

DAMPAK RADIOLOGIK PADA OPERASI NORMAL DAN KONDISI KECELAKAAN PLTN

Eri Hiswara

Pusat Standardisasi dan Penelitian Keselamatan Radiasi - BATAN
Jl. Cinere Pasar Jumat
PO Box 7043 JKSKL Jakarta (12070)

PENDAHULUAN

Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang menggunakan nuklir sebagai bahan bakarnya. Hampir semua listrik yang dibangkitkan oleh nuklir dihasilkan pada reaktor termal. Pada reaktor ini, neutron cepat yang terjadi pada proses fisi diperlambat menjadi energi termal dengan menggunakan moderator. Neutron termal yang terbentuk selanjutnya berinteraksi dengan bahan bakar U-235 sehingga membentuk neutron lain dan panas. Populasi neutron termal di dalam reaktor ini dikendalikan dengan suatu batang pengendali, sehingga dicapai suatu reaksi berantai yang terus menerus.

Bahan yang paling banyak digunakan sebagai moderator adalah air ringan. Bahan ini digunakan pada tipe reaktor air bertekanan (PWR, *pressurized water reactor*) dan reaktor air mendidih (BWR, *boiling water reactor*).

Bahan moderator lain adalah air berat yang digunakan oleh tipe reaktor air berat (HWR, *heavy water reactor*, atau disebut pula reaktor CANDU) dan grafit yang digunakan oleh reaktor berpendingin gas (GCR, *gas-cooled reactor*) dan reaktor moderator grafit berpendingin air ringan (LWGR, *light-water-cooled, graphite-moderated reactor*).

Disamping tipe reaktor di atas, di dunia beroperasi pula reaktor pembiak cepat

(FBR, *fast breeder reactor*). Pada reaktor ini proses fisi berlangsung dengan neutron cepat; tidak ada moderator dan pendinginnya metal cair. Keuntungan FBR adalah kemampuannya untuk menghasilkan lebih banyak bahan bakar dibanding yang dikonsumsinya.

Selama tahun 1985-1989, jumlah PLTN yang beroperasi meningkat dari 77 menjadi 426, kapasitas terpasang naik dari 20 menjadi 318 GW dan energi yang dibangkitkan meningkat pula dari 9 menjadi 212 GW tahun. Tabel 1 memperlihatkan kapasitas terpasang dan listrik yang dibangkitkan di dunia selama tahun 1985-1989.

Data sampai akhir 1995 menunjukkan di seluruh dunia beroperasi 437 unit PLTN dengan daya total 344422 MWe, sementara yang sedang dibangun berjumlah 39 unit dengan perkiraan daya 32594 MWe. Di tujuh negara, Lithuania, Perancis, Belgia, Swedia, Bulgaria, Republik Slovakia dan Hungaria, PLTN menyumbang lebih dari 40% pembangkitan listrik di masing-masing negara tersebut.

DAMPAK RADIOLOGIK OPERASI NORMAL

Pada saat PLTN beroperasi, terbentuk produk fisi radioaktif di dalam bahan bakar dan produk aktivasi neutron di dalam bahan struktur dan kelongsong. Kontaminasi radioaktif pada pendingin

terjadi karena produk fisi dari fraksi bahan bakar dengan kelongsong yang dindingnya kurang sempurna berdifusi ke dalam pendingin. Selain itu, partikel yang berasal dari korosi bahan struktur dan kelongsong teraktivasi saat melewati teras reaktor.

Akibat kedua proses di atas, selama beroperasi dalam keadaan normal PLTN melepaskan sejumlah radionuklida, baik sebagai efluen udara maupun efluen cairan. Lepasannya radionuklida dalam efluen udara relatif terhadap energi listrik yang dibangkitkan selama tahun 1985-1989 menunjukkan bahwa gas mulia paling banyak dihasilkan oleh semua tipe reaktor kecuali HWR, sementara ^3H paling banyak dihasilkan oleh HWR. Dalam efluen cairan, semua tipe reaktor menghasilkan lebih banyak ^3H dibanding radionuklida lainnya. Lepasannya radionuklida dalam efluen udara dan cairan rata-rata selama tahun 1985-1989

diberikan masing-masing pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Pada umumnya konsentrasi radionuklida pada lepasan efluen dari setiap reaktor sangat kecil untuk dapat terukur, kecuali di dekat mulut lepasannya. Perkiraan dosis yang diterima penduduk dengan demikian banyak menggunakan pemodelan dalam transfer radionuklida itu dari lepasan ke lingkungan.

Dengan menggunakan model yang mewakili Eropa bagian utara dan AS bagian timur laut, yang memiliki PLTN terbanyak di dunia, telah diperkirakan dosis kolektif per satuan radionuklida yang diterima penduduk dunia secara bersama-sama. Sebagian besar radionuklida itu diterima oleh penduduk yang berada di daerah lokal dan regional sekitar tapak reaktor. Tabel 4 memperlihatkan perkiraan dosis kolektif per satuan lepasan radionuklida tersebut.

Tabel 1. Kapasitas terpasang dan listrik yang dibangkitkan di dunia selama tahun 1985-1989.

Jenis PLTN	Kapasitas (GW)	Listrik yang dibangkitkan (GW tahun)				
		1985	1986	1987	1988	1989
PWR	199,54	95,01	106,94	119,15	130,10	137,79
BWR	73,58	37,65	40,00	42,95	44,09	43,98
HWR	14,58	8,20	9,40	10,24	10,24	10,28
GCR	13,76	7,28	6,67	6,64	7,74	8,13
LWGR	14,98	11,41	8,74	11,05	11,93	11,99
FBR	2,24	0,67	0,77	0,81	0,67	0,81

Tabel 2. Lepasannya radionuklida dalam efluen udara rata-rata selama tahun 1985-1989.

Jenis PLTN	Lepasannya [GBq (GW th) ⁻¹]				
	Gas mulia	^3H	^{131}I	^{14}C sebagai CO_2	Partikulat
PWR	81000	2800	0,93	120	2,0
BWR	290000	2500	1,8	450	9,1
HWR	191000	480000	0,19	480	0,23
GCR	2150000	9020	1,4	540	0,68
LWGR	2000000	26000	14	-	12
FBR	150000	96000	-	-	0,19

Tabel 3. Lepasn radionuklida dalam efluen cairan rata-rata selama tahun 1985-1989.

Jenis PLTN	Lepasn [GBq (GW th) ⁻¹]	
	³ H	Selain ³ H
PWR	25000	45
BWR	790	36
HWR	374000	30
GCR	120000	960
LWGR	11000	-
FBR	3000	30

Tabel 4. Dosis kolektif per satuan lepasn radionuklida.

Jenis lepasn	Radio-nuklida	Jenis PLTN	Dosis kolektif [orang Sv PBq ⁻¹]
Atmosfer	Gas mulia	PWR	0,12 ^{a b}
		BWR	0,26
		GCR	0,011
	³ H		11
	¹⁴ C		1800 ^c
Cairan	¹³¹ I	PWR	340
		BWR	520 ^a
		GCR	510 ^b
	Partikulat		5400
Cairan	Selain ³ H	PWR	20 ^{a b}
		BWR	170
		GCR	40

^a Juga untuk LWGR dan FBR

^b Juga untuk HWR

^c Lokal dan regional

DAMPAK RADIOLOGIK KECELAKAAN

Sampai saat ini ada empat kecelakaan yang terjadi pada PLTN, yaitu di Kyshtym (Rusia) tahun 1957, Windscale (Inggris) tahun 1957, Three Mile Island (AS) tahun 1979 dan Chernobyl (Rusia) tahun 1986. Dua reaktor pertama merupakan reaktor militer sedang dua terakhir adalah reaktor sipil. Dari ketiga kecelakaan ini hanya Chernobyl yang mengakibatkan dampak lingkungan dan dosis kolektif yang cukup besar.

Pada kecelakaan Kyshtym, lepasn terbesar adalah dari ¹⁴⁴Ce + ¹⁴⁴Pr (66%), ⁹⁵Zr + ⁹⁵Nb (24,9%), ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y (5,4%) dan ¹⁰⁶Ru + ¹⁰⁶Rh (3,7%). Awan radioaktif mencapai ketinggian 1 km, dan deposisi terjadi selama 11 jam dengan cakupan daerah mencapai 300 km. Kontaminasi terbesar berasal dari ⁹⁰Sr dengan densiti 4 kBq m⁻². Dosis kolektif untuk sekitar 10000 orang penduduk yang dievakuasi mencapai 1300 orang-Sv. Karena tertutupnya informasi tentang kecelakaan ini sampai beberapa tahun terakhir ini, korban jiwa tidak diketahui pasti.

Pada kecelakaan Windscale, lepasn terbesar adalah ¹³¹I (740 kBq), diikuti oleh ¹³⁷Cs (22 TBq), ¹⁰⁶Ru (3 TBq) dan ¹³³Xe (1,2 PBq). Awan radioaktif bergerak ke London, terus ke Belgia untuk kemudian bergerak ke utara ke Norwegia. Dosis maksimum tiroid pada penduduk di dekat tapak sekitar 10 mGy untuk orang dewasa dan 100 mGy untuk anak-anak. Dosis kolektif pada penduduk Inggris dan Eropa diperkirakan sekitar 2000 orang-Sv, terdiri atas 900 orang-Sv dari inhalasi, 800 orang-Sv dari ingesi susu dan makanan, dan 300 orang-Sv dari deposisi permukaan. Pada kecelakaan ini tidak terdapat korban jiwa.

Pada kecelakaan TMI lepasn radioaktif sangat kecil, yaitu sekitar 370 PBq gas mulia, terutama ¹³³Xe, dan 550 GBq ¹³¹I. Dosis individu dan dosis kolektif pada radius 80 km dari tapak adalah sekitar 15 µSv dan 20 orang-Sv. Pada kecelakaan ini juga tidak terdapat korban jiwa. Perkiraan jumlah lepasn radionuklida dan dosis efektif kolektif dari produksi daya dan kecelakaan PLTN diberikan pada Tabel 5.

DAMPAK RADIOLOGIK KECELAKAAN CHERNOBYL

Jenis dan jumlah radionuklida yang terlepas ke lingkungan telah dievaluasi oleh

Tabel 5. Lepasn radionuklia dan dosis efektif kolektif dari produksi daya dan kecelakaan PLTN.

Sumber	Lepasn(PBq)						Dosis kolektif (orang Sv)	
	³ H	¹⁴ C	Gas mulia	⁹⁰ Sr	¹³¹ I	¹³⁷ Cs	Lokal/regional	Global
Produksi Daya :								
Tambang							2700	
Operasi	140	1,1	3200		0,04		3700	
Olah ulang bahan bakar	57	0,3	1200	6,9	0,004	40	4600	
Daur bahan bakar							300000	100000
Kecelakaan :								
Three Mile Island			370		0,0006		40	
Chernobyl					630	70		600000
Kyshtym				5,4		0,04	2500	
Windscale			12		0,7	0,02	2000	
Sub Total							316000	700000
Total (orang Sv)							1016000	

para ahli Soviet dua bulan setelah kecelakaan. Evaluasi saat itu baru mencakup deposisi di daerah bekas Uni Soviet. Sejak saat itu berbagai studi dilakukan untuk mengkaji ulang evaluasi awal dengan memperhitungkan deposisi di luar Uni Soviet. Pada saat ini telah diperoleh data revisi jenis dan jumlah radionuklida yang terlepas yang telah dikoreksi ke tanggal 26 April 1986. Tabel 6 memperlihatkan perkiraan jenis dan jumlah radionuklida yang terlepas pada kecelakaan Chernobyl ini yang telah dikoreksi ke tanggal 26 April 1986.

Lepasn total yang telah direvisi ini diperkirakan sekitar 8×10^{18} Bq. Dari jumlah total radionuklida ini, 85% adalah radionuklida dengan waktu paro kurang dari satu bulan, 13% radionuklida dengan waktu paro beberapa bulan, 1% radionuklida dengan waktu paro sekitar 30 tahun dan 0,001% radionuklida dengan waktu paro lebih dari 50 tahun.

Dosis kolektif akibat kecelakaan Chernobyl diperkirakan sekitar 600000 orang-Sv, dengan 40% diterima penduduk bekas Uni Soviet, 57% di Eropa yang lain

dan 3% di negara lain. Sebanyak 31 orang menjadi korban langsung dari kecelakaan.

Tabel 6. Perkiraan jenis dan jumlah radionuklida yang terlepas pada kecelakaan Chernobyl.

Jenis radionuklida	Aktivitas (PBq)	Jenis radionuklida	Aktivitas (PBq)
⁸⁵ Kr	33	¹⁴⁰ Ba	170
¹³³ Xe	6500	⁹⁵ Zr	170
^{129m} Te	240	⁹⁹ Mo	210
¹³² Te	1000	¹⁴¹ Ce	200
¹³¹ I	1200-1700	¹⁴⁴ Ce	140
¹³³ I	2500	²³⁹ Np	1700
¹³⁴ Cs	44-48	²³⁸ Pu	0,03
¹³⁶ Cs	36	²³⁹ Pu	0,03
¹³⁷ Cs	74-85	²⁴⁰ Pu	0,044
⁸⁹ Sr	81	²⁴¹ Pu	5,9
⁹⁰ Sr	8	²⁴² Pu	0,00009
¹⁰³ Ru	170	²⁴² Cm	0,93
¹⁰⁶ Ru	30		

Di masa mendatang, radionuklida berumur panjang seperti ¹³⁷Cs, ⁹⁰Sr, plutonium dan ²⁴¹Am diperkirakan akan terus memberikan dosis terhadap manusia. ¹³⁷Cs merupakan penyumbang utama baik sebagai paparan eksterna mau pun interna, ⁹⁰Sr akan terus terdaur di rantai makanan, sementara plutonium dan americium akan terus masuk secara inhalasi. Prognosis

jumlah radionuklida yang masih akan terus berada di lingkungan secara global diperlihatkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Radionuklida sisa di lingkungan global.

Radio-nuklida	Lepasan 1986 (PBq)	Sisa 1996 (PBq)	Sisa 2056 (PBq)
¹³¹ I	1200-1700	0	0
⁹⁰ Sr	8	6	1,5
¹³⁴ Cs	44-48	1,6	0
¹³⁷ Cs	74-85	68	17
²³⁸ Pu	0,03	0,03	0,02
²³⁹ Pu	0,03	0,03	0,03
²⁴⁰ Pu	0,044	0,044	0,03
²⁴¹ Pu	5,9	3,6	0,2
²⁴¹ Am	0,005	0,08	0,2

DOSIS RADIASI DARI SUMBER ALAMIAH

Untuk dapat mengapresiasi dosis yang terjadi selama kecelakaan PLTN perlu diketahui pula dosis efektif radiasi yang diterima seluruh penduduk dunia dari sumber alamiah. Dosis total yang diterima setiap tahun adalah 2,4 mSv, atau dosis kolektif sebesar 13 juta orang-Sv dengan asumsi jumlah penduduk dunia 5,3 milyar orang. Tabel 8 memperlihatkan jumlah dosis radiasi yang diterima penduduk dunia dari sumber alamiah.

Pada daerah dengan ketinggian yang lebih tinggi, dosis radiasi yang diterima sekitar lima kali rata-rata. Dari 2,4 mSv, dosis efektif radiasi terbesar yang diterima penduduk dunia berasal dari radon dan luruhannya (1,3 mSv), disusul dari sumber gamma terestrial, sinar kosmik dan radionuklida yang ada di dalam tubuh.

KESETARAAN PENYINARAN SUMBER RADIASI BUATANDENGAN SUMBER ALAMIAH

Sumber radiasi buatan yang dihasilkan manusia tidak hanya pada

industri nuklir, namun juga aplikasinya di bidang medik dan bidang lain. Untuk dapat memberikan perspektif tentang implikasi sumber radiasi buatan ini dapat dilakukan perbandingannya dengan sumber radiasi alamiah.

Secara global, satu tahun kegiatan di bidang medik dengan tingkat seperti saat ini setara dengan 90 hari penyinaran sumber alamiah. Pengujian senjata nuklir setara dengan 2,3 tahun, sementara kegiatan PLTN sampai saat ini setara hanya dengan 10 hari dan kecelakaan terparah setara dengan 20 hari. Tabel 9 memperlihatkan kesetaraan sumber radiasi buatan dengan sumber radiasi alamiah yang terus menerus menyinari manusia secara global.

KESIMPULAN

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa :

1. PLTN sebagai sumber radiasi buatan manusia menimbulkan dampak radiologik baik pada saat operasi normal maupun pada saat kecelakaan.
2. Jika dibandingkan dengan sumber radiasi alamiah, penyinaran yang diterima penduduk dunia dari dampak radiologik PLTN masih jauh lebih rendah.

PUSTAKA

1. UNSCEAR. Sources and Effects of Ionizing Radiation. 1993 Report to the General Assembly. UN, New York, 1993.
2. Bulletin IAEA, Vol.38 No.3, 1996.
3. M. DREICER. Consequences of the Chernobyl Accident for the Natural and Human Environments. Background Paper

Session 5, Int. Conf. on One Decade After Chernobyl, Vienna, 8-12 April 1996.

4. E. E. BUGLOVA. Chernobyl Accident: Description of the Accident, Response, Consequences, Lessons Learned.

Makalah pada: Interregional Training Course on Emergency Planning, Accident Assessment and Response to Nuclear and Radiological Accidents, ANL, USA, 28 April - 16 Mei 1997.

Tabel 8. Dosis efektif tahunan dari sumber alamiah.

Sumber paparan	Dosis efektif tahunan (mSv)	
	Tipikal	Daerah tinggi
Sinar kosmik	0,39	2,0
Sinar gamma terrestrial	0,46	4,3
Radionuklida di tubuh (kec. radon)	0,23	0,6
Radon dan luruhannya	1,3	10
Total (dibulatkan)	2,4	

Tabel 9. Penyinaran sumber radiasi buatan dalam kesetaraannya dengan sumber radiasi alamiah.

Sumber radiasi	Dasar	Periode yang setara dengan sumber alamiah
Paparan medik	Satu tahun kegiatan dengan tingkat seperti saat ini	90 hari
Uji senjata nuklir	Kegiatan lengkap	2,3 tahun
PLTN	Kegiatan sampai saat ini	10 hari
	Satu tahun kegiatan dengan tingkat seperti saat ini	1 hari
Kecelakaan parah	Kejadian sampai saat ini	20 hari
Paparan kerja	Satu tahun kegiatan dengan tingkat seperti saat ini	8 jam