

10/

## PRAKIRAAN PENERIMAAN DOSIS RADIASI GAMMA DI DALAM REAKTOR KARTINI DAN KAWASAN LINGKUNGANNYA

S 54

M. Yazid, E. Supriyatni, Maryono, Aris Bastianudin  
Puslitbang Teknologi Maju, BATAN

620

### ABSTRAK

**PRAKIRAAN DOSIS RADIASI GAMMA DI DALAM REAKTOR KARTINI DAN KAWASAN LINGKUNGANNYA.** Telah dilakukan pengukuran untuk memperhitungkan penerimaan dosis radiasi gamma di dalam Reaktor Kartini baik pada saat operasi maupun tidak dan kawasan lingkungan di sekitarnya. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan detektor kamar ionisasi bertekanan tinggi buatan Reuther-Stokes RS-112. Lokasi pengukuran ditentukan berdasarkan variasi jarak di dalam gedung reaktor maupun di kawasan sekitarnya di luar gedung reaktor. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa laju dosis rerata di dalam gedung reaktor pada kondisi shut down berkisar antara 11,4 - 38,6  $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ , sedangkan untuk kondisi operasi 100 kWatt berkisar antara 166,4 - 1910,9  $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ . Sedangkan untuk kawasan di sekitarnya di luar gedung reaktor berkisar antara 34,4 - 38,6  $\mu\text{Rad}/\text{jam}$  dan di lingkungan terbuka berkisar antara 6,9 - 7,0  $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ , untuk kondisi reaktor dalam keadaan operasi maupun shut down. Hal ini menunjukkan bahwa pengoperasian reaktor tidak akan menaikkan tingkat paparan radiasi di kawasan lingkungannya. Dari hasil perhitungan prakiraan penerimaan dosis radiasi gamma rerata di dalam reaktor pada kondisi operasi sebesar 28,54 mRem/minggu, kondisi shut down 0,90 mRem/minggu dan di luar reaktor 0,44 dan 0,27 mRem/minggu. Penerimaan dosis ini masih jauh lebih rendah dari nilai batas tertinggi yang diperkenankan menurut Keputusan Kepala BAPETEN No.01/Ka.BAPETEN/V-99 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi.

### ABSTRACT

**GAMMA RADIATION ASSESSMENT IN KARTINI REACTOR AND ITS VICINITY.** Measurement to calculate dose assessment for gamma radiation in Kartini Reactor and its vicinity has been done whether on operated or unoperated condition. Measurement was performed using high pressured ionization chamber, Reuther Stokes RS-112 production. Measurement location was determined based on distance variation inwardly and outwardly of reactor building and its vicinity. The result showed that the average dose rate in the reactor building when unoperated is in the range of 11.4 – 38.6  $\mu\text{rad}/\text{hour}$  and when the reactor operated is 166.4-1910.9  $\mu\text{rad}/\text{hour}$ . While the vicinity of the reactor on operated condition the average dose rate is 34.4 – 38.6  $\mu\text{rad}/\text{hour}$  in unoperated condition is 6.9 - 7.0  $\mu\text{rad}/\text{hour}$ . This result showed that the reactor operation did not rise the radiation exposure level in its vicinity. From the personnel assessment dose rate of gamma radiation is 28.54 mrem/week on operated condition, 0.90 mrem/week on unoperated condition. While dose rate outside the reactor is 0.44 and 0.27 mrem/week for operated and unoperated condition consecutively. This dose rate is still below maximum permissible dose than recommended by the national regulation of radiation protection from BAPETEN No.01/Ka.BAPETEN/V-99.

### PENDAHULUAN

Dalam pengoperasian reaktor nuklir akan selalu diikuti dengan upaya pengelolaan keselamatan radiasi dan pemantauan radioaktivitas lingkungannya untuk mengantisipasi kemungkinan resiko yang ditimbulkannya. Penerimaan dosis radiasi eksternal bagi pekerja radiasi maupun masyarakat umum pada pokoknya berasal dari radiasi alamiah maupun hasil perbuatan manusia itu

sendiri. Radiasi alamiah yang terdiri dari sinar kosmis, radionuklida primordial dan kosmogenik memiliki kontribusi 70 % terhadap penerimaan radiasi secara keseluruhan. Radionuklida primordial antara lain  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  dan sederetan radionuklida hasil peluruhan alam yang terdiri dari deret thorium, uranium maupun aktinium. Sedangkan radionuklida kosmogenik adalah radionuklida yang terbentuk dari interaksi sinar kosmis dengan atom unsur-unsur yang terdapat di atmosfer. Dari sekian

banyak radionuklida yang terbentuk dari proses ini hanya  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$  dan  $^{22}\text{Na}$  yang memberi kontribusi dosis yang berarti di dalam ekosistem. Beberapa radionuklida jenis ini kemudian jatuh ke bumi bersama angin, hujan/salju. [1]

Di dalam fasilitas nuklir seperti reaktor Kartini kemungkinan terjadinya paparan radiasi gamma dapat diperoleh di dalam gedung reaktor itu sendiri maupun di kawasan lingkungannya. Hal ini terjadi karena lolosnya radiasi gamma baik yang berasal dari proses reaksi inti di dalam teras reaktor dengan energi yang berkisar antara 0,5 - 6,5 MeV, maupun hasil proses interaksi antara neutron dengan bahan perisai penahan radiasi. [2] Walaupun sistem pengungkung reaktor telah dirancang seoptimal mungkin, namun kemungkinan lolosnya radiasi gamma ke sekitarnya masih tetap ada walaupun sangat kecil. Hal ini mungkin terjadi karena reaktor Kartini memiliki saluran berkas (*beam port*), fasilitas iradiasi, perangkat sub kritis serta beberapa fasilitas lainnya yang memungkinkan radiasi lolos ke luar.

Pemetaan dosis radiasi di dalam reaktor Kartini telah dilakukan dengan menggunakan TLD 600-700 untuk menentukan dosis akumulasi selama jangka waktu 3 bulan sehingga dapat dilakukan perhitungan laju dosis rerata untuk setiap jam.[2] Dalam penelitian ini dilakukan dengan metode yang lain yaitu pengukuran laju dosis untuk memperhitungkan dosis akumulasi dalam jangka waktu tertentu baik triwulan maupun tahunan, yang diukur baik pada saat reaktor operasi maupun keadaan *shut down*. Dari hasil tersebut dapat diperhitungkan dosis rerata maupun dosis tertinggi yang diterima oleh supervisor/operator ataupun petugas proteksi radiasi selama jangka waktu tertentu agar tetap terpenuhinya batasan keselamatan.

Pengukuran dosis radiasi gamma dilakukan menggunakan monitor RS-112 buatan *Reuther Stokes* dengan detektor kamar ionisasi bertekanan tinggi (*High Pressure Ionization Chamber/HPIC*). Detektor tersebut berbentuk *spheris* dengan volume 7,5 liter, berisi gas argon dengan kemurnian tinggi (*Ultra High Purity Argon*) dengan tekanan absolut 25 atmosfer. Peralatan ini mempunyai tanggapan energi yang hampir merata dari 0,07 - 10 MeV, dengan ketelitian  $\pm 5\%$  untuk pengukuran radiasi

latar/alam, sedangkan output linier dari 0 - 100 mRad/jam.[3]

## TATA KERJA

### Peralatan Yang Digunakan

Pengukuran laju dosis radiasi gamma menggunakan monitor radiasi dengan detektor kamar ionisasi bertekanan tinggi (HPIC) RS-112 buatan *Reuther Stokes*.

### Penentuan Lokasi Pengukuran

1. Di dalam gedung reaktor dengan radius jarak 0 dan 2 meter dari sumur reaktor baik pada kondisi operasi maupun *shut down*.
2. Di luar gedung reaktor dengan radius jarak 12 meter
3. Di lingkungan udara terbuka dengan jarak 200 meter dari reaktor

### Pengukuran Laju Dosis Radiasi Gamma

1. Dilakukan pengukuran minimal sebanyak 3 titik pada setiap lokasi yang telah ditentukan.
2. Pengukuran laju dosis dilakukan secara terus menerus (*on line*) selama  $\pm 8$  jam.
3. Monitor radiasi yang digunakan ini diatur untuk melakukan pencatatan secara kontinyu setiap 5 menit sekali.
4. Data yang tercatat akan terhitung secara otomatis yang meliputi data minimum, maksimum, rerata maupun standar deviasinya.
5. Pembacaan data dilakukan setiap setengah jam sekali.
6. Dilakukan perhitungan prakiraan penerimaan dosis radiasi baik untuk pekerja radiasi maupun lingkungannya.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran laju dosis radiasi gamma di dalam ruang reaktor pada keadaan *shut down*, selengkapnya dapat dilihat pada tabel 1. Dalam keadaan ini, paparan radiasi gamma yang terukur berkisar antara 11,4 - 83,7  $\mu\text{Rad/jam}$  diperkirakan hanya berasal dari keberadaan gas radon-222 hasil

emisi dari dinding bangunan gedung reaktor itu sendiri.

Sedangkan laju dosis radiasi gamma di dalam ruang reaktor untuk kondisi operasi dengan

Pada kondisi ini paparan radiasi gamma kemungkinan besar berasal dari radioisotop yang berada di dalam air pendingin primer reaktor maupun udara di dalam ruangan itu sendiri. Dalam

Tabel 1 Laju Dosis Radiasi Gamma di Dalam Reaktor Kondisi *Shut down*

NO.	KODE LOKASI (Jarak-Lokasi)	LAJU DOSIS ( $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ )		RERATA ( $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ )	STANDAR DEVIASI ( $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ )
		Minimum	Maksimum		
1.	0-1	10,8	13,2	12,4	0,6
2.	0-2	12,4	14,7	13,6	0,8
3.	0-3	12,6	15,4	14,2	0,8
4.	0-4	21,3	24,3	22,5	0,3
5.	0-5	40,3	48,4	45,5	0,3
6.	0-6	14,6	15,8	15,3	0,7
7.	2-1	10,7	12,4	11,4	0,4
8.	2-2	10,3	12,6	11,7	0,4
9.	2-3	11,3	13,0	12,0	0,7
10.	2-4	10,8	15,3	13,7	0,4
11.	2-5	80,2	84,7	83,7	0,7
12.	2-6	12,7	15,5	14,7	0,4

daya 100 kW berkisar antara 166,4 - 1910,9  $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ . Adapun data pengukuran selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

operasi normal, radioisotop di dalam moderator air berasal dari proses aktivasi unsur-unsur kelumit yang terdapat di dalam air tersebut. Sedangkan

Tabel 2 Laju Dosis Radiasi Gamma di Dalam Reaktor Kondisi Operasi 100 kW

NO.	KODE LOKASI (Jarak-Lokasi)	LAJU DOSIS ( $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ )		RERATA ( $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ )	STANDAR DEVIASI ( $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ )
		Minimum	Maksimum		
1.	0-1	596,3	615,4	601,8	4,2
2.	0-2	340,2	355,7	346,3	3,1
3.	0-3	365,2	385,7	379,5	7,2
4.	0-4	639,9	658,0	653,5	7,2
5.	0-5	1892,7	1921,2	1910,9	9,7
6.	0-6	156,3	172,4	166,4	3,4
7.	2-1	337,1	356,7	344,3	4,6
8.	2-2	329,6	339,7	335,4	7,2
9.	2-3	327,2	341,2	333,5	7,0
10.	2-4	450,2	467,8	459,8	4,8
11.	2-5	1659,0	1681,4	1674,0	5,6
12.	2-6	1353,7	1365,2	1358,3	3,8

isotop gas yang paling menonjol adalah N-16 yang dihasilkan dari reaksi inti  $^{16}\text{O}(n,p)^{16}\text{N}$  dengan waktu paro 7,4 detik yang memancarkan radiasi gamma berenergi 10,5 MeV.

krypton dan partikel-partikel hasil fisi beserta anak luruhnya yaitu Cs-138 dan I-131. Diantara isotop-isotop tersebut yang mempunyai waktu paro cukup lama adalah xenon-133 dengan waktu paro 5,7 hari,

Tabel 3 Laju Dosis Radiasi Gamma di Luar Reaktor Kondisi *Shut down* / Operasi 100 kW

NO.	KODE LOKASI (Jarak-Lokasi)	LAJU DOSIS ( $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ )		RERATA ( $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ )	STANDAR DEVIASI ( $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ )
		Minimum	Maksimum		
1.	12-1S	32,5	36,4	34,5	0,8
2.	12-2S	32,6	36,5	34,5	0,7
3.	12-3S	32,8	36,0	34,4	0,7
4.	12-4S	32,7	36,9	34,6	0,7
5.	12-1O	34,1	39,2	36,1	1,0
6.	12-2O	36,9	41,1	38,6	0,7
7.	12-3O	36,8	40,2	38,4	0,7
8.	12-4O	36,5	42,1	38,5	0,8

Selain itu, terjadinya reaksi inti dengan argon-40 yang berada di dalam udara akan menghasilkan argon-41 dengan waktu paro 1,8 jam. Argon-41 meluruh dengan memancarkan 2,5 dan 1,2 MeV partikel beta dan 1,37 MeV radiasi gamma.

I-131 selama 8 hari serta I-133 selama 21 hari. [2]

Data hasil pengukuran laju dosis radiasi gamma di luar gedung reaktor pada jarak 12 meter dapat dilihat pada tabel 3, yang berkisar antara 34,4 - 38,6  $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ . Pengukuran tersebut dilakukan pada saat reaktor *shut down* maupun pada kondisi

Tabel 4 Laju Dosis Radiasi Gamma di Lingkungan Terbuka / Lapangan

NO.	KODE LOKASI (Jarak-Lokasi)	LAJU DOSIS ( $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ )		RERATA ( $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ )	STANDAR DEVIASI ( $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ )
		Minimum	Maksimum		
1.	200-1	6,4	7,5	6,9	0,2
2.	200-1	6,3	7,7	7,0	0,2
3.	22-2	6,1	7,6	6,9	0,3
4.	200-2	6,3	7,7	6,9	0,2
5.	200-3	6,3	7,8	6,9	0,2
6.	200-3	6,3	7,7	7,0	0,3
7.	200-4	6,4	7,5	6,9	0,2
8.	200-4	6,2	7,7	6,9	0,2

Andaikata sampai terjadi kebocoran pada bahan bakar, selain gas-gas tersebut masih ada pencemar udara yang berupa gas mulia xenon dan

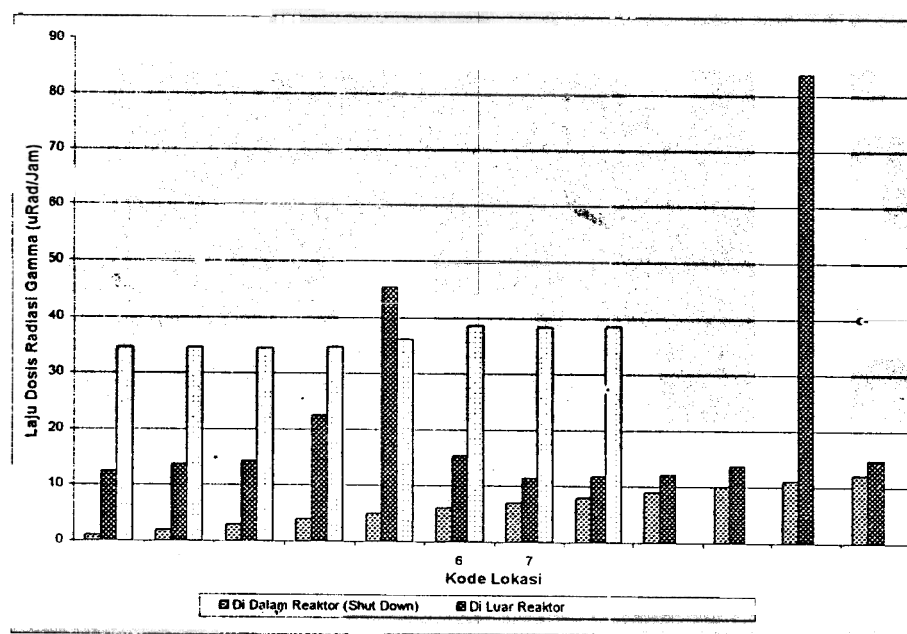
operasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan beroperasinya reaktor Kartini sampai dengan daya 100 kWatt tidak akan menaikkan

tingkat radiasi gamma ambien di luar gedung, dengan demikian tidak akan membahayakan bagi orang yang berada di sekitarnya.

Adapun laju dosis radiasi gamma di lingkungan terbuka pada jarak 200 meter dari reaktor dapat dilihat pada tabel 4, yang berkisar antara 6,9 - 7,0  $\mu\text{Rad}/\text{jam}$ . Pada lokasi ini laju dosis radiasi gamma yang terukur relatif sangat kecil karena di samping lokasinya cukup jauh dari gedung-gedung yang merupakan sumber radon-222, juga udara dapat bergerak secara bebas dengan adanya tiupan angin; sehingga radioaktivitasnya akan selalu terencerkan dari waktu ke waktu.

Pada Gambar 1 dapat dilihat perbandingan

laju dosis radiasi gamma di dalam reaktor baik pada kondisi *shut down* dengan laju dosis radiasi gamma di luar gedung reaktor maupun di lingkungan terbuka. Disini terlihat bahwa laju dosis radiasi gamma di dalam gedung reaktor justru lebih rendah dibandingkan dengan di luar gedung. Hal ini disebabkan karena di dalam gedung reaktor sistem ventilasinya diatur sedemikian rupa, menggunakan blower dengan kapasitas 396,3  $\text{m}^3/\text{menit}$ , sedangkan volume udara di dalam ruang reaktor sebesar 4.450  $\text{m}^3$ , sehingga udara di dalam reaktor selalu berganti sebanyak 6 kali per jam. <sup>(2)</sup> Sedangkan di luar gedung reaktor pada jarak 12 meter, di samping berdekatan dengan gedung-



Gambar Grafik Laju Dosis Radiasi Gamma Di dalam Reaktor dan Lingkungannya

Tabel 5 Prakiraan Penerimaan Dosis Radiasi Gamma Di dalam Reaktor dan Lingkungannya

Lokasi		Dosis Mingguan (mRem)	Dosis Kuartalan (mRem)	Dosis Tahunan (mRem)
Di Dalam Reaktor	<i>Shut down</i>	0,90	10,82	43,31
	Operasi	28,54	342,54	1370,18
Di Luar Reaktor		1,44	17,37	43,31
Lingkungan Terbuka		0,27	3,32	13,30

gedung yang lain, seperti Lab. Teknologi Proses yang berjarak kurang dari 20 meter dan Bengkel Elektromekanik, sehingga aliran udara tidak sebaik di dalam reaktor maupun di lingkungan terbuka.

Perhitungan penerimaan dosis radiasi gamma di dalam reaktor dan lingkungannya dapat dilihat pada tabel 5. Perhitungan tersebut dengan asumsi bahwa seseorang bekerja di tempat tersebut selama 8 jam per hari, dengan jam kerja 5 hari per minggu dan reaktor beroperasi secara terus-menerus selama jam kerja.

Berdasarkan Keputusan Kepala BAPETEN No.01/Ka. BAPETEN/V-99 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, Nilai batas tertinggi yang diperkenankan untuk pekerja radiasi sebesar 0,1 Rem/minggu, 1,25 Rem/kuartal dan 5 Rem/tahun. Dengan demikian hasil perhitungan prakiraan penerimaan dosis radiasi gamma di kawasan reaktor Kartini secara keseluruhan masih jauh di bawah batas tertinggi yang diperkenankan berdasarkan peraturan tersebut di atas. Namun demikian, perhitungan ini baru didasarkan pada penerimaan dosis radiasi gamma eksterma, sehingga masih perlu diperhitungkan kemungkinan penerimaan radiasi interna.

## KESIMPULAN

1. Laju dosis radiasi gamma di dalam reaktor pada saat operasi dengan daya 100 kWatt berkisar antara 166,4 - 1910,9  $\mu$ Rad/jam, sedangkan pada kondisi *shut down* berkisar antara 11,4 - 38,6  $\mu$ Rad/jam.
2. Laju dosis radiasi gamma di luar reaktor berkisar antara 34,4 - 38,6  $\mu$ Rad/jam, sedangkan di lingkungan terbuka berkisar antara 6,9 - 7,0  $\mu$ Rad/jam. Beroperasinya reaktor tidak menaikkan tingkat radiasi gamma di lingkungan ini.
3. Prakiraan penerimaan dosis radiasi gamma baik di dalam maupun di luar reaktor masih jauh di bawah batas tertinggi yang diperkenankan berdasarkan Keputusan Kepala BAPETEN No.01/Ka. BAPETEN/V-99 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi.

4. Perlu dilakukan perhitungan prakiraan dosis radiasi interna agar dapat diketahui penerimaan dosis secara keseluruhan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan banyak terima kasih kepada seluruh Staf Kesehatan dan Kedaruratan Nuklir yang telah banyak membantu dalam penulisan naskah ini serta semua teknisi Laboratorium Radioaktivitas Latar Rendah yang banyak memberikan bantuan dalam pelaksanaan penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

1. MARTIN,A, SAMUEL,AH., An Introduction of Radiation Protection, third edition, Chapman and Hall, New York USA (1986)
2. Laporan Analisa Keselamatan Reaktor Kartini, Pusat Penelitian Nuklir Yogyakarta (1998)
3. Operation Manual RS-112, HPIC Portabel Environmental Radiation Monitor, Reuther Stokes Inc. USA (1993)
4. Keputusan Kepala BAPETEN No.01/Ka. BAPETEN/V-99, tentang Ketentuan Keselamatan Kerja Terhadap Radiasi, Badan Pengawasan Tenaga Nuklir, Jakarta (1999).

## DISKUSI

Gunarwan M.Eng, Dosen/UNAS

- a. Berapa nilai batas tertinggi penerimaan dosis (mRem) yang diperkenankan untuk penduduk sekitar reaktor/minggu dalam kondisi operasi/off
- b. Pernahkah diadakan penelitian, mengenai dampak radiasi yang keluar reaktor dalam berbagai aspek kehidupan dalam dosis radiasi rendah

M. Yazid, P3TM-BATAN

- a. Nilai batas tertinggi yang diperkenankan menurut keputusan kepala BAPETEN No. 01/Ka. BAPETEN/V-99 tentang ketentuan keselamatan kerja terhadap radiasi sebesar 5rem/tahun; sedangkan untuk masyarakat umum sebesar sepersepuluhnya.

- b. Pernah, yang dilakukan oleh mahasiswa S-2 Fak Kedokteran UNAIR Program studi kesehatan Masyarakat.