

PERHITUNGAN DETERMINISTIK AKTIVITAS RADIASI REAKTOR DAYA AIR RINGAN DENGAN POSTULASI SEVERE ACCIDENT

Pande Made Udiyani

(pmade-u@batan.go.id)

Pusat Teknologi Reaktor dan Keselamatan Nuklir-BATAN

ABSTRAK

PERHITUNGAN DETERMINISTIK AKTIVITAS RADIASI REAKTOR DAYA AIR RINGAN DENGAN POSTULASI SEVERE ACCIDENT. Pengoperasian PLTN memerlukan analisis keselamatan terutama untuk aktivitas radiasi yang ditimbulkan pada kondisi normal dan kecelakaan. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan kondisi untuk kriteria zona daerah eksklusi EPZ pada kecelakaan parah (severe accident) di daerah tapak studi yang dipilih. Sekuensi kecelakaan yang dipostulasikan memicu terjadinya kecelakaan parah adalah kecelakaan kehilangan pendingin (loss of coolant accident, LOCA). Peningkatan temperatur mengakibatkan pelelehan bahan bakar dan material-material struktur teras. Perhitungan lepasnya radionuklida dari teras reaktor meliputi asumsi fraksi total lepasan dari teras, fraksi yang lepas ke pengungkung (containment) dan yang lepas ke lingkungan. Fraksi pelepasan di ambil untuk tiga postulasi yang berbeda dengan karakteristik sumber yang diambil dari reaktor generik PWR dengan kapasitas 1000 MWe yang beroperasi di daerah tapak studi Ujung Watu. Perhitungan konsekuensi dispersi radioaktif di lingkungan menggunakan PC-COSYMA. Hasil analisis diperoleh bahwa postulasi kecelakaan, jenis reaktor, sistem keselamatan, dan asumsi model pelepasan radionuklida dari teras reaktor mempengaruhi besarnya aktivitas radionuklida yang lepas ke lingkungan. Besarnya dampak radiologi terhadap lingkungan dan masyarakat dipengaruhi kondisi tapak seperti kondisi cuaca, distribusi penduduk, produksi pertanian pada daerah estimasi, dan model konsumsi masyarakat sekitar tapak PLTN.

Katakunci: deterministik, LWR, Severe accident

ABSTRACT

THE DETERMINISTIC CALCULATION OF RADIATION ACTIVITY FOR LIGHT WATER REACTOR ON SEVERE ACCIDENT POSTULATION. Operation of NPPs (Nuclear Power Plants) requires safety analysis especially for radiation activity generated at normal and accident condition. The aim of this research is to get condition for Exclusion Population Zone EPZ criterion at severe accident in study site selected. The accident sequences are postulated refers the happening of severe accident is loss of coolant accident, LOCA. Improvement of temperature results fuel melting and core structures materials. Disengaged calculation of radionuclide from pile platform covers assumption of diffraction of total releases from core, released fraction to containment and discharged to environment. Released fraction are take for three differ postulation on generic PWR source term which capacities 1000 MWE operating in study site in Ujung Watu. PC-COSYMA used to calculation of radioactive dispersion consequence in site area. Result of analysis obtained that postulation of accident, reactor type, safety system, and assumption of radionuclide released model from core influences level of radionuclide activity released to environment. The Level of radiology impact to environment and public is influenced condition of site such as wheater condition, distribution of resident, produce of agriculture at estimation district, and consumption model of public around NPPs site.

Keywords : Deterministic, LWR, Severe accident

1. PENDAHULUAN

Pengoperasian PLTN memerlukan analisis keselamatan terutama untuk aktivitas radiasi yang ditimbulkan pada kondisi normal dan kecelakaan. Aktivitas radiasi yang dipantau adalah yang menimbulkan potensi penerimaan dosis radiasi yang signifikan terhadap pekerja, masyarakat, dan lingkungan. Di lingkungan pemetaan penerimaan dosis dan konsekuensinya terbagi dalam zona yaitu: zona eksklusi EPZ (*Exclusion Population Zone*) dengan ketentuan maksimal bisa menerima dosis 0,25 Sv tercapai pada area radius 800 m^[1]; zona berpenduduk jarang LPZ (*Low Population Zone*) pada radius 1-5 km dengan penerimaan dosis 0,25 Sv/tahun; dan zona berpenduduk padat pada area radius > 5 km, yang dibatasi dosis kolektif 20.000 orang Sv. Perhitungan untuk beberapa postulasi kondisi kecelakaan dengan jenis reaktor berbeda telah dilakukan.^[2,3] Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan kondisi untuk kriteria zona daerah eksklusi EPZ pada kecelakaan parah (*severe accident*) di daerah tapak studi yang dipilih.

Kondisi *severe accident* adalah kejadian yang merujuk adanya kegagalan teras reaktor yang signifikan di dalam suatu reaktor pembangkit daya yang menghasilkan sebagian atau seluruh bahan bakar di dalam teras meleleh. Kegagalan dalam antisipasi kejadian tersebut mengakibatkan lepasnya produk radioaktif dari instalasi reaktor daya, yang akan menimbulkan konsekuensi serius terhadap lingkungan.^[4] Kecelakaan parah *severe accident* umumnya disebabkan adanya kegagalan pendinginan di dalam teras yang mengakibatkan terganggunya proses perpindahan panas di dalam bahan bakar di dalam teras.

Sekuensi kecelakaan yang dipostulasikan memicu terjadinya kecelakaan parah adalah kecelakaan kehilangan pendingin (*loss of coolant accident, LOCA*) yang diikuti dengan kegagalan sistem pendingin teras darurat (*emergency core cooling system, ECCS*). Jika teras reaktor dalam beberapa saat tidak terairi pendingin, maka akan terjadi peningkatan temperatur yang mengakibatkan pelelehan bahan bakar dan material-material struktur teras. Perhitungan lepasnya radionuklida dari teras reaktor meliputi asumsi fraksi total lepasan dari teras, fraksi yang lepas ke pengungkung (*containment*) dan yang lepas ke lingkungan. Fraksi pelepasan di ambil untuk tiga postulasi^[5,6] yang berbeda dengan karakteristik sumber yang diambil dari reaktor generik PWR dengan kapasitas 1000 MWe yang beroperasi di daerah tapak studi Ujung Watu.^[7,8] Perhitungan konsekuensi dispersi radioaktif di lingkungan menggunakan PC-COSYMA.^[9]

2. TEORI

Severe accident adalah kejadian yang merujuk adanya kegagalan teras reaktor yang signifikan di dalam suatu reaktor pembangkit daya yang menghasilkan sebagian atau seluruh bahan bakar di dalam teras meleleh. Kegagalan dalam antisipasi kejadian tersebut mengakibatkan lepasnya produk radioaktif dari instalasi PLTN, yang akan menimbulkan konsekuensi serius terhadap lingkungan.^[4] Kecelakaan parah *severe accident* umumnya disebabkan adanya kegagalan pendinginan di dalam teras yang mengakibatkan terganggunya proses perpindahan panas di dalam bahan bakar di dalam teras. Jenis kejadian yang mendahului kegagalan teras^[4]

1. Kehilangan Pendingin - *Loss of Coolant Accidents (LOCA sequences, dibagi dalam Large Breaks, Intermediate Breaks, dan Small Breaks)*

Kecelakaan ini dimulai dengan bocornya pipa di dalam sistem pendingin reaktor RCS (*Reactor Coolant System*) atau salah satu sirkuit penghubung (kecuali retaknya bejana, atau retaknya tabung sistem pembangkit uap). Bocornya pipa tersebut menyebabkan hilangnya pendingin dari RCS dan pengurangan tekanan dari sistem pendingin reaktor. Besarnya efek yang disebabkan dari kejadian ini bergantung pada kejadian awal, lokasi bocor, dan ukuran bocor.

2. Kehilangan pendingin yang terbentuk di luar bangunan pengungkung (V-LOCA)

Kecelakaan ini terjadi kehilangan pendingin karena adanya kebocoran melalui perpipaan yang berada di luar bangunan pengungkung yang merupakan sirkuit penghubung dengan rangkaian RCS di dalam pengungkung. Walaupun kejadian ini di luar bangunan pengungkung, tetapi jika terjadi pelelehan teras maka akan mengakibatkan radioaktif lepas ke luar pengungkung dan tersebar langsung ke lingkungan.

3. Kebocoran di pipa sistem pendingin sekunder

Meliputi : Kebocoran di dalam perpipaan sistem umpan pembangkit uap FWLBs (*Feed Water Line Breaks*) dan kebocoran di jalur uap SLBs (*Steam Line Breaks*) di sistem sekunder pembangkit uap.

4. Retaknya tabung pembangkit uap, SGTR (*Steam Generator Tube Ruptures*)

Kejadian awal tipe kecelakaan ini adalah adanya kebocoran besar atau retaknya satu atau lebih tabung pembangkit uap

(kategori SGTR) atau bocornya perpipaan sekunder (air umpan atau uap) mengakibatkan retaknya satu atau beberapa tabung pembangkit uap (kombinasi SLB-SGTR).

5. Hilangnya sumber pendingin dan yang berkaitan dengan sumber pendingin (*Complete Loss of Cooling Source or Associated System*) (kategori H1)

Kejadian awal yang memicu kecelakaan kategori ini adalah kehilangan sumber pendinginan terminal dari sistem pendingin. Kegagalan teras biasanya disebabkan melalui sekuensi H1 (kebocoran pengerat (*seal*) pompa RCS dan kegagalan menuju inventori air *maintain*)

6. Hilangnya seluruh air umpan yang menuju pembangkit uap (kategori H2 atau TGTA)

Kejadian awal pada kecelakaan dengan kategori seperti ini adalah kegagalan peralatan yang mengakibatkan kombinasi

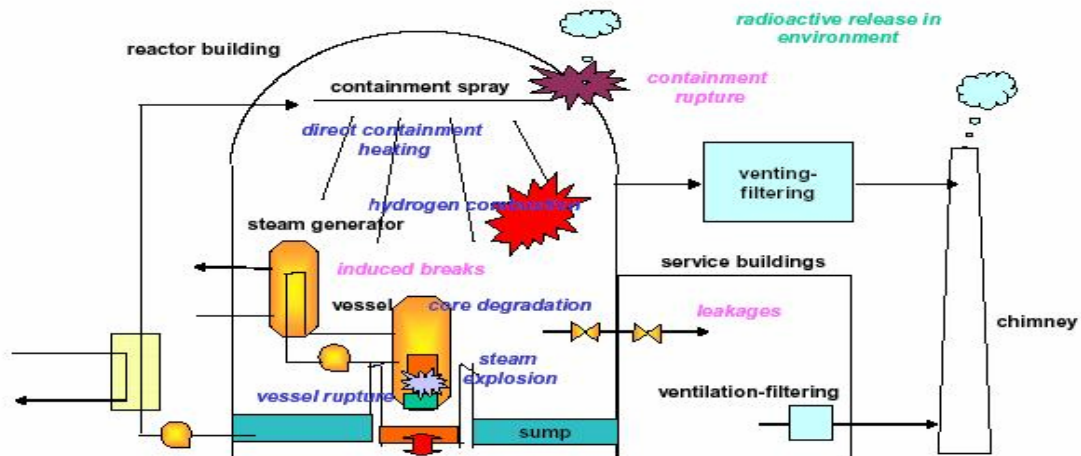
kehilangan dari sistem air umpan utama dan sistem air umpan tambahan yang menuju ke pembangkit uap. Kegagalan teras biasanya disebabkan melalui sekuensi H2 (Kehilangan seluruh air umpan yang menuju pembangkit uap dan kegagalan fungsi *feed-and-bleed*)

7. Hilangnya seluruh dari daya elektrik (H3 class)

Kecelakaan ini dimulai dengan kejadian kehilangan *quasi-simultaneous* dari hilangnya kedua sakelar kv darurat LHA dan LHB, atau hilangnya daya internal lalu daya eksternal yang merusakkan sumber daya listrik, yang pada gilirannya memutus semua daya listrik sistem keselamatan reaktor.

8. Kegagalan ATWS (*Anticipated Transient Without Scram*)

Level dari kecelakaan ini meliputi berbagai situasi yang disertai dengan kegagalan dari pemadaman reaktor *shutdown* yang otomatis yang seharusnya mengikuti satu peristiwa pemicu di dalam fasilitas.



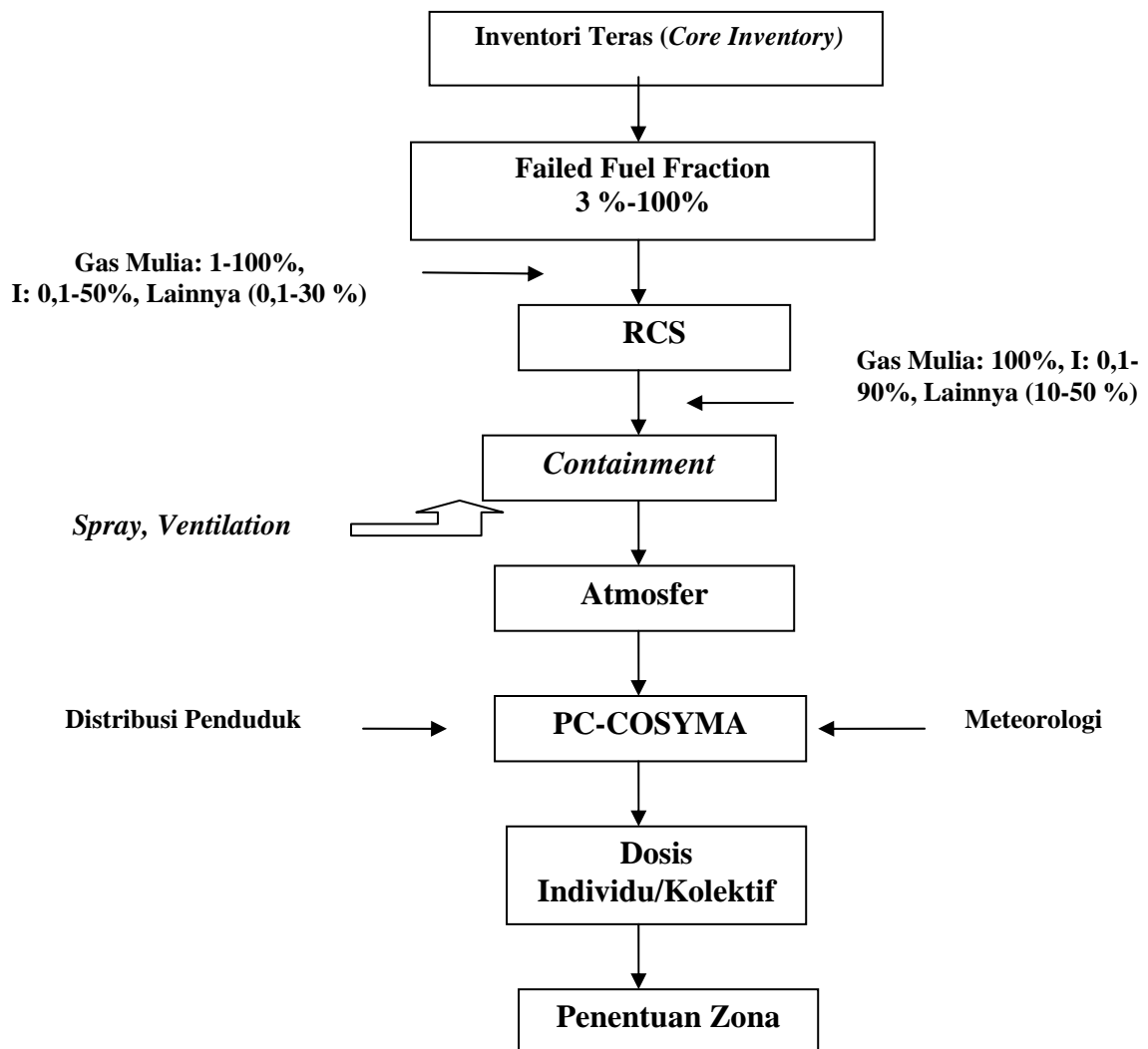
Gambar 1. Fenomena Fisik PLTN selama kejadian *severe accident*

Gambar 1 menunjukkan fenomena kerusakan fisik yang terjadi pada bangunan reaktor daya selama terjadinya kecelakaan *severe accident*.

3. TATA KERJA

Gambar 2 adalah alur proses simulasi perhitungan untuk menentukan zona penerimaan radiasi akibat lepasnya radionuklida dari kejadian *severe*

accident. Proses perhitungan dimulai dari membuat skenario (postulasi) kejadian.



Gambar 2. Proses penentuan zona penerimaan radiasi akibat lepasan radionuklida dari kejadian *severe accident*

Postulasi dari kecelakaan *severe accident* yang akan digunakan sebagai dasar analisis dan simulasi dibuat untuk 3 postulasi yang dimulai dari postulasi yang sangat pesimistis, yaitu:

1. Postulasi A

100 % teras meleleh; nuklida lepas ke pengungkung dan ke lingkungan tanpa ada penghalang dan filtrasi terhadap radionuklida di dalam teras. Semua sistem keselamatan tidak berfungsi, sehingga radionuklida semuanya lepas ke lingkungan. Postulasi ini adalah postulasi yang sangat pesimistik.

2. Postulasi B

100 % teras meleleh dengan fraksi pelepasan 100 % gas mulia, 50 % I dan

1% nuklida lainnya lepas ke pengungkung. Sistem *spray* di pengungkung tidak berfungsi.^[4] Radionuklida yang lepas ke lingkungan melalui filter di cerobong dengan kemampuan efisiensi penyaringan 90 % untuk I, dan 99 % untuk radionuklida lainnya selain gas mulia.

3. Postulasi C

Teras meleleh 3 %; fraksi da Kr dari inventori ke dalam gap 7,5 %; gas mulia Xe 3,95 %; dan I sebesar 0,65 %. Lepas dari inventori ke sungkup untuk Kr-85 (0,23%), Xe-133 (0,07 %), I-131 (0,02 %) dan Cs-137 (0,06 %).^[5] Sistem *spray* di pengungkung tidak berfungsi.

Data radionuklida yang ke lingkungan berdasarkan postulasi terdapat pada Tabel 1.

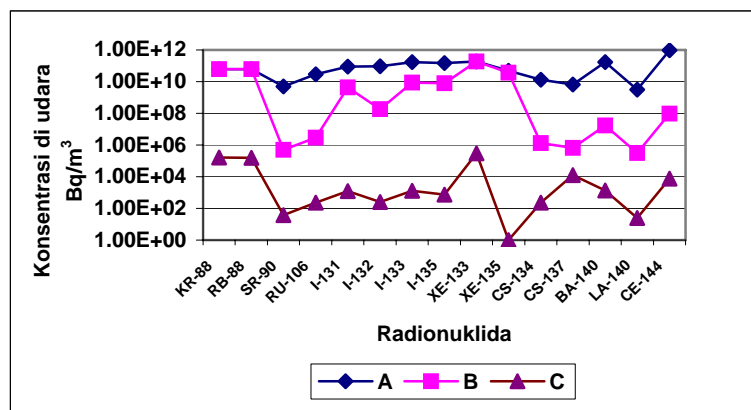
Tabel 1. Radionuklida yang lepas dari bangunan reaktor ke lingkungan berdasarkan postulasi ^[4,5]

Radionuklida	Aktivitas, Bq		
	Postulasi A	Postulasi B	Postulasi C
Kr-85m	$2,63 \times 10^{17}$	$2,63 \times 10^{17}$	$2,80 \times 10^{11}$
Kr-85	$4,73 \times 10^{15}$	$4,73 \times 10^{15}$	$1,35 \times 10^{11}$
Kr-88	$6,23 \times 10^{17}$	$6,23 \times 10^{17}$	$1,63 \times 10^{12}$
Xe-133	$7,13 \times 10^{16}$	$7,13 \times 10^{16}$	$2,33 \times 10^{12}$
Xe-135	$3,08 \times 10^{17}$	$3,08 \times 10^{17}$	$4,40 \times 10^{08}$
Ru-106	$2,33 \times 10^{13}$	$2,33 \times 10^{13}$	$1,79 \times 10^{09}$
I-131	$7,05 \times 10^{17}$	$3,52 \times 10^{16}$	$9,98 \times 10^{09}$
I-132	$1,05 \times 10^{18}$	$2,00 \times 10^{15}$	$2,89 \times 10^{09}$
I-133	$1,43 \times 10^{18}$	$7,13 \times 10^{16}$	$1,09 \times 10^{10}$
I-135	$1,35 \times 10^{18}$	$7,00 \times 10^{16}$	$6,50 \times 10^{09}$
Cs-134	$1,05 \times 10^{17}$	$1,05 \times 10^{13}$	$1,80 \times 10^{09}$
Cs-137	$5,25 \times 10^{16}$	$5,25 \times 10^{12}$	$1,01 \times 10^{11}$
Ba-140	$1,35 \times 10^{18}$	$1,35 \times 10^{14}$	$1,06 \times 10^{10}$
Ce-144	$7,43 \times 10^{18}$	$7,43 \times 10^{14}$	$5,98 \times 10^{10}$

Dari postulasi dan asumsi-asumsi fraksi lepasan, kemudian disimulasikan akan dioperasikan di Ujung Watu, ^[7,8] dengan menggunakan data meteorologi, kerapatan penduduk dan data-data lingkungan lainnya sebagai data inputan program PC-Cosyma. ^[9]

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil perhitungan simulasi untuk tiga postulasi kecelakaan *severe accident* terdapat pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 5 (aktivitas radioaktif di udara dan di permukaan tanah, dan Tabel 2 (Hasil perhitungan aktivitas radiasi untuk daerah zona berbeda) dan Tabel 3 (Probabilitas rata-rata untuk tanggap darurat awal (*Mean probability of early countermeasures*)) berdasarkan postulasi dan jarak radius setelah 1 hari radionuklida terdispersi)



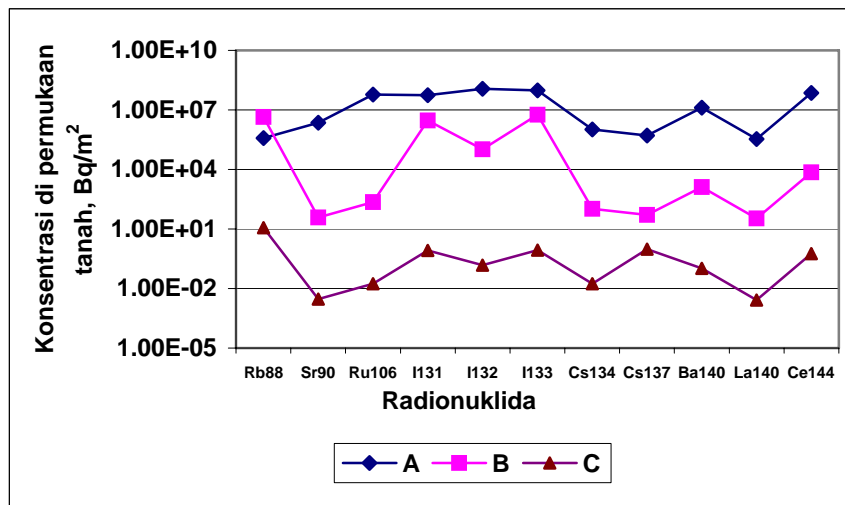
Gambar 3. Aktivitas radiasi di udara setelah 1 hari terdispersi di udara untuk zona EPZ (radius 800 m)

Aktivitas radiasi untuk penentuan zona EPZ (Gambar 3) hanya diperhatikan untuk aktivitas di udara dalam jangka waktu 1-4 hari setelah

kejadian, karena untuk melihat seberapa banyak jenis tanggap darurat awal yang harus dilakukan.

Aktivitas radiasi dari udara akan mengakibatkan penerimaan dosis jangka pendek seperti paparan interna (inhalasi) dan eksternal paparan langsung

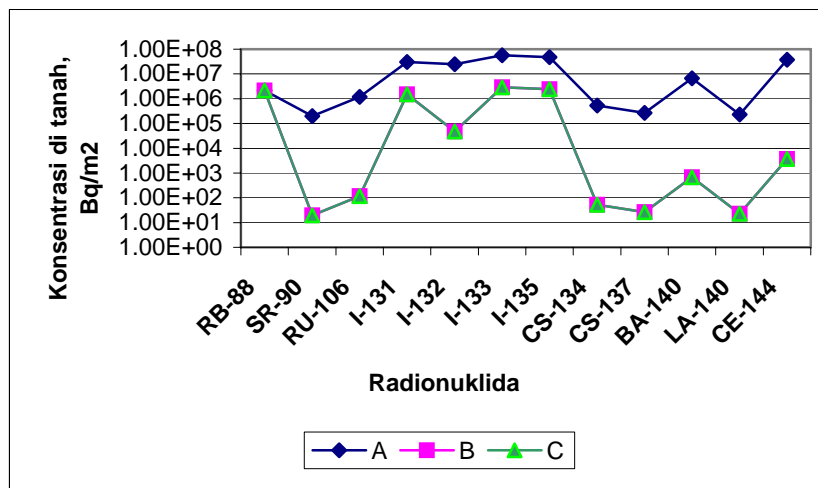
dari *cloudshine*. Semua jenis radionuklida bisa memberikan kontribusi terhadap dosis radiasi yang diterima.



Gambar 4. Aktivitas radiasi di permukaan tanah setelah 1 tahun terdispersi di udara untuk zona LPZ (radius 5000 m)

Sedangkan untuk zona LPZ (radius <5 km), aktivitas yang diperhatikan adalah aktivitas di permukaan tanah (Gambar 4), yang akan

menimbulkan paparan dan dosis jangka panjang (*longterm*), karena syarat yang diperlukan untuk tidak dilampaui adalah dosis individu efektif dalam jangka waktu satu tahun.



Gambar 5. Aktivitas radiasi di permukaan tanah setelah 1 tahun terdispersi di udara untuk zona PZ Population Zone (radius 10000 m)

Penentuan dosis kolektif diperlukan untuk daerah berpenduduk padat (jarak radius > 5 km), dalam perhitungan ini diambil untuk jarak radius 10-20 km dari tapak reaktor. Penerimaan dosis jangka panjang yang mempengaruhi besarnya dosis kolektif adalah dari interna (ingesti-via konsumsi

penduduk setempat dari makanan yang terkontaminasi)

Tabel 2, menjelaskan tentang penentuan zona yang diestimasi berdasarkan penerimaan dosis yang diterima lingkungan dan masyarakat di sekitar tapak reaktor, berdasarkan postulasi.

Penentuan daerah zona untuk EPZ (radius 800m), dihitung pada kondisi waktu sebaran radioaktif di lingkungan dalam jangka waktu 1-4 hari setelah kejadian.^[10] Sedangkan untuk zona EPZ dihitung dalam jangka waktu 1 tahun setelah kejadian,

untuk melihat pemenuhan batas waktu setahun yang diijinkan untuk masyarakat umum. Sedangkan syarat pemenuhan batas dosis kolektif yang diijinkan untuk zona berpenduduk padat.

Tabel 2. Hasil perhitungan aktivitas radiasi untuk daerah zona berbeda

Postulasi	EPZ (radius 800m), Sv	LPZ (radius 5 km), Sv/tahun	Zona dalam radius 10-20 km, dosis kolektif orang Sv
A (100 % teras meledak; nuklida lepas ke containment dan ke lingkungan)	$1,59 \times 10^{-1}$	$4,24 \times 10^{-1}$	$7,68 \times 10^4$
B (100 % teras meledak, 50 % I dan 1% nuklida lainnya ke containment, filter cerobong berfungsi)	$2,38 \times 10^{-3}$	$2,29 \times 10^{-4}$	$1,26 \times 10^2$
C (teras meledak 3 %; fraksi da Kr dari inventori ke dalam gap 7,5 %; gas mulia Xe 3,95 %; dan I sebesar 0,65 %. Lepas dari inventori ke sungkup untuk Kr-85 (0,23%), Xe-133 (0,07 %), I-131 (0,02 %) dan Cs-137 (0,06 %)	$5,22 \times 10^{-9}$	$4,22 \times 10^{-9}$	$2,77 \times 10^{-3}$

Di lingkungan, pemetaan penerimaan dosis dan konsekuensinya terbagi dalam zona yaitu: zona eksklusi EPZ (*Exclusion Population Zone*) dengan ketentuan maksimal bisa menerima dosis 0,25 Sv tercapai pada area radius 800 m^[11]; zona berpenduduk jarang LPZ (*Low Population Zone*) pada radius 1-5 km dengan penerimaan dosis 0,25 Sv/tahun; dan zona berpenduduk padat pada area radius > 5 km, yang dibatasi dosis kolektif 20.000 orang Sv.^[10]

Hasil pada Tabel 2 penerimaan dosis berdasarkan zona untuk zona EPZ semua postulasi di bawah batas dosis yang diijinkan yaitu 0,25 Sv. Dibandingkan dengan postulasi lainnya maka postulasi A yang paling mungkin mendapatkan dosis 0,25 Sv, tetapi dengan jarak

radius < 0,8 km. Syarat lainnya adalah tidak ada tanggap darurat awal yang berarti untuk zona EPZ, jika terjadi suatu kecelakaan reaktor. Jika dilihat pada data pada Tabel 3, tindakan yang berarti yang dilakukan setelah 1 hari terjadi kecelakaan pada postulasi A, adalah pemberian tablet Yodium untuk masyarakat yang berdomisili di Zona ini, dan tanpa tindakan *sheltering*. Tindakan tanggap darurat awal untuk semua postulasi hampir sama untuk zona EPZ dan zona LPZ. Sedangkan untuk zona berpenduduk padat radius 10-20 km (*Dense Population Zone*) untuk postulasi A, pemberian tablet yodium masih diberikan, walaupun bukan untuk semua penduduk yang berdomisili pada zona ini.

Tabel 3 . Probabilitas rata-tata untuk tanggap darurat awal (*Mean probability of early countermeasures*) berdasarkan postulasi dan jarak radius setelah 1 hari radionuklida terdispersi

Jarak radius (km)	Tanggap darurat	Probabilitas Tanggap Darurat Awal Postulasi		
		A	B	C
0,8	-Sheltering	0,0	0,0	0,0
	-Pemberian Tablet Yodium	1,0	1,0	1,0
2	-Sheltering	0,0	0,0	0,0
	-Pemberian Tablet Yodium	1,0	1,0	1,0
5	-Sheltering	0,0	0,0	0,0
	-Pemberian Tablet Yodium	1,0	1,0	1,0
10	-Sheltering	0	0	0
	-Pemberian Tablet Yodium	0,25	0	0
20	-Sheltering	0	0	0
	-Pemberian Tablet Yodium	0,125	0	0

Besarnya dosis efektif individu (zona LPZ untuk radius < 5 km) dan dosis kolektif (zona berpenduduk padat radius 10-2 km) untuk kejadian kecelakaan pada postulasi A, di atas batas yang diijinkan. Dosis kolektif adalah perkalian antara dosis individu efektif (Sv) dengan kepadatan penduduk yang berdomisili di daerah tersebut (orang). Sedangkan kondisi untuk kejadian dengan postulasi B dan C, masih di bawah batas yang diijinkan.

Kondisi pada postulasi A adalah yang sangat pesimistik dengan skenario 100 % teras meleleh; nuklida lepas ke pengungkung dan ke lingkungan tanpa ada penghalang dan filtrasi terhadap radionuklida di dalam teras. Semua sistem keselamatan tidak berfungsi, sehingga radionuklida semuanya lepas ke lingkungan. Dengan kemajuan teknologi reaktor nuklir, hal seperti ini tidak mungkin terjadi. Sistem keselamatan reaktor sudah sangat maju dan filosofi pertahanan berlapis sudah dengan ketat diterapkan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] BATAN, "Guidance for The Application and Development of Sustainable Nuclear Energy System in Indonesia" (2006)
- [2] PANDE, M.U., "Analisis Probablistik terhadap Keselamatan Radiasi Reaktor Daya PLTN pada Kondisi LOCA", Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir" (2009)
- [3] KUNTJORO S., "Analisis Sebaran Radionuklida pada Kondisi Kecelakaan LOCA Reaktor Daya APR-1400", Prosiding Seminar ke-14 Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir ISSN 0854-2910, Bandung (2008)
- [4] IRSN, "Research and Development with Regard to Severe Accidents in Pressurised

5. KESIMPULAN

Penerimaan dosis di masyarakat untuk postulasi pada kondisi *severe accident* berdasarkan zona, untuk zona EPZ (*Exclusion Population Zone*) untuk semua postulasi di bawah batas dosis yang diijinkan yaitu 0,25 Sv dan tidak ada tanggap darurat awal yang berarti untuk zona ini. Besarnya dosis efektif individu untuk zona LPZ (*Low Population Zone*) untuk radius < 5 km dan dosis kolektif untuk zona berpenduduk padat pada radius 10-20 km untuk kejadian kecelakaan pada postulasi A, di atas batas yang diijinkan. Dengan kemajuan teknologi reaktor nuklir, kondisi postulasi A tidak mungkin terjadi karena sistem keselamatan reaktor sangat maju dan filosofi pertahanan berlapis sudah dengan ketat diterapkan.

Water Reactors, Summary and Outlook,
Rapport IRSN-France (2007)

- [5] EUROPEAN COMMISSION, "Determination of the In-Containment Source term for a Large- Break Loss of Coolant Accident", EUR 19841 EN, (2001)
- [6] NUREG-1150 "Severe Accident Risks: An Assessment for Five U>S> Nuclear Power Plants" Washington (1990)
- [7] BMG-BATAN, "Data Meteorologi-Ujung Watu", Jepara, (2007)
- [8] BPS-Jepara, "Jepara dalam angka", (2006)
- [9] EUROPEAN COMMISSION, PC COSYMA, version 2.0. User Guide, National Radiological Protection Board, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, (1995)
- [10] ICRP 90 "Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Pergamon Press, (1990)

TANYA JAWAB