunakan Tanaman Akar Wangi (*Vetiveria zizanioides*) 403
Tuti Suryati , Dominikus H. Akhadi
44. Pemanfaatan Teknologi *Infrared Thermography* Untuk Memantau Distribusi Panas Pada Panel Sistem Penyedia Air Dingin Di Sistem Ventilasi Daerah Radiasi Rendah RSG-GAS 415
Teguh Sulisty, M. Taufiq
45. Manajemen Limbah *Gamma Knife® Perfexion* di Indonesia 431
Irhas, Elia Soediatmoko, Sammuel Mamesa

KARAKTERISTIK RADIOAKTIVITAS LEPASAN EFLUEN LIMBAH CAIR PADA OPERASI PLTN PWR 1000 MWe

Nurokhim

Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN
nurokhim@batan.go.id

ABSTRAK

KARAKTERISTIK RADIOAKTIVITAS LEPASAN EFLUEN LIMBAH CAIR PADA OPERASI PLTN PWR 1000 MWe. Penggunaan nuklir sebagai pembangkit listrik akan terus meningkat di masa yang akan datang. Dalam operasi PLTN akan ditimbulkan berbagai radionuklida yang dapat lepas ke lingkungan. Informasi radioaktivitas berbagai radionuklida dalam lepasan efluen limbah cair sangat diperlukan dalam pengkajian dampak radiologi lingkungan. Makalah ini memaparkan karakteristik radioaktivitas lepasan efluen limbah cair dari operasi PLTN jenis PWR. Karakteristik radioaktivitas dipelajari dengan simulasi program PWR-GALE dan mengkaji data laporan lepasan efluen dari operasi PLTN. Dengan menggunakan masukan data spesifikasi serta asumsi-asumsi dalam pengelolaan limbah, program PWR-GALE dijalankan untuk menghitung radioaktivitas berbagai radionuklida dalam lepasan efluen limbah cair. Keluaran PWR-GALE dibandingkan dengan data laporan lepasan efluen limbah cair dari tiga PLTN: Diablo Canyon, San Onofre dan Donald C. Cook yang beroperasi di Amerika Serikat. Hasil studi menunjukkan bahwa radioaktivitas efluen limbah cair PLTN PWR 1000 MWe didominasi oleh radionuklida Tritium dengan lepasan rata-rata mencapai 1039 Ci per tahun. Produk korosi teraktivasi memberikan porsi lepasan rata-rata 4 - 8 kali lebih besar dari produk fisi dengan besaran antara 2,15 – 35,5 mCi per tahun. Disamping itu, lepasan efluen limbah cair mengandung banyak gas terlarut yang radioaktivitasnya lebih besar dari kelompok produk fisi.

Kata Kunci : radioaktivitas, radionuklida, efluen, PLTN.

ABSTRACT

RADIOACTIVITY CHARACTERISTICS OF LIQUID WASTE EFFLUENTS ON THE NPP OPERATION OF PWR 1000 MWe. *The use of nuclear power plants will continue to increase in the future. In the operation of nuclear power plants (NPP) will be generated of various radionuclides that can discharge into the environment. Information radioactivity of various radionuclides in liquid waste effluents is needed in the environmental radiological impact assessment. This paper describes the characteristics of radioactivity liquid waste effluents discharges from operation of nuclear power plants of PWR type. Characteristics of radioactivity was studied by simulating of PWR-GALE program and reviewing of effluents release report from NPP data operations. By using inputs of specification data and assumptions in waste management, the program of PWR-GALE was run to calculate the radioactivity of various radionuclides in liquid effluents waste. Output of PWR-GALE was compared with report data of effluent release from three of nuclear power plants: Diablo Canyon, San Onofre and Donald C. Cook that operated in the United States of America. The result shows that the radioactivity of liquid effluents of PWR 1000 MWe nuclear power plant is dominated by radionuclide of Tritium with an average discharge reach to 1039 Ci per year. Activated corrosion product gives an average effluent discharge 4 -8 times larger than the amount of fission products with magnitude between 2.15 and 35.5 mCi per year. On the otherhand, the liquid effluent contain dissolved gases that are greater than the fission products.*

Keywords : radioactivity, radionuclide, effluent, nuclear power plant.

PENDAHULUAN

Penggunaan reaktor nuklir sebagai pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) di dunia akan semakin meningkat dimasa yang akan datang. Saat ini 438 PLTN beroperasi di 31 negara dengan kapasitas listrik terpasang hampir 380 GWe^[1], dan sebanyak 67 PLTN baru dengan kapasitas sekitar 65 GWe sedang dibangun di 16 negara^[2]. Proyeksi IAEA sampai tahun 2050, penggunaan PLTN akan meningkat pesat khususnya di kawasan Timur Jauh (China, Jepang, Korea, Vietnam, dsb.) yang pertumbuhan ekonominya terus tinggi, dengan asumsi peningkatan rendah saja daya PLTN terpasang tetap akan meningkat 13% di tahun 2020 dibanding tahun 2014, dan diperkirakan akan meningkat 51% dan 71% pada tahun 2030 dan 2050. Sedangkan di kawasan Asia Tenggara dan Pasifik (Indonesia, Thailand, Malaysia, Singapura, Australia, dsb.), IAEA memproyeksikan setidaknya ada 4 GWe listrik dari PLTN pada tahun 2030^[3].

Di Indonesia, infrastruktur untuk pembangunan PLTN telah siap, studi lokasi di Semenanjung Muria, Bangka Barat dan Bangka Selatan telah selesai dilakukan. Misi *Integrated Nuclear Infrastructure Review* (INIR) dari IAEA menyatakan bahwa Indonesia telah menyelesaikan sebagian besar persyaratan persiapan yang memungkinkan negara mengambil keputusan untuk membangun PLTN, dengan kata lain Indonesia sudah siap memasuki fase 2 dalam metodologi *milestone* yang dibuat IAEA, yaitu mempersiapkan kontrak dan konstruksi PLTN^[4]. Dalam kebijakan energi nasional, PLTN masuk dalam kelompok Energi Baru

Terbarukan (EBT) yang perannya diharapkan mampu mendukung kebijakan energi bauran sebesar 25% dari total kebutuhan energi pada tahun 2030 dan 31% pada 2050 bersama-sama dengan EBT lainnya^[4,5,6].

Selama operasi reaktor nuklir berbagai isotop radioaktif tercipta akibat proses aktivasi dan fisi oleh neutron. Berbagai radionuklida produk aktivasi (korosi teraktivasi) seperti Cr-51, Mn-54, Fe-55, Co-60, dapat terbentuk didalam pendingin primer, moderator, elemen kendali atau kelongsong bahan bakar. Radionuklida produk fisi seperti Kr-85, I-131, Xe-133, Cs-137 yang terbentuk dalam bahan bakar dapat terlepas ke pendingin primer melalui kelongsong bahan bakar. Proses *degassing*, purifikasi pendingin primer, kemungkinan kontaminasi ke pendingin sekunder atau *steam generator* dan turbin, serta berbagai kebocoran yang sudah diperkirakan akan membawa berbagai radionuklida tersebut terlepas ke lingkungan.

Dalam perkembangan PLTN yang demikian, monitoring radiologi lingkungan menjadi hal yang sangat penting, radiasi dapat menyebar secara global baik melalui udara maupun air. Untuk mengkaji dampak operasi PLTN baik dalam kondisi normal maupun kecelakaan, maka karakteristik suku sumber (*source term*) radiasi harus teridentifikasi dengan jelas, baik jenis maupun kuantitas berbagai radionuklida yang terlepas ke lingkungan. Oleh karena itu informasi radioaktivitas berbagai radionuklida dalam lepasan efluen limbah sangat diperlukan dalam pengkajian dampak radiologi dari lepasan efluen PLTN ke lingkungan.

Dalam makalah ini dilaporkan hasil kajian karakteristik radioaktivitas lepasan efluen limbah cair dari operasi PLTN jenis PWR 1000 MWe, jenis PLTN yang paling banyak beroperasi dan banyak dibangun. Karakteristik radioaktivitas dipelajari dengan simulasi menggunakan program PWR-GALE dan mengkaji data laporan operasi PLTN yang tersedia. PWR-GALE merupakan program yang dapat digunakan untuk menghitung lepasan material radioaktif dalam efluen gas dan cair. Dengan menggunakan masukan data spesifikasi serta asumsi-asumsi dalam proses pengelolaan limbah, PWR-GALE dapat digunakan untuk menghitung radioaktivitas berbagai radionuklida dalam lepasan efluen limbah cair. Keluaran PWR-GALE dibandingkan dengan data-data laporan lepasan efluen limbah cair dari tiga PLTN yang telah beroperasi di Amerika Serikat: Diablo Canyon, San Onofre dan Donald Cook yang beroperasi di Amerika Serikat.

METODOLOGI

Langkah awal dalam penelitian ini adalah mempelajari spesifikasi masukan program PWR-GALE. Dengan pertimbangan desain spesifikasi reaktor PWR, deskripsi dan spesifikasi pengelolaan limbah dalam PLTN, serta *user manual* PWR-GALE^[7,8,9], dibuat data masukan spesifikasi operasi PLTN PWR 1000 MWe (3400 MWt). Bersama dengan asumsi-asumsi parameter dalam proses pengolahan limbah, khususnya limbah cair dibuat data acuan untuk parameter masukan PWR-GALE seperti Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data Spesifikasi Operasi dan Sistem pengolah limbah untuk masukan PWR-GALE [7,8,9]

Spesifikasi parameter masukan	Angka besaran / kode
Daya thermal reaktor (MWt)	3400
Masa pendingin primer (lbs)	5,50 x 10 ⁵
Letdown rate sistem primer (GPM: gallon per menit)	75
Letdown rate “Cation demineralizer” (GPM)	7,50
Jumlah steam generator (pembangkit uap)	4
Total laju alir uap (lbs/jam)	1,5 x 10 ⁷
Masa air di tiap steam generator (lbs)	112,5 x 10 ³
Total blowdown rate (lbs/jam)	75 x 10 ³
Lama regenerasi “Condensate Demineralizer” (hari)	8,4
Fraksi aliran “Condensate Demineralizer”	0,65
<i>Shim bleed</i> : kontrol boron pada pendingin primer	
Laju bleed (GPD: gallon per hari)	1440
Faktor Dekontaminasi I, Cs/Rb, dan Radionuklida lainnya	5000, 2000 dan 100000
Lama pengumpulan (hari)	22,6
Lama proses dan pembuangan (hari)	0,93
Fraksi buangan	0,1
<i>Drain dan Clean waste</i>	
Laju alir (GPD)	980
Faktor Dekontaminasi I, Cs/Rb, dan Radionuklida lainnya	500, 1000, 10000
Lama pengumpulan (hari)	5,7
Lama proses dan pelepasan (hari)	0,13
Fraksi lepasan efluen	0,1
<i>Limbah kotor (Dirty waste)</i>	
Laju alir limbah kotor (GPD)	2100
Faktor Dekontaminasi I, Cs/Rb, dan Radionuklida lainnya	500, 1000, 10000
Lama pengumpulan (hari)	3,8
Lama proses dan pelepasan efluen (hari)	0,19
Fraksi lepasan efluen	1
<i>Limbah Blowdown</i>	
Fraksi blowdown yang diproses	1
Faktor Dekontaminasi I, Cs/Rb, dan Radionuklida lainnya	1000, 100, 1000
Lama pengumpulan (hari)	0
Lama proses dan pelepasan (hari)	0
Fraksi lepasan efluen	0
Laju alir Regenerasi (GPD)	3400

Data Tabel 1 digunakan untuk masukan program PWR-GALE kemudian dijalankan untuk menghitung radioaktivitas total berbagai radionuklida yang terlepas dalam efluen limbah cair. Program dijalankan ulang untuk menguji beberapa parameter masukan yang sangat berpengaruh pada keluaran hasil perhitungan.

Keluaran program dianalisis dan dibandingkan dengan data-data riil laporan lepasan efluen limbah cair dari operasi PLTN di Amerika Serikat [10]. Data lepasan efluen cair diambil dari laporan PLTN Diablo Canyon (2010-2014) [11-15], San Onofre (2009-2013) [16-20] dan Donald Cook (2010-2014) [21-25]. Data triwulan radioaktivitas berbagai radionuklida dalam lepasan efluen limbah cair baik *continue* maupun *batch* dijumlahkan dalam satu tahun, kemudian dihitung aktivitas rata-ratanya (ARN) dalam periode 5 tahun. Radioaktivitas radionuklida yang terlepas (RRL) dalam efluen cair per 1000 MWe per tahun kemudian dihitung dengan :

$$RRL = ARN / F_b \text{ (Ci per 1000 MWe per tahun)}$$

Dengan F_b : Faktor bobot daya reaktor (2,24 untuk PLTN Diablo; 2,254 untuk San Onofre dan 2,155 untuk Donald Cook).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Radioaktivitas radionuklida keluaran PWR-GALE

Radioaktivitas berbagai radionuklida dalam efluen limbah cair yang terlepas kelingkungan dari perhitungna PWR-GALE seperti pada Tabel 2. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa radionuklida yang paling aktif (radioaktivitasnya) terlepas ke lingkungan adalah Tritium (H-3). Besar radioaktivitas tritium ini sangat tergantung (sensitif) pada pemasangan nilai parameter pengolahan limbah, terutama volume (laju terbentuknya limbah) dan fraksi lepasan efluen limbah cair. Jika dibandingkan, radioaktivitas tritium ini akan $1,71 \times 10^4$ kali lebih besar dari radioaktivitas total kelompok produk korosi teraktivasi (PKT), dan $3,53 \times 10^3$ kali lebih besar dari radioaktivitas total kelompok produk fisi (PF).

Tabel 2. Aktivitas Radionuklida dalam lepasan efluen Limbah Cair (Ci per tahun)

Produk korosi teraktivasi		Produk fisi					
Radionuklida	Aktivitas	Radionuklida	Aktivitas	Radionuklida	Aktivitas	Radionuklida	Aktivitas
Na-24	1,10E-03	Sr-89	1,00E-04	Rh-106	7,70E-03	I-135	2,10E-02
P-32	1,80E-03	Sr-90	1,00E-05	Ag-110m	1,30E-03	Cs-136	1,30E-03
Cr-51	5,00E-03	Sr-91	2,00E-05	Ag-110	1,00E-05	Cs-137	3,00E-02
Mn-54	3,90E-03	Y-91m	1,00E-05	Sb-124	4,30E-04	Ba-137m	1,30E-02
Fe-55	7,30E-03	Y-91	9,00E-05	Te-129m	2,00E-05	Ba-140	1,90E-03
Fe-59	2,20E-03	Y-93	7,00E-05	Te-129	2,00E-05	La-140	1,60E-03
Co-58	8,30E-03	Zr-95	1,10E-03	Te-131m	6,00E-05	Ce-141	2,40E-04
Co-60	1,40E-02	Nb-95	1,90E-03	I-131	4,60E-02	Ce-143	1,10E-04
Ni-63	1,70E-03	Mo-99	4,10E-04	Te-132	1,00E-04	Pr-143	1,00E-05
Zn-65	4,00E-04	Tc 99m	3,00E-04	I-132	3,10E-03	Ce-144	4,20E-03
W-187	8,00E-05	Ru-103	9,10E-04	I-133	4,20E-02	Pr-144	3,30E-04
Np-239	1,10E-04	Rh-103m	6,10E-04	I-134	2,10E-04	Lainnya	1,00E-05
Total	4,59E-2	Ru-106	1,70E-02	Cs-134	2,20E-02	Total	2,19E-01
Total Tritium (H-3) : 783 Ci							

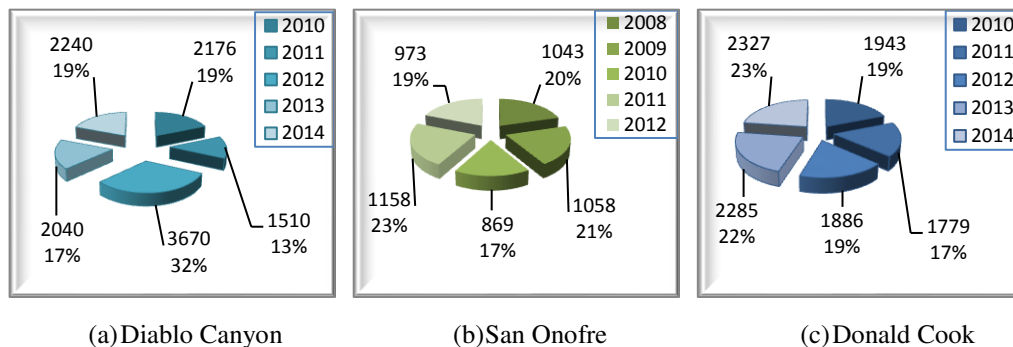
Diluar Tritium, dari Tabel 2 dapat diperoleh bahwa 82,3% radioaktivitas berasal dari radionuklida kelompok produk fisi dengan aktivitas dalam orde $10^{-5} - 10^{-2}$ Ci dan 17,3% dari kelompok produk korosi teraktivasi dengan aktivitas dalam orde yang sama. Pada kelompok produk fisi, seperti tampak pada Tabel 3, Iodine (I) beserta Cesium (Cs) dan anak luruhnya Barium (Ba137m) mendominasi sekitar 80% aktivitas kelompok produk fisi, kemudian Ruthenium (Ru), Rhodium (Rh) dan Cerium (Ce) yang bersama-sama berkontribusi sekitar 13%. Sedangkan pada kelompok produk korosi teraktivasi radionuklida-radionuklida Cobalt (Co), Besi (Fe), Crom (Cr) dan Manganes (Mn) mendominasi 88% aktivitas, kemudian Posfor (P), Nikel (Ni), Natrium (Na) dan Zeng (Zn) bersama-sama berkontribusi sekitar 10% radioaktivitas.

Tabel 3. Aktivitas dan persentase radionuklida di masing-masing kelompok produk fisi dan korosi teraktivasi.

Produk fisi			Produk korosi teraktivasi		
Radionuklida	Aktivitas	% aktivitas	Radionuklida	Aktivitas	% aktivitas
I-131	4,60E-02	20,99%	Co-60	1,40E-02	30,51%
I-133	4,20E-02	19,16%	Co-58	8,30E-03	18,09%
Cs-137	3,00E-02	13,69%	Fe-55	7,30E-03	15,91%
Cs-134	2,20E-02	10,04%	Cr-51	5,00E-03	10,90%
I-135	2,10E-02	9,58%	Mn-54	3,90E-03	8,50%
Ru-106	1,70E-02	7,76%	Fe-59	2,20E-03	4,79%
Ba-137m	1,30E-02	5,93%	P-32	1,80E-03	3,92%
Rh-106	7,70E-03	3,51%	Ni-63	1,70E-03	3,70%
Ce-144	4,20E-03	1,92%	Na-24	1,10E-03	2,40%
I-132	3,10E-03	1,41%	Zn-65	4,00E-04	0,87%

Radionuklida dalam lepasan efluen limbah cair di beberapa PLTN

Seperti perkiraan dari perhitungan program PWR-GALE, Tritium sangat dominan dalam lepasan efluen limbah cair di ketiga lokasi PLTN: *Diablo Canyon*, *San Onofre* dan *Donald Cook*. Aktivitas dan persentase lepasan tritium selama lima tahun seperti terlihat pada Gambar 1. Dapat dilihat bahwa lepasan tritium tiap tahun bervariasi. Rata-rata tritium yang terlepas ke lingkungan di masing-masing lokasi sebesar 2327,2; 1020,2; dan 2044 Ci per tahun. Dengan menggunakan faktor bobot (Fb) daya listrik keluaran di masing-masing lokasi sebesar 2,240; 2,254 dan 2,155, maka Tritium terlepas di efluen cair PLTN *Diablo Canyon*, *San Onofre* dan *Donald Cook* sebesar 1038,93; 452,62 dan 948,49 Ci per tahun per 1000 MWe.



Gambar 1. Radioaktivitas lepasan tritium di tiga lokasi PLTN USA selama 5 tahun

Radionuklida produk korosi teraktivasi yang dominan terlihat mirip antara perhitungan PWR-GALE dan Data Laporan operasi, kecuali adanya Ni-63 yang sangat dominan di PLTN *Diablo Canyon* dan *Donald Cook*. Seperti terlihat pada Tabel 4, 5 dan 6, ada empat jenis elemen utama yang mendominasi aktivitas radionuklida dalam lepasan efluen limbah cair dari operasi PLTN. Di *Diablo Canyon* Nikel (Ni-63), Besi (Fe-55), Cobalt (Co-60 dan Co-58) dan Crom (Cr-51) mendominasi 99,18% aktivitas, di *San Onofre*, Cobalt (Co-58 dan Co-60), Besi (Fe-55), Chromium (Cr-51) dan Manganes (Mn-54) mendominasi sebanyak 96,6% aktivitas, sedangkan di *Donald Cook*, Nikel (Ni-63), Cobalt (Co-60 dan Co-58), Chromium (Cr-51) dan Manganes (Mn-54) mendominasi 99,41% aktivitas. Karena itu dengan mengambil data-data radioaktivitas Cobalt (Co-60 dan Co-58), Nikel-63, Besi (Fe-55 dan Fe-59), Crom-51 dan Manganes-54 cukup mewakili sebagian besar radioaktivitas kelompok produk korosi teraktivasi.

Untuk kelompok produk fisi, Iodine dan Cesium menyumbang 67,89% aktivitas di PLTN *Diablo Canyon*, 9,44% di *San Onofre* dan 16,69% di *Donald Cook*. Dibanding hasil perhitungan PWR-GALE maka data operasi *Diablo Canyon* paling mendekati, sedangkan *San Onofre* dan *Donald Cook* berbeda. Di *San Onofre* sebagaimana dapat dihitung dari Tabel 5, 81,07% aktivitas berasal dari Niobium (Nb-95), Antimony (Sb-125), Zirkonium (Zr-95) dan Perak (Ag-110m). Sedangkan di *Donald Cook* (Tabel 6) 79,52% berasal dari Perak (Ag-110m) dan Antimony (Sb-125 dan Sb-124). Perbedaan ini terjadi kemungkinan besar karena lama pengumpulan, dalam proses pengolahan serta penundaan pelepasan efluen limbah cair ke lingkungan lebih panjang dari asumsi dalam PWR-GALE. Iodine yang umur paronya pendek (dalam orde jam) sudah meluruh, sehingga dominasi aktivitas yang terukur digantikan oleh radionuklida-radionuklida Niobium, Antimony, Zirkonium dan Perak yang umur paronya dalam orde bulan sampai tahun.

Tabel 4. Radioaktivitas radionuklida lepasan efluen cair dari PLTN Diablo Canyon

Produk fisi			Produk korosi teraktivasi		
Radionuklida	Aktivitas	% aktivitas	Radionuklida	Aktivitas	% aktivitas
I-135	2,23E-03	57,02%	Ni-63	1,27E-02	40,71%
Sb-125	9,58E-04	24,50%	Fe-55	8,05E-03	25,76%
Cs-137	3,20E-04	8,18%	Co-60	5,93E-03	18,98%
Nb-95	1,06E-04	2,70%	Co-58	2,75E-03	8,80%
Cs-134	1,05E-04	2,69%	Cr-51	1,54E-03	4,93%
Te-132	3,98E-05	1,02%	Mn-54	8,52E-05	0,27%
Sr-89	3,73E-05	0,95%	Fe-59	8,15E-05	0,26%
I-132	3,42E-05	0,88%	Zn-65	5,40E-05	0,17%
Zr-95	1,67E-05	0,43%	Co-57	3,44E-05	0,11%
Sb-124	1,58E-05	0,40%	Na-24	5,71E-07	0,002%
lainnya	4,81E-05	1,23%	Total	3,13E-02	100,00%
Total	3,91E-03	100,00%			

Tabel 5. Radioaktivitas radionuklida lepasan efluen cair dari PLTN San Onofre

Produk fisi			Produk korosi teraktivasi		
Radionuklida	Aktivitas	% aktivitas	Radionuklida	Aktivitas	% aktivitas
Nb-95	2,16E-03	29,23%	Co-58	1,81E-02	50,86%
Sb-125	1,97E-03	26,66%	Fe-55	7,66E-03	21,53%
Zr-95	1,18E-03	16,01%	Cr-51	3,81E-03	10,72%
Ag-110m	6,78E-04	9,16%	Co-60	3,77E-03	10,60%
Cs-137	4,48E-04	6,06%	Mn-54	1,03E-03	2,89%
Ru-106	3,04E-04	4,11%	Na-24	4,38E-04	1,23%
Sn-117m	2,10E-04	2,84%	Fe-59	4,14E-04	1,16%
Cs-134	1,49E-04	2,02%	Zn-65	2,30E-04	0,65%
I-131	1,01E-04	1,36%	Co-57	1,26E-04	0,35%
Sb-124	9,79E-05	1,32%	Total	3,56E-02	100,00%
lainnya	8,97E-05	1,21%			
Total	7,40E-03	100,00%			

Tabel 6. Radioaktivitas radionuklida lepasan efluen cair dari PLTN Donald Cook

Produk fisi			Produk korosi teraktivasi		
Radionuklida	Aktivitas	% aktivitas	Radionuklida	Aktivitas	% aktivitas
Ag-110m	2,14E-04	39,34%	Ni-63	9,12E-04	42,36%
Sb-125	1,20E-04	22,10%	Co-60	6,73E-04	31,28%
Sb-124	9,82E-05	18,09%	Co-58	4,60E-04	21,37%
I-133	6,10E-05	11,23%	Cr-51	8,15E-05	3,79%
Cs-137	2,04E-05	3,76%	Mn-54	1,31E-05	0,61%
Zr-95	9,41E-06	1,73%	Zn-65	1,27E-05	0,59%
Nb-95	9,38E-06	1,73%	Total	2,15E-03	100,00%
Cs-134	9,24E-06	1,70%			
Tc-99m	1,79E-06	0,33%			
Total	5,43E-04	100,00			

Perbandingan radioaktivitas tritium terhadap radioaktivitas kelompok fisi dan kelompok produk korosi teraktivasi ditunjukkan pada Tabel 7. Angka dalam tabel tersebut menunjukkan bahwa seperti hasil perhitungan PWR-GALE radioaktivitas tritium dari laporan operasi PLTN di ketiga lokasi juga sangat dominan dibanding produk fisi dan produk korosi teraktivasi, dengan orde ribuan (10^3) sampai jutaan (10^6) kali lebih besar.

Tabel 7. Perbandingan aktivitas Tritium terhadap aktivitas total produk fisi dan produk korosi teraktivasi.

PLTN	Rasio Radioaktivitas	
	T/PF	T/PKT
Diablo Canyon	5,95E05	7,44E03
San Onofre	1,38E05	2,87E04
Donald Cook	3,76E06	9,50E05

Komparasi hasil perhitungan dan data laporan operasi

Dominasi radioaktivitas tritium dalam lepasan efluen limbah cair sangat jelas baik pada hasil perhitungan maupun data laporan operasi PLTN. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa radioaktivitas tritium dalam orde $3,53 \times 10^5$ kali radioaktivitas total kelompok produk fisi dan $1,71 \times 10^4$ kali radioaktivitas total kelompok produk korosi teraktivasi. Data laporan operasi menunjukkan angka yang lebih besar lagi, yaitu $1,4 - 37,6 \times 10^5$ kali terhadap kelompok produk fisi, dan $0,744 - 95 \times 10^4$ kali terhadap kelompok produk korosi teraktivasi.

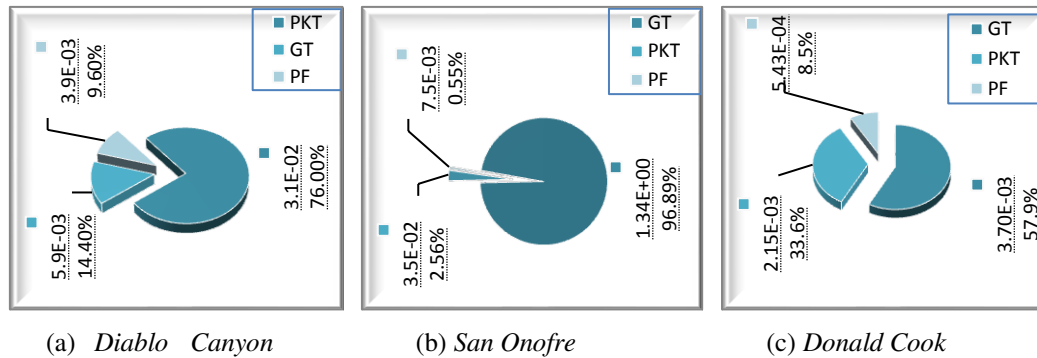
Tritium merupakan radionuklida pemancar beta energi rendah (18 keV) dengan umur paro 12,33 tahun. Sumbanganya terhadap dosis perorangan tidak terlalu besar, karena tritium merupakan sumber radiasi internal dengan faktor konversi dosis (FKD) *Inhalasi* maupun *Ingesi* sebesar $4,30 \times 10^{-11}$ Sv/Bq jauh lebih lemah dibanding Cs-137 misalnya yang mempunyai FKD $7,00 \times 10^{-9}$ Sv/Bq yang berarti 162 kali lebih kuat, atau I-131 yang 2558 lebih kuat pengaruhnya terhadap nilai dosis dibanding tritium [26,27].

Perbandingan radioaktivitas hasil perhitungan PWR-GALE terhadap data radioaktivitas laporan lepasan efluen limbah cair di ketiga lokasi PLTN diperlihatkan pada Tabel 8. Walaupun sangat variatif, hasil perhitungan PWR-GALE cukup mendekati untuk perkiraan radioaktivitas tritium dan produk korosi teraktivasi. Sedangkan untuk kelompok produk fisi terlihat bahwa asumsi yang diambil untuk memperkirakan lepasan produk fisi (kerusakan bahan bakar) cukup konservatif sehingga memberikan margin disain yang cukup baik. Oleh karena itu, secara umum dapat disimpulkan bahwa perhitungan PWR-GALE cukup baik untuk digunakan dalam memperkirakan radioaktivitas tritium, produk korosi teraktivasi maupun produk fisi.

Tabel 8. Perbandingan radioaktivitas hasil perhitungan terhadap data operasional..

PLTN	Rasio radioaktivitas		
	Perhitungan GALE terhadap data operasi PLTN		
	Tritium	PKT	PF
Diablo Canyon	0,754	1,47	56,70
San Onofre	1,730	1,29	30,61
Donald Cook	0,826	21,33	403,41

Dari data laporan lepasan efluen limbah cair di ketiga lokasi PLTN, disamping produk korosi teraktivasi dan produk fisi terdapat konsentrasi gas terlarut (GT) Kr-85, Xe-131m, Xe-133, Xe-133m, dan Xe-135 yang di dalam perhitungan GALE tidak muncul. Seperti ditunjukkan pada Gambar 7, porsi radioaktivitas gas terlarut ini lebih besar dibanding sumbangan radioaktivitas dari produk korosi teraktivasi dan produk fisi untuk PLTN San Onofre dan Donald Cook, sedangkan di Diablo Canyon porsinya juga masih cukup besar, lebih besar dibanding produk fisi.



Gambar 2. Komposisi radioaktivitas produk korosi teraktivasi (PKT), produk fisi (PF) dan gas terlarut (GT) di tiga lokasi PLTN.

KESIMPULAN

Tritium merupakan radionuklida paling dominan dalam lepasan efluen limbah cair dengan aktivitas rata-rata mencapai 1039 Ci per tahun per 1000 MWe berdasarkan evaluasi data di tiga lokasi PLTN. Produk korosi teraktivasi memberikan porsi lepasan rata-rata 4 - 8 kali lebih besar dari produk fisi dengan besaran antara 2,15 – 35,5 mCi/tahun. Dalam hal ini pengambilan sumber data radioaktivitas Cobalt (Co-60 dan Co-58), Nickel-63, Besi (Fe-55 dan Fe-59), Chrom (Cr-51) dan Manganes (Mn-54) akan cukup mewakili sebagian besar radioaktivitas kelompok produk korosi teraktivasi. Disamping itu dari evaluasi data diperoleh banyak gas terlarut dalam efluen limbah cair yang radioaktivitasnya lebih besar dibanding kelompok produk fisi maupun produk aktivasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih diucapkan kepada Pusat Teknologi Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN), khususnya Bapak Sri Kuncoro, serta panitia Diklat/Workshop “Radiological Assesment of Radioactive Materials due to Nuclear Facility Accident” yang telah menyediakan program PWR GALE.

DAFTAR PUSTAKA (Diurutkan berdasarkan nomor referensi yang digunakan)

- [1]. IAEA, PRIS (Power Reactor Information System), Operational & Long Term Shutdown Reactors, <https://www.iaea.org/>. Diakses September 2015.
- [2]. IAEA, PRIS (Power Reactor Information System), Under Construction Reactors, <https://www.iaea.org/>. Diakses September 2015.
- [3]. IAEA, Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050, REFERENCE DATA SERIES No. 1 2015 Edition, IAEA-RDS-1/35, ISBN 978-92-0-105915-4, ISSN 1011-2642, August 2015.
- [4]. IAEA, Country Nuclear Power Profiles, Indonesia, 2015.
- [5]. RI, Perpres No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, Jakarta 2006.
- [6]. RI, PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, Jakarta, 17 Oktober 2014.
- [7]. WESTINGHOUSE E.C., The Westinghouse Pressurized Water Reactor Nuclear Power Plant, 1984.
- [8]. NEA-OECD, Effluent Release Options from Nuclear Installations, Technical Background and Regulatory Aspects, ISBN 92-64-02146-9, 2003.
- [9]. T. CHANDRASEKARAN, J.Y. LEE, C.A. WILLIS, Calculation of Release of Radioactive Materials in Gaseous and Liquid Effluents from Pressurized Water Reactor (PWR-GALE Code), NUREG-0017, Rev 1, 1985.
- [10]. NRC, Radioactive Effluent and Environmental Reports from Operating of Nuclear Power Reactors, United State of America, <http://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience.html>, diakses Agustus 2015,

- [11]. PG&E, Diablo Canyon Power Plant 2010 Annual Radioactive Effluent Release Report, PG&E Letter DCL-11- 049, April 28, 2011
- [12]. PG&E, Diablo Canyon Power Plant 2011 Annual Radioactive Effluent Release Report, PG&E Letter DCL-12- 040, April 30, 2012
- [13]. PG&E, Diablo Canyon Power Plant 2012 Annual Radioactive Effluent Release Report, PG&E Letter DCL-13- 042, April 30, 2013.
- [14]. PG&E, Diablo Canyon Power Plant 2013 Annual Radioactive Effluent Release Report, Enclosure 1, PG&E Letter DCL-14- 039, April 30, 2014
- [15]. PG&E, Diablo Canyon Power Plant 2014 Annual Radioactive Effluent Release Report, Enclosure 1, PG&E Letter DCL-15- 053, April 29, 2015
- [16]. SCE, San Onofre Nuclear Generation Station: Annual Radioactive Effluent Release Report 2008 January-December, April 29, 2009.
- [17]. SCE, San Onofre Nuclear Generation Station: Annual Radioactive Effluent Release Report 2009 January-December, April 28, 2010.
- [18]. SCE, San Onofre Nuclear Generation Station: Annual Radioactive Effluent Release Report 2010 January-December, April 26, 2011.
- [19]. SCE, San Onofre Nuclear Generation Station: Annual Radioactive Effluent Release Report 2011, January-December, April 28, 2012.
- [20]. SCE, San Onofre Nuclear Generation Station: Annual Radioactive Effluent Release Report 2012 January-December, April 30, 2013.
- [21]. AEP Idiana Michigan Power, Donald C. Cook Nuclear Power Plant Units 1 and 2, Annual Radioactive Effluent Release Report, AEP-NRC-2011-27, April 29, 2011.
- [22]. AEP Idiana Michigan Power, Donald C. Cook Nuclear Power Plant Units 1 and 2, Annual Radioactive Effluent Release Report, AEP-NRC-2012-20, April 26, 2012.
- [23]. AEP Idiana Michigan Power, Donald C. Cook Nuclear Power Plant Units 1 and 2, Annual Radioactive Effluent Release Report, AEP-NRC-2013-25, April 29, 2013.
- [24]. AEP Idiana Michigan Power, Donald C. Cook Nuclear Power Plant Units 1 and 2, Annual Radioactive Effluent Release Report, AEP-NRC-2014-30, April 29, 2014.
- [25]. AEP Idiana Michigan Power, Donald C. Cook Nuclear Power Plant Units 1 and 2, 2014 Annual Radioactive Effluent Release Report, AEP-NRC-2015-34, April 28, 2015.
- [26]. C.H. CLEMENT. ICRP 2012. Compendium of Dose Coefficients based on ICRP Publication 60. ICRP Publication 119. Ann. ICRP 41 (Suppl.). Published by Elsevier, 2012.
- [27]. EPA. Limiting Values of Radionuclide Intake and Air Concentration and Dose Conversion Factors for Inhalation, Submersion, And Ingestion, EPA-520/1-88-020, September 1988.

TANYA JAWAB

Penanya: M. Farid

Instansi : PPIKSN – BATAN

Pertanyaan:

- a. Bagaimana metode perhitungan secara singkat sehingga keluar nilai aktivitas menggunakan GALE?
- b. Mengapa H-3 berpengaruh signifikan terhadap dosis?

Jawaban:

- a. PWR GALE menggunakan model matematik untuk menghitung rilis radionuklida dalam efluen gas dan cair PLTN PWR. Perhitungan didasarkan pada data pengalaman operasi reaktor, uji lapangan, uji laboratorium, serta pertimbangan desain untuk mereduksi kuantitas material radioaktif yang mungkin lepas ke lingkungan. Secara sederhana prosesnya: (1) menentukan aktivitas tiap radionuklida dalam pendingin primer, diasumsi berdasarkan kemungkinan kerusakan bahan bakar selama operasi normal, atau pengalaman operasi, (2) dengan model matematik ditentukan porsi mekanisme release dan transport radionuklida dari sistem pendingin primer ke: sistem pendingin sekunder serta sistem pengolahan limbah, dan rilis radionuklida dalam lepasan limbah cair maupun gas. Porsi rilis radionuklida dalam cairan oleh GALE dihitung menggunakan subroutine yang diambil dari ORIGEN untuk menghitung *buildup* dan *decay* radionuklida selama pengumpulan, pemrosesan dan penyimpanan limbah radioaktif.
- b. Tritium (H-3) dominan aktivitasnya dalam lepasan limbah cair, besarnya dapat mencapai 1000 sampai 10000 kali dari radionuklida lain, namun demikian pengaruhnya terhadap dosis total tidak terlalu signifikan. Hal ini karena H-3 merupakan pemancar beta energi rendah, sehingga hanya mempengaruhi dosis internal dengan faktor konversi dosis inhalasi maupun ingesti yang sangat rendah. Tritium akan menjadi signifikan jika terakumulasi, dengan semakin banyak PLTN PWR dengan daya besar lepasan tritium ke lingkungan akan semakin besar.