

ISSN : 0854 – 4778

PROSIDING

Seminar Nasional Ke 56

TEMU-ILMIAH JARINGAN KERJASAMA KIMIA INDONESIA

Seminar Nasional XIX

KIMIA DALAM PEMBANGUNAN

**“Perkembangan Mutakhir dalam Ilmu dan Teknologi Kimia di Indonesia”
(Hotel Phoenix Yogyakarta 26 Mei 2016)**



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 12 Agustus 2016

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/ Managemen 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 XIX “Kimia dalam Pembangunan”** dengan tema “Perkembangan Mutakhir dalam Ilmu dan Teknologi Kimia di Indonesia” yang telah terselenggara dengan baik pada tanggal **26 Mei 2016** di Hotel Phoenix Yogyakarta.

Seminar Nasional XIX “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 XIX “Kimia dalam Pembangunan” ini dihadiri oleh 76 orang peserta. Yang berasal dari berbagai institusi yaitu:

No.	Institusi	Jumlah makalah
01	Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi (PAIR) - BATAN Jalan Lebak Bulus Raya No. 49, Pasar Jumat,	11
02	Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang Selatan 15314, Banten	12
03	Pusat Penelitian Bioteknologi-LIPI, Jalan Raya Bogor Km. 46, Cibinong. 16911.Puspitek,	11
04	Teknik Elektro Institut, Teknologi Indonesia ,Tangerang Selatan	1
05	Pusat Biomedis dan Teknologi Dasar Kesehatan, Badan Litbang Kesehatan, Kementerian Kesehatan RI; Jakarta	10
06	Pusat Survei Geologi (Badan Geologi), Jl. Diponegoro 57, Bandung	1
07	Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara – Bandung, Jalan Jenderal Sudirman No 623, Bandung 40211.	10
08	Pusat Penelitian Geoteknologi - LIPI, Komplek LIPI , Jl. Sangkuriang Gd.70, Bandung 40135	8
09	Pusat Pengembangan Teknologi Tepat Guna LIPI, Jl. KS. Tubun No. 5 , Subang	31
10	Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN	2
11	Laboratorium Palinologi, Pusat Survei Geologi, Badan Geologi, Bandung	1
12	Badan Litbang Kesehatan, Kementrian Kesehatan, Jalan. Percetakan Negara No. 29, Jakarta Pusat	3
13	Pusat Penelitian Dan Pengembangan Sumber Daya Dan Pelayanan Kesehatan. Badan Penelitian dan Kesehatan, Kementerian Kesehatan RI; Jalan. Percetakan Negara No. 29, Jakarta Pusat	2
14	Puslitbang Upaya Kesehatan Masyarakat, Badan Litbangkes, Kementerian Kesehatan RI, Jalan. Percetakan Negara No. 29, Jakarta Pusat	1
15	Puslitbang Sumber Daya dan Pelayanan Kesehatan, Badan Litbang Kesehatan, Kemenkes RI, Jakarta	1

Sebanyak 75 (Tujuh puluh lima) makalah yang dipresentasikan pada Seminar nasional XIX “Kimia dalam Pembangunan” yang telah diselenggarakan pada tanggal 26 Mei 2016 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, 12 Agustus 2016

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.	PENGETAHUAN, SIKAP DAN PERILAKU MASYARAKAT TENTANG TUBERKULOSIS KAITANNYA DENGAN KEBERSIHAN LINGKUNGAN Suharjo dan Dina Bisara	1 - 8
2.	STUDI POTENSI PEMBAKARAN SPONTAN BEBERAPA BATUBARA INDONESIA Datin Fatia Umar dan Gandhi Kurnia Hudaya	9 - 16
3.	PENGARUH PENAMBAHAN ZrO_2 TERHADAP SIFAT TERMAL KITOSAN SEBAGAI BAHAN LAPISAN TIPIS ELEKTROLIT BATEREI ISI ULANG Sugik Sugiantoro, Evi Yulianti	17 - 22
4.	AKTIVITAS ANTIBAKTERI MADU DAN TEH HIJAU (<i>Camellia sinensis</i> L.) DIIRADIASI SINAR GAMMA PADA <i>Staphylococcus aureus</i> DAN <i>Salmonella typhi</i> Nikham dan Darmawan Darwis	23 - 32
5.	BAHAN <i>SLOW RELEASE</i> MULTI FUNGSI UNTUK PUPUK POSFAT BERBASIS POLIMER ALAM DENGAN TEKNIK RADIASI A. Sudradjat¹, Gatot Trimulyadi Rekso¹ dan Nisa Rabriella²	33 - 40
6.	INFRASTRUKTUR SIMBAT UNTUK MENINGKATKAN ADAPTASI PULAU KECIL TERHADAP DAMPAK INTRUSI AIR LAUT (STUDI PENDAHULUAN DI PULAU PARI) D. Marganingrum, E.P Utomo, Saiman, A.F Rusydi, A. Purwoarminta, W. Ningrum	41 - 50
7.	EFEK IRADIASI SINAR GAMMA DAN PENYIMPANAN PADA AKTIVITAS ANTIMIKROBA EKSTRAK ETIL ASETAT MENGGUDU (<i>Morinda citrifolia</i> L.) TERHADAP <i>Salmonella typhi</i> DAN <i>Pityrosporium ovale</i> Nikham dan Darmawan Darwis	51 - 60
8.	PENGARUH PENAMBAHAN ZrO_2 TERHADAP SIFAT TERMAL KITOSAN SEBAGAI BAHAN LAPISAN TIPIS ELEKTROLIT BATEREI ISI ULANG Sugik Sugiantoro, Evi Yulianti	61 - 68
9.	KARAKTERISASI $LiFePO_4$ DAN $LiMn_2O_4$ SEBAGAI BAHAN KATODA BATERAI Li-ION Deswita dan Indra Gunawan	69 - 74
10.	RADIOAKTIVITAS EFLUEN GAS TERLEPAS DARI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR JENIS REAKTOR AIR BERTEKANAN Nurokhim	75 - 82

NO.		HALAMAN
11.	KESTABILAN WADUK SAGULING DITINJAU DARI ASPEK KUALITAS AIRNYA Dyah Marganingrum¹, M. Rahman Djuwansah¹, dan Anna Fadiah Rusydi¹	83 - 90
12	MODIFIKASI KATION METAL DAN SEMI-METAL ZEOLIT ALAM DENGAN INHIBITOR Cu MELALUI METODA ASAM-AMONIFIKASI : SEBAGAI PERSIAPAN BAHAN PRODUK FARMASI Dewi Fatimah	91 - 98
13	STUDI KETERCUCIAN BATUBARA UNTUK PROSES GASIFIKASI DAN PEMBAKARAN Datin Fatia Umar	99 - 106
14	APLIKASI MODEL PLUME GAUSSIAN UNTUK MONITORING PENCEMARAN LINGKUNGAN Nurokhim	107 - 116
15	STUDI MORFOLOGI GRAFIT SEBAGAI BAHAN ANODA BATERAI LI-ION DENGAN MENGGUNAKAN SEM DAN TEM Indra Gunawan, Deswita	117 - 122
16	KAPABILITAS HIDROGEL SELULOSA/POLIVINIL ALKOHOL IRADIASI UNTUK ELIMINASI ION LOGAM Ag ⁺ , Cu(II) dan Fe(II) DALAM LARUTAN Ambyah Suliwarno* dan Bayu Prasetyo Aji**	123 - 128
17	KAJIAN SIFAT KIMIA DAN FISIKA CAMPURAN BATUBARA-BIOMASSA SEBAGAI BAHAN BAKAR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP (PLTU) Ikin Sodikin dan Datin Fatia Umar	129 - 136
18	PENYAKIT MENULAR TUBERCULOSIS DAN HUBUNGANNYA DENGAN LINGKUNGAN TEMPAT TINGGAL PADAT HUNI Merryani Girsang, Dina Bisara Lolong, Lamria Pangaribuan	137 - 142
19	HASIL PENGUJIAN MIKROBA (<i>Salmonella Sp</i> dan <i>Enterobacteriaceae</i>) PADA BEBERAPA SUSU FORMULA BAYI Ani Isnawati*, Sukmayati Alegantina*	143 - 148
20	EFEK TEMPERATUR SINTER PADA KOMPOSIT Ba _(1,7) Sr _(0,3) Fe ₂ O ₅ Safei Purnama¹⁾ dan P. Purwanto¹⁾	149 - 154
21	GEOKIMIA BATULEMPUNG FORMASI JATILUHUR : IMPLIKASINYA TERHADAP BATUAN INDUK HYDROKARBON, STUDI KASUS DAERAH PURWAKARTA Praptisih	155 - 160
22	PENGARUH SUHU SINTER TERHADAP SIFAT LISTRIK DAN MAGNET PADA KOMPOSIT Ba _(2-x) Sr _(x) Fe ₂ O ₅ P Purwanto¹⁾, Mashadi¹⁾ dan Tria Madesa¹⁾	161 - 166
23	KOPOLIMERISASI CANGKOK LEMBARAN SELULOSA DENGAN TEKNIK IRADIASI Gatot Trimulyadi Rekso	167 - 174
24	PENELITIAN KARAKTER BATUBARA CARINGIN GARUT SEBAGAI PENUNJANG PEMBUATAN BRIKET Widodo¹⁾, Dewi Fatimah¹⁾, dan Lenny Marilyn Estiaty¹⁾	175 - 182

RADIOAKTIVITAS EFLUEN GAS TERLEPAS DARI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR JENIS REAKTOR AIR BERTEKANAN

Nurokhim

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

ABSTRAK

RADIOAKTIVITAS EFLUEN GAS TERLEPAS DARI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA NUKLIR JENIS REAKTOR AIR BERTEKANAN. Telah dilakukan studi untuk evaluasi radioaktivitas berbagai radionuklida yang ada dalam efluen gas PLTN. Studi dilakukan dengan mengevaluasi radioaktivitas berbagai radionuklida dalam laporan lepasan efluen gas dari enam lokasi PLTN di Amerika Serikat selama satu dekade 2005 - 2014. Perhitungan dengan program PWR-GALE dilakukan untuk perbandingan dalam memperkirakan radioaktivitas berbagai radionuklida dalam gas yang terlepas. Hasil studi menunjukkan bahwa radionuklida Tritium dominan di empat lokasi PLTN dengan radioaktivitas lepasan rata-rata 40,23 – 181,54 Ci per tahun, sedangkan di dua lokasi didominasi kelompok gas produk fisi dan aktivasi dengan radioaktivitas rata-rata 92,95 dan 201,91 Ci per tahun. Sementara itu lepasan radio carbon C-14 bervariasi antara 14,2 – 30,72 Ci per tahun, sedangkan kelompok radio iodine dan partikulat udara dalam orde mili Ci per tahun.

Kata Kunci : radioaktivitas, efluen gas, PLTN.

ABSTRACT

RADIOACTIVITY OF GASEOUS EFFLUENT RELEASED FROM NUCLEAR POWER PLANT OF PRESSURISED WATER REACTOR TYPE. A study to evaluate the radioactivity of various radionuclides present in the gaseous effluent of nuclear power plants has been conducted. The Study done by evaluating the radioactivity of various radionuclides in gaseous effluent release report from six locations of nuclear power plants in the United States of America during a decade 2005-2014. Calculation use PWR-GALE code is done as a comparative evaluation in estimating the radioactivity of radionuclides present in gas released. The result study shows that Tritium dominate in four locations of nuclear power plants with average radioactivity from 40.23 to 181.54 Ci per year, while other two locations are dominated by fission and activation gases with average radioactivity from 92.95 to 201.91 Ci per year. Meanwhile the radio carbon C-14 released varying between 14.2 and 30.72 Ci per year, whereas the radio iodine and air particulate group in the order of mili Ci per year.

Keywords : radioactivity, gaseous effluent, NPP.

PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) diproyeksikan akan terus berkembang dalam beberapa dekade mendatang, dan jenis reaktor air bertekanan (PWR) merupakan PLTN yang paling banyak dibangun dan dioperasikan. Saat ini 444 pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) beroperasi di 31 negara dengan kapasitas listrik terpasang mencapai 386 GWe [1], dan 65 PLTN baru dengan kapasitas total 64 GWe sedang dibangun di 15 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 rendah saja daya PLTN terpasang tetap akan meningkat 13% pada 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 akan ada 4 GWe listrik dari PLTN pada tahun 2030 [3][4].

Reaktor nuklir menghasilkan zat radioaktif yang berpotensi memberikan dampak radiasi ke lingkungan. Selama operasi

reaktor berbagai jenis radionuklida dalam bentuk gas tercipta akibat proses aktivasi maupun pembelahan oleh neutron, termasuk tritium (H-3) dalam bentuk uap, karbon-14 (C-14), argon-41 (Ar-41) dan radionuklida-radionuklida xenon, kripton dan iodine. Gas radioaktif dapat terbentuk di pendingin primer atau udara, dan beberapa diantaranya yang terbentuk dalam bahan bakar dapat terlepas ke pendingin primer melalui kelongsong bahan bakar yang retak. Proses *degassing* dari bejana reaktor akan membersihkan gas radioaktif dalam pendingin primer, untuk dikelola dan diproses lebih lanjut dalam sistem pengolahan limbah gas. Namun demikian efluen gas dapat lepas dari sistem gas limbah radioaktif, sistem pembersih udara kondenser, ventilasi bangunan sungkup reaktor (*containment*), ventilasi dalam sistem bantu dan bangunan turbin [5].

Kemungkinan dibangunnya PLTN di Indonesia serta selesainya pembangunan beberapa PLTN di negara tetangga yang relatif dekat dengan Indonesia, seperti 22 PLTN baru di China, 9 di India dan Pakistan serta 4 di Uni Emirat Arab [2], tentu akan meningkatkan kemungkinan tersebarnya zat radioaktif ke lingkungan global yang berpotensi meningkatkan penerimaan dosis radiasi di

masyarakat. Diketuinya sumber radiasi atau suku sumber (*source term*) radiasi dengan jelas sangat diperlukan dalam kajian radiologi, khususnya untuk monitoring dalam memperkirakan dampak yang dapat ditimbulkannya.

Makalah ini menyajikan hasil studi karakteristik radioaktivitas *source-term* dalam efluen gas dari beberapa PLTN jenis PWR yang beroperasi di Amerika Serikat. Radioaktivitas berbagai radionuklida yang terlepas dalam efluen gas dievaluasi setiap tahun selama satu dekade 2005-2014. Program komputer PWR-GALE yang telah lama dipakai untuk perkiraan lepasan radionuklida digunakan sebagai pembanding dalam kajian ini.

METODOLOGI

Data lepasan radionuklida dalam gas dievaluasi dari data riil laporan operasi di enam lokasi PLTN PWR di Amerika Serikat selama satu dekade, periode tahun 2005-2014. Data laporan dari PLTN jenis PWR: Diablo Canyon, Donald Cook, St. Lucia, North Anna, San Onofre dan Comanche peak yang masing-masing mengoperasikan 2 unit PLTN dengan daya listrik masing-masing seperti Tabel 1.

Tabel1. Enam PLTN PWR di Amerika Serikat untuk bahan studi [5-10].

PLTN	Daya Listrik MWe (MWt)	Mulai Operasi	Lokasi	Pemilik/Operator
Diablo Canyon Unit-1 Unit-2	1197 (3411) 1197 (3411)	11-11-1984 20-10-1985	Avila Beach, California	Pacific Gas and Electric Company
Donald Cook Unit-1 Unit-2	1100 (3302) 1151 (3468)	10-02-1975 22-03-1978	Bridgman, Michigan	American Electric Power Company, Inc.
St. Lucie Unit-1 Unit-2	1045 (3020) 1050 (3020)	07-05-1976 13-06-1983	Fort Pierce, Florida	Florida Power & Light Co.
North Anna Unit-1 Unit-2	990 (2940) 1011 (2940)	17-04-1978 25-08-1980	Mineral, Virginia	Virginia Electric Power (Dominion Gen.)
San Onofre Unit-2 Unit-3	1127 (3438) 1127 (3438)	20-09-1982 25-09-1983	San Clemente, California	Southern California Edison Co.
Comanche peak Unit-1 Unit-2	1259 (3612) 1250 (3612)	24-04-1990 09-04-1993	Glen Rose, Texas	Luminant Generation Company LLC

Data rilis efluen gas dari 60 file laporan tahunan dievaluasi. Data yang terdiri dari kelompok gas produk fisi dan aktivasi (GPFA), radio iodine, partikulat udara, tritium (H-3) dan radio karbon (C-14) dikelompokkan

sesuai format laporan masing-masing. Data laporan triwulan radioaktivitas berbagai radionuklida dalam efluen gas baik kontinu maupun *batch* dijumlahkan dalam satu tahun, kemudian diolah dalam *spreadsed* untuk

dianalisis dan ditampilkan dalam bentuk grafik atau tabel.

Software PWR-GALE (*Pressurized Water Reactor-Gaseous and Liquid Effluent*)[12] digunakan untuk simulasi perkiraan

radioaktivitas berbagai radionuklida dalam efluen gas. Berbagai parameter standar masukan (Tabel 2) digunakan untuk perhitungan rilis radionuklida dari reaktor jenis PWR standar Westinghouse dengan daya listrik 1000 MWe atau 3400 MWt daya termal.

Tabel 2. Data Standar masukan PWR-GALE, Daya 3400 MWt [11,12,13]

Spesifikasi parameter masukan	Besaran / Kode
Daya thermal reaktor (MWt)	3400
Masa pendingin primer (lbs)	$5,50 \times 10^5$
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)	$1,5 \times 10^7$
Masa air di tiap steam generator (lbs)	$112,5 \times 10^3$
Total blowdown rate (lbs/jam)	75×10^3
Lama regenerasi “Condensate Demineralizer” (hari)	8,4
Fraksi aliran “Condensate Demineralizer”	0,65
<i>Shim bleed</i> : kontrol boron pada pendingin primer	
Laju <i>Shim bleed</i> kontrol boron primer (GPD: gallon per hari)	1440
Laju <i>Equipment drains</i> (GPD)	330
Laju masukan <i>Clean waste</i> (GPD)	980
Laju Limbah kotor (<i>Dirty waste</i>) (GPD)	2100
Laju <i>Blowdownr</i> (GPD)	$2,16 \times 10^5$
Laju alir Regenerasi (GPD)	3400
Fraksi discharge limbah cair	0,1
<i>Continuous gas stripping of full letdown flow</i> (0, 1, atau 2)	0
Lama waktu <i>holdup</i> untuk Xenon (hari)	60
Lama waktu <i>holdup</i> untuk Krypton (hari)	60
Lama pengisian tangki peluruhan untuk <i>gas stripper</i> (hari)	30
Efisiensi Hepa Filter sistem pengolah limbah (%)	99
Efisiensi Charcoal dan Hepa Bangunan Fuel handling (%)	90 dan 99
Efisiensi Charcoal dan Hepa Bangunan Auxiliary (%)	90 dan 99
Volume <i>Containment</i> (ft ³)	$2,45 \times 10^6$
Laju clean up Atmosferik dari <i>Containment</i> (CFM: ft ³ /menit)	1000
Lepasan Iodine dari <i>Containment</i> (shuddown): Charcoal & Hepa (x/tahun)	0.0 (2 x setahun)
Lepasan Iodine dari <i>Containment</i> (operasi):Charcoal & Hepa, (CFM)	1000
Fraksi Iodine lepas dari ventilasi tangki <i>Blowdown Steam Generator</i>	0,0
Persentase Iodine disaring dari lepasan off-gas <i>Condenser</i>	0,0

Data Tabel 2 digunakan untuk standar masukan program PWR-GALE kemudian dijalankan untuk menghitung radioaktivitas berbagai radionuklida yang ada dalam efluen gas. Simulasi lanjut dilakukan dengan mengubah nilai-nilai parameter masukkan program. Hasil perhitungan dan simulasi dianalisis dan dibandingkan dengan data studi laporan rilis efluen gas dari keenam lokasi pengoperasian PLTN.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Radioaktivitas Radionuklida dalam efluen gas reaktor PWR

Laporan Radioaktivitas radionuklida dalam efluen gas dari berbagai reaktor di USA

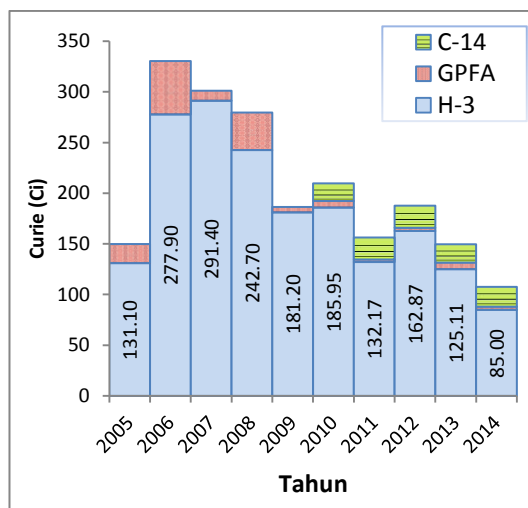
dikelompokkan dalam; 1.Gas produk fisi dan aktivasi (GPFA), 2. Radio Iodine, 3. Partikulat udara, 4. Tritium (H-3) dan 5. Radio Karbon (C-14); sesuai permintaan standard Regulatory Guide 1.21 dari AEC [15] dan NRC [16]. Dari studi data yang diperoleh menunjukkan bahwa radioaktivitas GPFA, Tritium dan Radio Karbon selama satu dekade (2005-2014) dalam orde puluhan hingga ratusan curie per tahun, sedangkan Radio Iodin dan Partikulat radioaktif dalam orde micro hingga milli curie.

Gambar 1 sampai 6 memperlihatkan radioaktivitas radionuklida kelompok GPFA, Tritium dan Radio Karbon dalam efluen gas di enam lokasi PLTN. Tritium merupakan radionuklida yang paling dominan menyumbang radioaktivitas total dalam efluen gas. Di PLTN Diablo (Gambar 1) dan Donald

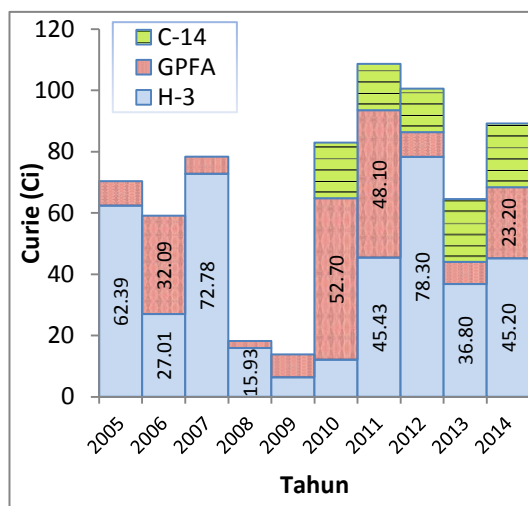
Cook (Gambar 2), radioaktivitas tritium berkisar antara 85 – 291,4 Ci per tahun dengan rata-rata 163,9 dan 181,54 di masing-masing lokasi.

Di St.Lucie dan North Anna (Gambar 3 dan 4) Tritium tetap dominan dengan besaran 4,78 – 169,80 curie per tahun dan rata-rata 40,23 dan 40,74 curie per tahun. Namun demikian seperti terlihat pada gambar 3 dan 4 gas produk fisi dan aktivasi memberikan porsi yang lebih besar untuk efluen tahun 2006, 2010 dan 2011 di PLTN St. Lucie dan 2009-2010 di PLTN North Anna. Radioaktivitas GPFA berkisar antara 0,5 – 88,45 curie dengan rata-rata 19,47 dan 22,05 curie per tahun.

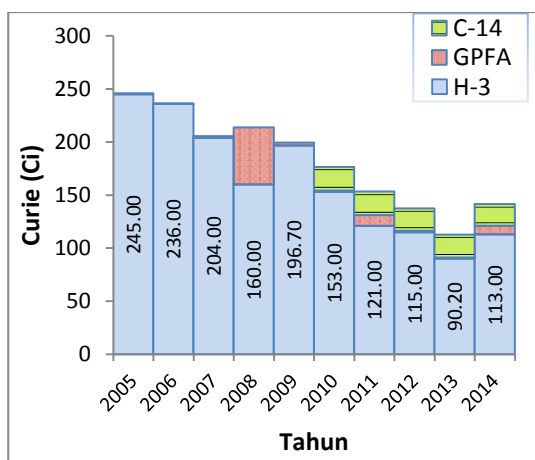
Di San Onofre dan Comanche peak (Gambar 5 dan 6) GPFA lebih dominan dibanding Tritium. Di San Onofre GPFA berkisar antara 0,11 Ci (tahun 2013) sampai 167 Ci (tahun 2006) dengan rata-rata 92,95 Ci, lebih tinggi dari rata-rata Tritium yang besarnya 74,79 Ci. Sedangkan di Comanche peak dominasi GPFA terjadi di tahun 2005, 2006 dan 2008 dengan lepasan sebesar 845, 148 dan 996,9 curie sehingga memberikan rata-rata 201,91 curie per tahun dalam satu dekade, jauh melebihi rata-rata lepasan tritium sebesar 46,78 curi per tahun. San Onofre mengalami permasalahan dan tidak memproduksi listrik sejak akhir Januari 2012 akibat bocornya uap radioaktif yang terdeteksi dari sistem pembangkit uap [17], dan kedua unit PLTN dinyatakan *shuddown* permanen sejak 7 Juni 2013 [18] untuk persiapan dekomisioning. Tingginya GPFA pada tahun 2005 di Comanche peak karena ada kebocoran bahan bakar di PLTN unit-1 [19], dan di tahun 2008 ada kerusakan bahan bakar selama *refueling* PLTN unit-2 pada kuartal kedua tahun 2008 [20].



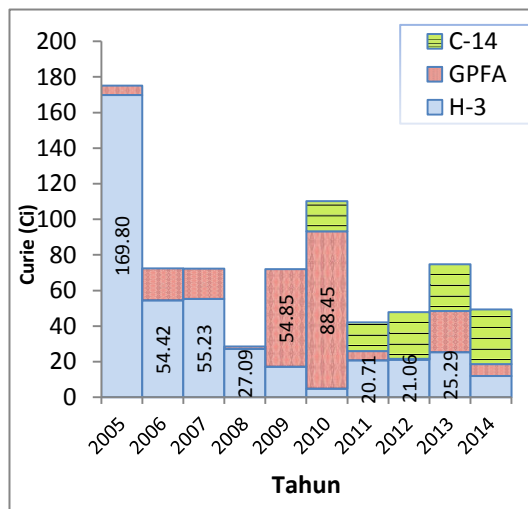
Gambar 2. PLTN Donald Cook



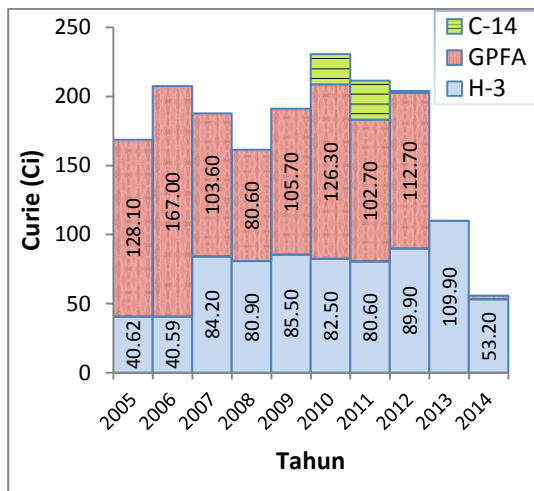
Gambar 3. PLTN St. Lucie



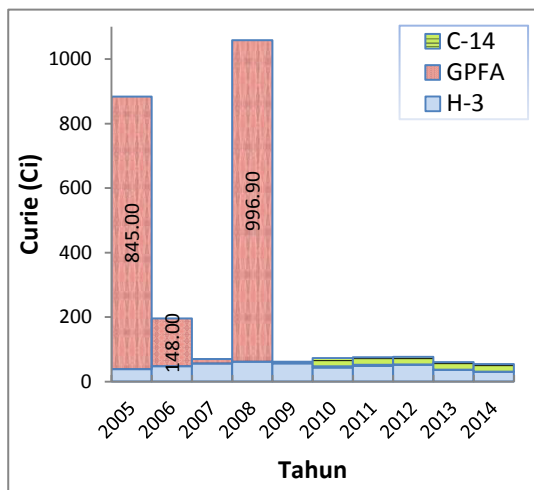
Gambar 1. PLTN Diablo Canyon



Gambar 4. PLTN North Anna



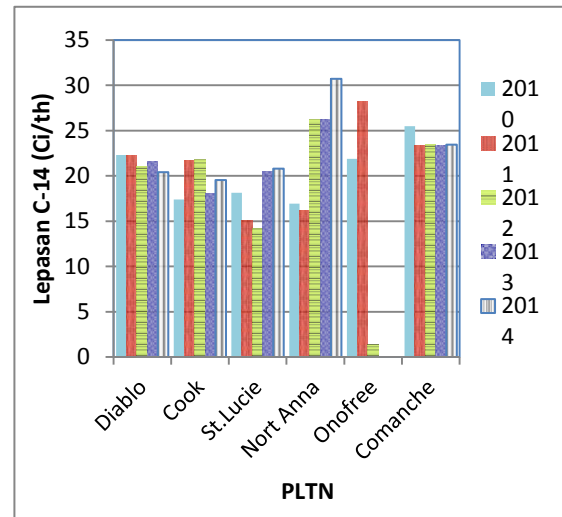
Gambar 5. PLTN San Onofree



Gambar 6. PLTN Comanche peak

Radiokarbon menjadi pertimbangan dalam perhitungan dosis sejak tahun 2010 sesuai permintaan guide 1.21 dari NRC [16]. Seperti tampak pada Gambar 1- 6 serta Gambar 7, radioaktivitas C-14 cukup merata dengan lepasan antara 14,2 – 30,72 curie per tahun pada operasi normal. Data laporan tersebut

dihitung berdasarkan besarnya daya luaran tahunan yang diproduksi oleh masing-masing PLTN [[21]–[26]] dengan estimasi perhitungan C-14 mengacu formulasi dokumen Electric Power Research Institute (EPRI) [27], karena itu seperti terlihat pada gambar 7 untuk PLTN San Onofree lepasan C-14 hanya 1,4 Ci pada tahun 2012 karena hanya beroperasi satu bulan di tahun 2012 kemudian *shuddown* permanen.



Gambar 7. Lepasannya C-14 di 6 lokasi PLTN.

Komposisi gas produk fisi dan aktivasi, radio iodine dan partikulat sangat bervariasi dari satu lokasi dengan lokasi lainnya. Gas produk fisi dan aktivasi umumnya didominasi Xenon (Xe-131m, Xe-133), Kripton (Kr-85) dan Argon-41. Radio iodine umumnya I-131 dan I-133, sedangkan partikulat umumnya dari radionuklia Cobalt (Co-58 dan Co57), Cs-137, Cr-51.

Tabel 3 memperlihatkan radioaktivitas lepasan tahunan efluen gas tertinggi pada dekade 2005-2014.

Tabel 3. Radioaktivitas lepasan efluen gas tertinggi dalam dekade 2005-2014.

Kelompok	Ci/th	PLTN	Tahun
Tritium (H-3)	291,40	Donald Cook	2007
GPFA:	996,90	Comanche peak	2008
Xe-133m	13,71 (1,38%)		
Xe-133	969,50 (97,25%)		
Xe-135	12,00 (1,2%)		
C-14	28,20	San Onofree	2011
Iodine :	4,99E-03	Diablo Canyon	2008
I-131	4,71E-3 (94,29%)		
I-133	2,85E-4 (5,71%)		

Tabel 3. Radioaktivitas lepasan efluen gas tertinggi dalam dekade 2005-2014 (lanjutan).

Kelompok	Ci/th	PLTN	Tahun
Partikulat:	3,86E-03	San Onofree	2006
Co-58	1,851E-03 (47,85%)		
Cs-137	4,908E-04 (12,69%)		
Co-60	4,148E-04 (10,73%)		
Cr-51	3,041E-04 (7,86%)		
Br-82	2,308E-04 (5,97%)		
Rb-88	1,560E-04 (4,03%)		
Nb-95	1,403E-04 (3,63%)		
Fe-59	1,142E-04 (2,95%)		
Zr-95	7,480E-05 (1,93%)		
Mn-54	6,695E-05 (1,73%)		

Simulasi perhitungan dengan PWR-GALE

Radioaktivitas berbagai radionuklida dalam efluen gas dari perhitungan PWR-GALE seperti pada Tabel 4. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa gas mulia (produk fisi) mempunyai radioaktivitas paling dominan,

bersama dengan gas mulia produk aktivasi Argon-41 memberikan aktivitas GPFA sebesar 8274 curie per tahun, sedangkan tritium dan C-14 masing-masing 990 dan 7,3 curie per tahun. Radioaktivitas radio Iodin dan partikulat udara dalam orde milli curie.

Tabel 4. Aktivitas Radionuklida dalam efluen Gas (Ci per tahun).

Radionuklida	Aktivitas	Radionuklida	Aktivitas	Radionuklida	Aktivitas
Tritium:		Argon-41		Radio Iodin:	
H-3	9,90E+02	Ar-41	3,40E+01	I-131	1,80E-02
		Carbon-14		I-133	5,50E-02
Gas Mulia:		C-14	7,30E+00	Total	7,30E-02
Kr-85m	5,30E+01	Partikulat udara:			
Kr-85	1,20E+03	Cr-51	9,70E-05	Nb-95	4,20E-05
Kr-87	1,80E+01	Mn-54	5,70E-05	Ru-103	1,70E-05
Kr-88	6,50E+01	Co-57	8,20E-06	Ru-106	7,80E-07
Xe-131m	1,50E+03	Co-58	4,80E-04	Sb-125	6,10E-07
Xe-133m	1,00E+02	Co-60	1,10E-04	Cs-134	4,80E-05
Xe-133	4,80E+03	Fe-59	2,80E-05	Cs-136	3,30E-05
Xe-135m	7,00E+00	Sr-89	1,60E-04	Cs-137	9,00E-05
Xe-135	4,90E+02	Sr-90	6,30E-05	Ba-140	4,20E-06
Xe-138	6,00E+00	Zr-95	1,00E-05	Ce-141	1,30E-05
Total	8,24E+03			Total	1,26E-03

Dibandingkan dengan data laporan lepasan tertinggi (Tabel 3), maka perhitungan PWR-GALE memberikan hasil yang lebih tinggi untuk Tritium, GPFA dan Radio Iodine. Sedangkan C-14 dan Partikulat udara perhitungan PWR-GALE sedikit lebih kecil. Dengan normalisasi daya di masing-masing lokasi maka untuk Tritium, GPFA dan Radio Iodin perhitungan PWR-GALE 6,76, 17,63, dan 29,35 kali lebih tinggi dari data laporan Tabel 3. Sedangkan C-14 dan partikulat udara 0,52 dan 0,66 kali lebih rendah. Namun demikian angka-angka ini masih sebanding dengan disain lepasan AP1000 [28] dimana perkiraan batasan disain untuk lepasan Tritium, GPFA, Radio Iodine dan partikulat udara

adalah 350, 11000, $5,2 \times 10^{-1}$, dan $4,72 \times 10^{-2}$ Ci per tahun. Sedangkan C-14 dan Ar-41 sama dengan hasil perhitungan PWR-GALE Tabel 4 yaitu 7,3 dan 34 curi per tahun.

Simulasi lanjut PWR-GALE menunjukkan bahwa keluaran lepasan C-14 dan Ar-41 tidak berubah oleh perubahan masukan apapun, angka 7,3 dan 34 Ci per tahun yang ada ditetapkan berdasarkan data-data operasi reaktor PWR tahun tahun 80an (1973-1978), ditulis konstan dalam *source code* PWR-GALE [12]. Sementara itu perhitungan lepasan radionuklida lainnya dipengaruhi oleh parameter masukan dalam sistem pengolahan limbah baik cair maupun gas.

KESIMPULAN

- Dalam operasi normal reaktor nuklir jenis PWR melepaskan berbagai radionuklida dengan radioaktivitas terbesar kelompok tritium (H-3), kemudian Gas Produk Fisi dan Aktivasi (GPFA), radio karbon (C-14), radio Iodine, dan partikulat udara.
- Radionuklida kelompok GPFA didominasi gas Xenon (Xenon-133, Xe-133m dan Xe-135) yang menyumbang 99% radioaktivitas GPFA.
- Iodine-131 dan Iodin-133 mendominasi 99% kelompok radio iodine.
- Di kelompok partikulat udara, Cobalt (Co-58 dan Co-60) dan Cs-137 mendominasi lebih dari 65% radioaktivitas; kemudian diikuti Cr-51, Br-82, Rb-88, Nb-95, Fe-59, Zr-95 dan Mn-54 yang masing-masing menyumbang radioaktivitas 1-10%.
- PWR-GALE dapat digunakan untuk simulasi perhitungan perkiraan Tritium, GPFA, radio Iodine maupun partikulat udara, tetapi tidak dapat digunakan untuk perhitungan C-14 dan Ar-41.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih diucapkan kepada Kepala Bidang Radioekologi serta rekan-rekan di Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) yang telah memberikan dukungan dan bantuannya, menyediakan biaya dan sarana penelitian untuk penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IAEA, "PRIS (Power Reactor Information System), Operational & Long-Term Shutdown Reactors." [Online]. Available: <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/> [Accessed:14-May-2016]
- [2] IAEA, "PRIS (Power Reactor Information System), Under Construction Reactors." [Online]. Available: <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx>. [Accessed: 14-May-2016].
- [3] Nurokhim, "Karakteristik Radioaktivitas Lepas Efluen Limbah Cair pada Operasi PLTN PWR 1000 MWe," in *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengelolaan Limbah XIII*, 2015.
- [4] IAEA, *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050*, IAEA-RDS-1st ed., no. 1. Viena, Austria: IAEA, 2015.
- [5] EA, "Generic design assessment AP1000 nuclear power plant design by Westinghouse Electric Company LLC Assessment report." Environment Agency, Almondsbury, Bristol, 2011.
- [6] U.S.NRC, "Radioactive Effluent and Environmental Reports for Diablo Canyon 1 & 2, 2005-2014 (10 pdf. report files)." [Online]. Available: <http://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience/tritium/plant-specific-reports/diab1-2.html>. [Accessed: 12-Oct-2015].
- [7] U.S.NRC, "Radioactive Effluent and Environmental Reports for DC Cook 1 & 2, 2005-2014, 10 pdf. report files." [Online]. Available: <http://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience/tritium/plant-specific-reports/cook1-2.html>. [Accessed: 12-Oct-2015].
- [8] U.S.NRC, "Radioactive Effluent and Environmental Reports for St. Lucie 1 & 2, 10 pdf. report files," 2016. [Online]. Available: <http://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience/tritium/plant-specific-reports/stl1-2.html>. [Accessed: 13-Oct-2015].
- [9] U.S.NRC, "Radioactive Effluent and Environmental Reports for North Anna 1 & 2, 2005-2014, (10 pdf. report files)." [Online]. Available: <http://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience/tritium/plant-specific-reports/na1-2.html>. [Accessed: 13-Oct-2015].
- [10] U.S.NRC, "Radioactive Effluent and Environmental Reports for San Onofre 2 & 3, 2005-2015, 10 pdf. report files." [Online]. Available: <http://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-experience/tritium/plant-specific-reports/sano2-3.html>. [Accessed: 14-Oct-2015].
- [11] U.S.NRC, "Radioactive Effluent and Environmental Reports for Comanche Peak 1&2, 2005-2014,10 pdf. report files." [Online]. Available: <http://www.nrc.gov/reactors/operating/ops-xperience/tritium/plant-specific-reports/cp1-2.html>. [Accessed: 14-Oct-2015].
- [12] T. Chandrasekaran, J. Y. Lee, and C. A. Willis, *Calculation of Releases of Radioactive Materials in Gaseous and Liquid Effluents from Pressurized Water Reactors, PWR-GALE Code*, NUREG-0017 ed. Washington, D.C.: U.S. Nuclear Regulatory Commission, 1985.
- [13] WEC, *The westinghouse pressurized water reactor nuclear power plant*. Pittsburgh, Pennsylvania: Westinghouse Electric Corporation, 1984.

- [14] NEA-OECD, *Effluent Release Options from Nuclear Installations*. Nuclear Energy Agency, OECD, 2003.
- [15] U.S.AEC, *Regulatory Guide 1.21: Measuring, Evaluating and Reporting Radioactivity in Solid Wastes and Releases of Radioactive Materials in Liquid and Gaseous Effluents from Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants*, Revision 1., no. June. U.S. Atomic Energy Commission, 1974.
- [16] U.S.NRC, *Regulatory Guide 1.21, Measuring, Evaluating, and Reporting Radioactive Material in Liquid and Gaseous Effluents and Solid Waste*, Revision 2., no. June. U.S. Nuclear Regulatory Commission, 2009.
- [17] R. Vargas, "California's San Onofre nuclear plant to shut down permanently," 2013. [Online]. Available: <https://www.wsws.org/en/articles/2013/06/11/san-o-j11.html>. [Accessed: 08-Apr-2016].
- [18] SCE, "San Onofre Nuclear Generation Station Annual Radioactive Effluent Release Report 2013." Southern California, EDISON International Company, 2014.
- [19] M. Blevins, "Comanche Peak Steam Electric Station Unit 1 and 2, Radioactive Effluent Release Report 2005." TXU Generating Company LP, Glen Rose, p. 50, 2006.
- [20] CPNPP, "2008 Radioactive Effluent Release," Comanche Peak Nuclear Power Plant, 2009.
- [21] J. R. Becker, "Diablo Canyon Units 1 and 2, 2010 Annual Radioactive Effluent Release Reports," *Water*. Pacific Gas and Electric Company, 2011.
- [22] J. P. Gebbie, "Donald C. Cook Nuclear Power Plant Unit 1 and 2, Annual Radioactive Effluent Release Report 2010." Indiana Michigan Power, 2011.
- [23] FP&LC, "St. Lucie 1 and 2 Annual Radioactive Effluent release Report 2010." Florida Power & Light Company, p. 60, 2011.
- [24] N. L. Lane, "Annual Radioactive Effluent Release Report, North Anna Power Station 2010." Virginia Electric and Power Company, 2011.
- [25] SCE, "San Onofre Nuclear Generating Station, Annual Radioactive Effluent Release Report," 2012.
- [26] F. W. Madden, "Comanche Peak Nuclear Power Plant, 2010 Radioactive Effluent Release Report." Luminant Generation Company LLC, 2011.
- [27] EPRI, "Estimation of Carbon-14 in Nuclear Power Plant Gaseous Effluents 2010," Electric Power Research Institute, Palo Alto, California, 2010.
- [28] U.S.NRC, "11. Radioactive Waste Management, AP1000 Design Control Document," in *Westinghouse AP1000 Design Control Document Rev. 19*, United State Nuclear Regulatory Commission, 2011.

TANYA JAWAB

Adjat Sudradjat

- Mengapa besaran radioaktivitas lepasan dalam efluen gas perlu diketahui?
- Bagaimana dengan lepasan dalam efluen cair?

Nurokhim

- Tidak hanya dalam efluen gas, tetapi juga dalam efluen cair radioaktivitas yang terlepas dari PLTN perlu diketahui (dikuantisasi). Hal ini akan sangat diperlukan dalam menentukan/memperkirakan besarnya peningkatan radiasi yang akan diterima oleh masyarakat/lingkungan dari operasi PLTN.
- Umumnya radioaktivitas lepasan dalam efluen cair juga didominasi oleh radionuklida Tritium.