

KAJIAN LAJU PAPARAN RADIASI PADA TITIK PENGUKURAN DI REAKTOR KARTINI SEBAGAI DASAR PENENTUAN KONDISI BATAS OPERASI (KBO)

Mahrus Salam, Elisabeth Supriyatni dan Fajar Panuntun

Pusat Sains dan Teknologi Akselerator, BATAN

jl Babarsari Po box 6101 ykbb

email: mahrus.salam@batan.go.id

ABSTRAK

KAJIAN LAJU PAPARAN RADIASI PADA TITIK PENGUKURAN DI RUANG REAKTOR KARTINI SEBAGAI DASAR PENENTUAN KONDISI BATAS OPERASI (KBO). Dalam pengoperasian fasilitas nuklir terdapat istilah kondisi batas operasi (KBO) yang merupakan nilai batas maksimal yang ditetapkan secara administratif untuk memastikan instalasi nuklir tetap operasi dengan selamat atau dengan kata lain masih diizinkan. Telah dilakukan perhitungan laju paparan radiasi pada lima titik pengukuran (50 cm diatas permukaan air, bulk shielding, dek reaktor, coloumn thermal dan sub kritis) dan nilai hasil perhitungan tersebut dipergunakan untuk pembandingan (benchmarking) Kondisi Batas Operasi (KBO) untuk paparan radiasi reaktor Kartini pada kondisi operasi normal. Nilai laju paparan diperoleh dengan memperhitungkan atenuasi yang dihasilkan dari penahan radiasi yang ada. Dari hasil perhitungan yang diperoleh, nilai laju paparan gamma pada 5 lokasi pengukuran yaitu laju paparan gamma untuk lokasi pengukuran 50 cm diatas permukaan air sebesar 96,91mR/jam ($KBO < 100$ mR/jam), pada Bulk Shielding sebesar 1,70 mR/jam ($KBO < 2,5$ mR/jam), pada dek reaktor sebesar 5,72 mR/jam ($KBO < 10$ mR/jam), pada termal kolom (Column Thermal) sebesar 2,73mR/jam ($KBO < 10$ mR/jam) dan pada perangkat sub kritis sebesar 1,14 mR/jam ($KBO < 2,5$ mR/jam). Nilai laju paparan pada 5 lokasi pengukuran laju paparan gamma lebih kecil dari nilai KBO maka penggunaan nilai KBO untuk kondisi operasi normal masih dapat dipergunakan.

Kata kunci: KBO, laju paparan, proteksi radiasi.

ABSTRACT

STUDY OF RADIATION EXPOSURE RATE ON THE MEASUREMENT POINTS IN KARTINI REACTOR HALL AS BASED TO DETERMINE OPERATION SAFETY PARAMETERS (KBO). In the operation of nuclear facility there are safety parameters, which is the value of the conservatively maximum limit to ensure that all of the uncertainty in the analysis of facility operations safety have been considered, such as uncertainty of measurement, response time and uncertainty calculation tool, and is get a long to others value of normal operating condition limits, in other words, there are still allowed or permitted. Calculation of the radiation exposure rate on five measurement points (50 cm above the water surface of reactor pool, above interim storage (bulk shielding), reactor deck, thermal coulomn and sub critical facility) and to be compared to the operation safety parameters (KBO) of Kartini reactor. The exposure rate value is obtained by calculating the source term of radioactivity on the core, attenuation resulting from the radiation shielding and measurement distance. From the calculation obtained that the value of gamma exposure rate of 50 cm above the water surface of reactor pool is 96.91 mR/hr ($KBO < 100$ mR / hr), on the deck of Bulk Shielding amounted to 1.70 mR / h ($KBO < 2.5$ mR / hr), on the reactor deck amounted to 5.73 mR/hr ($KBO < 10$ mR / hr), on the Thermal Coloumn amounted to 2.73 mR/hr ($KBO < 10$ mR / hr) and on the sub critical facility amounted to 1.148 mR/hr ($KBO < 2.5$ mR/hr). The value of gamma exposure rate at 5 locations measurements are still less than the operation safety parameters (KBO), it means that the reactor is safe to be operated.

Keywords: safety parameters (KBO), exposure rate, radiation protection

PENDAHULUAN

Dalam pengoperasian fasilitas nuklir terdapat istilah kondisi batas operasi dalam proses (KBO) yang merupakan nilai batas maksimal dimana secara konservatif menjamin bahwa semua

ketidakpastian dalam analisis keselamatan operasi fasilitas telah dipertimbangkan, misalnya ketidakpastian pengukuran, waktu respon alat dan ketidakpastian perhitungan, serta tidak bertentangan dengan nilai kondisi batas untuk operasi normal yang lain operasi fasilitas masih diizinkan [1]. Dalam setiap kegiatan, khususnya pada saat reaktor Kartini

dioperasikan, petugas proteksi radiasi melakukan pengukuran paparan radiasi gamma daerah kerja khususnya pada titik-titik lokasi tertentu serta ruangan-ruangan yang berpotensi mempunyai tingkat radiasi tinggi. Hal ini dimaksudkan untuk menjamin agar para pekerja radiasi yang bekerja di daerah tersebut tidak menerima dosis radiasi melebihi nilai batas dosis (NBD) yang telah ditetapkan oleh BAPETEN. Dalam rangka untuk mengetahui laju paparan radiasi di lokasi tertentu, maka unsur hasil fisi dan aktivasi dari bahan bakar bahan bakar di reaktor Kartini pada kondisi tertinggi (*burn-up* maksimum) dipergunakan sebagai suku sumber utama, kemudian dihitung laju paparan di lima titik pengukuran di reaktor Kartini diantaranya yaitu 50 cm diatas permukaan air, fasilitas penyimpanan bahan bakar bekas (*bulk shielding*), dek reaktor, termal kolom (*column thermal*) dan sub kritis.

Unsur radioaktif yang dihasilkan dari hasil fisi bahan bakar dapat memancarkan partikel radiasi dengan daya tembus yang berbeda-beda meliputi partikel alpha, beta ataupun gamma. Partikel gamma memiliki daya tembus dan jangkauan paling besar jika dibandingkan dengan partikel alpha dan beta, sehingga kedua partikel tersebut energinya akan habis sebelum mencapai permukaan atas kolam reaktor Kartini atau di luar dinding. Sifat serap bahan terhadap macam radiasi yang dihadapi juga berbeda, maka jumlah dan jenis bahan penahan radiasi yang diperlukan bergantung pada jenis sumber yang dihadapi. Laju paparan dari pengukuran lima titik ini sudah diatenuasi dengan beberapa material untuk mengurangi pancaran radiasi yang cukup kuat. Dari bahan bakarnya sendiri, unsur hasil fisi yang merupakan unsur radioaktif diatenuasi oleh grafit, *stainless steel* dan material selongsong bahan bakar dalam teras reaktor. Selain dari bahan bakar material *shielding* lainnya yaitu air dan beton.

DASAR TEORI

Laju paparan radiasi berdasarkan sumbernya dibedakan menjadi paparan radiasi dengan sumber radiasi berupa titik, garis, area (luas) dan volume. Untuk sumber radiasi gamma berupa titik, besarnya laju paparan dari jarak r meter dari sumber gamma, dinyatakan dengan persamaan:

$$\dot{X} = \frac{\Gamma A}{r^2} \quad (1)$$

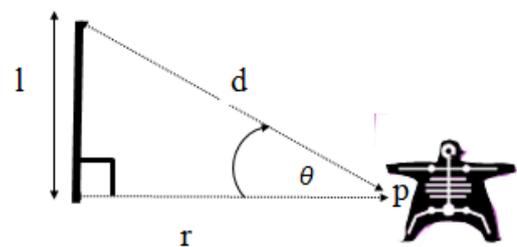
Dengan \dot{X} adalah laju paparan gamma (R/jam), A adalah aktivitas (C_i) dan Γ disebut faktor gamma ($R.m^2/C_i.jam$). Besarnya faktor gamma tergantung pada isotop masing-masing. Persamaan di atas hanya berlaku untuk sumber gamma berupa titik, artinya

ukurannya dapat diabaikan jika dibandingkan dengan jarak pengamatannya (Tsoulfanidis, 1983).

Sedangkan untuk sumber gamma berupa garis sepanjang l , dengan posisi pengamat sejauh r dari sumber seperti terlihat pada Gambar 1, besarnya laju paparan gamma yaitu:

$$\dot{X} = \frac{\Gamma C_l}{r} \left(\tan^{-1} \left(\frac{l}{r} \right) \right) \quad (2)$$

Dimana C_l adalah aktivitas jenis yaitu aktivitas per satuan panjang (untuk sumber garis) dan l adalah panjang sumber gamma yang diasumsikan sebagai garis [2].



Gambar1. Paparan gamma sumber garis (James, 2000)

Dalam keselamatan dan proteksi radiasi, digunakan *shielding* (perisai) terhadap sumber radioaktif agar laju paparan yang dihasilkan oleh sumber radioaktif tidak seluruhnya menyebar ke lingkungan. Dengan meletakkan material tertentu dengan ketebalan x di sekitar sumber radioaktif, maka tingkat paparan akan menurun secara eksponensial sesuai persamaan:

$$\dot{X} = \dot{X}_0 e^{-\mu x} \quad (3)$$

Dimana \dot{X} adalah laju paparan kondisi akhir setelah *dishielding*, \dot{X}_0 adalah paparan awal dari sumber radioaktif, μ disebut koefisien atenuasi linier dalam satuan 1/satuan tebal material *shielding* [2].

Besarnya koefisien atenuasi linier suatu material dapat dinyatakan dengan konsep *half value layer* (HVL) yaitu suatu nilai ketebalan bahan yang menyebabkan nilai laju paparan setelah melewati bahan tersebut menjadi setengahnya. Nilai HVL bergantung pada energi gamma yang dilepaskan oleh sumber radioaktif. Hubungan antara keduanya dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu = \frac{\ln 2}{HVL} \quad (4)$$

TATA KERJA

Dilakukan pengumpulan data dimensi reaktor Kartini meliputi fasilitas-fasilitas eksperimen yang ada, teras reaktor, dimensi bahan bakar, HVL (*half*

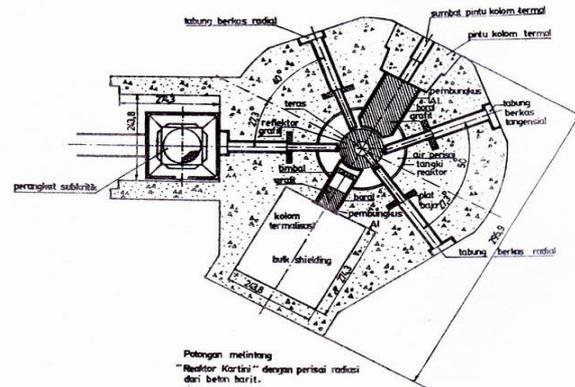
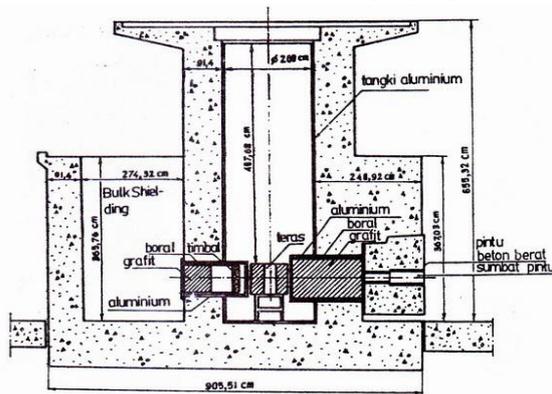
value layer) dan tebal dari bahan penahan radiasi di Reaktor Kartini. Dilakukan perhitungan jarak antara detektor radiasi yang terpasang pada lima titik pengukuran (50 cm di atas permukaan air, dek fasilitas penyimpanan bahan bakar bekas (*bulk shielding*), dek reaktor, termal kolom (*coloumn thermal*) dan sub kritik) dengan pusat bahan bakar di teras reaktor. Laju paparan gamma dihitung berdasarkan aktivitas total produk fisi yang diperoleh dari perhitungan *ORYGEN*. Perhitungan laju paparan gamma total dilakukan dengan menjumlahkan laju paparan akhir unsur hasil fisi dari bahan bakar setelah di atenuasi dengan beberapa material. Kemudian hasil yang diperoleh dari perhitungan ini dibandingkan dengan nilai kondisi batas operasi (KBO) yang diizinkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju paparan gamma ini dihitung pada lima titik pengukuran diantaranya yaitu 50 cm di atas permukaan air, di dek fasilitas penyimpanan bahan

bakar bekas (*bulk shielding*), dek reaktor, termal kolom (*coloumn thermal*) dan sub kritik. Laju paparan gamma pada penelitian ini hanya dibatasi pada laju paparan produk fisi bahan bakar saja. Laju paparan gamma yang terukur telah diatenuasi oleh beberapa material yang ada didalam reaktor Kartini diantaranya air, beton, grafit, *stainless steel*, aluminium. Kajian dalam makalah ini tidak berdasarkan pencacahan gamma dengan detektor, namun kajian dilakukan dengan pendekatan matematis (perhitungan) terhadap laju paparan gamma dari produk fisi bahan bakar pada 5 titik pengukuran di reaktor Kartini, kemudian dikaitkan dengan kondisi batas operasi (KBO) maksimal yang diizinkan, sehingga nantinya faktor kesehatan dan keselamatan kerja tetap terjaga sesuai dengan nilai batas dosis (NBD).

Ketebalan material *shielding* untuk masing-masing titik pengukuran di reaktor Kartini diperoleh dari dimensi reaktor Kartini:



Gambar 2. Reaktor Kartini secara vertikal dan horizontal (BATAN, 2013)

Ketebalan material *shielding* grafit, *stainless steel* dan aluminium pada bahan bakar mengacu pada LAK Reaktor Kartini-BATAN tahun 2010. Bahan bakar reaktor Kartini berbentuk kelongsong dengan panjang kurang lebih 76 cm dengan diameter 37 mm. Teras reaktor Kartini terdiri dari 69 elemen bahan bakar. Dalam hal ini bahan bakar dianggap sebagai sumber titik karena jarak pengamatan jauh lebih besar dari dimensi diameter bahan bakar sehingga perhitungan laju paparan gamma menggunakan persamaan (1). Laju paparan gamma produk fisi ini juga akan diatenuasi oleh beberapa material. Masing-masing material memiliki ketebalan dan koefisien atenuasi (μ) yang berbeda-beda, sehingga untuk mencari laju paparan gamma setelah diatenuasi

dengan beberapa material menggunakan persamaan (3).

Nilai aktivitas dari masing-masing unsur hasil fisi dari ke-69 bahan bakar diperoleh dari simulasi perhitungan *software* *ORYGEN*. Perhitungan laju paparan gamma pada titik pengukuran 50 cm di atas permukaan air dari produk fisi bahan bakar telah di atenuasi dengan material bahan bakarnya sendiri yaitu grafit dan *stainless steel*. Tebal grafit sebesar 7,8 cm yang diperoleh dari panjang rata-rata grafit dalam bahan bakar. Grafit itu sendiri sebenarnya paduan antara karbon dan kromium, karena presentase karbon lebih besar dari kromium maka digunakan pendekatan karbon sebagai grafit. Tebal *stainless steel* sebesar 7,38 cm. Untuk *stainless steel* atau baja tahan karat digunakan pendekatan nilai

koefisien atenuasi baja (*steel*). Selain material *shielding* dari bahan bakar terdapat material *shielding* arah vertikal yaitu air. Ketebalan air sebesar 487,62 cm diukur dari permukaan atas bahan bakar sampai permukaan kolam air reaktor Kartini. Laju paparan gamma akhir produk fisi bahan bakar diperoleh sebesar 96,91 mR/jam.

Perhitungan laju paparan gamma di fasilitas penyimpanan sementara bahan bakar bekas (*bulk shielding*) dari produk fisi bahan bakar telah di atenuasi dengan material dari bahan bakarnya sendiri yaitu grafit, *stainless steel* serta material aluminium yang merupakan lempeng kisi-kisi bahan bakar. Tebal grafit sebesar 7,8 cm, tebal *stainless steel* sebesar 7,38 cm, tebal aluminium 3,8 cm. Selain material *shielding* dari bahan bakar terdapat material *shielding* lain yang terdiri dari air kolam reaktor, beton dan air *bulk shielding* seperti yang terlihat pada Gambar 2. Ketebalan material *shielding* ini diperoleh dari pengukuran kemiringan garis yang ditarik dari pusat bahan bakar sampai lokasi pengambilan laju paparan gamma di titik pengukuran yaitu dek penyimpanan bahan bakar bekas (*bulk*

shielding/interim storage). Ketebalan air sebesar 122,07 cm, ketebalan beton sebesar 112,24 cm dan ketebalan air *bulk shielding* sebesar 305,15 cm. Dari ketiga material ini air *bulk shielding* yang memiliki ketebalan paling besar dalam penyerap laju paparan gamma tetapi koefisien atenuasi (μ) air lebih kecil dari pada koefisien atenuasi (μ) beton dalam penyerapan laju paparan gamma. Laju paparan gamma akhir produk fisi bahan bakar diperoleh sebesar 1,70 mR/jam.

Tabel 1. Data kekuatan suku sumber (*source term*) dari reaktor Kartini (total aktivitas)

Lokasi	Kuat sumber (Ci)*	Jarak (m)
50 cm dari permukaan air	$3,1 \times 10^5$	5,17
Bulk shielding		6,80
Thermal coloumn		3,49
Sub critic		3,76
Deck reaktor		6,72

*) Hasil penjumlahan dari aktivitas berbagai produk fisi.

Tabel 2. Data komposisi material *shielding*

Komposisi Material Shielding (cm)	Titik Pengukuran				
	50 cm dari permukaan air	Bulk Shielding	Thermal Coloumn	Sub Critic	Deck Reaktor
Air kolam (cm)	487,62	122,07	100	107,7	526,22
Grafit (cm)	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8
Stainless steel (cm)	7,38	7,38	7,38	7,38	7,38
Aluminium (cm)	-	3,8	3,8	3,8	3,8
Beton (cm)	-	112,24	248,92	266,43	46,1
Air bulk shielding (cm)	-	305,16	-	-	-

Tabel 3. Perbandingan hasil perhitungan paparan radiasi dengan Batas Kondisi Operasi (BKO)

Titik Pengukuran	Hasil Perhitungan (mR/jam)	Batas Kondisi Operasi (BKO) (mR/jam)
50 meter dari permukaan air	96,91	< 100
Bulk Shelding	1,70	< 2,5
Dek Reaktor	5,72	< 10
Thermal Coulomb	2,73	< 10
Sub Kritik	1,14	< 2,5

Berdasarkan kondisi batas operasi (KBO) laju paparan gamma di reaktor Kartini untuk lima lokasi ini dapat disajikan pada Tabel 1. Hasil perhitungan laju paparan gamma untuk lokasi pengukuran 50 cm diatas permukaan air sebesar 96,91 mR/jam (BKO < 100 mR/jam), pada *bulk shielding* sebesar 1,70 mR/jam (BKO < 2,5 mR/jam), pada dek reaktor sebesar 5,72 mR/jam (BKO < 10 mR/jam), pada coloumn thermal sebesar 2,73 mR/jam (BKO < 10 mR/jam) dan pada perangkat sub kritik sebesar 1,14

mR/jam (BKO < 2,5 mR/jam). Berdasarkan data perhitungan laju paparan gamma pada 5 lokasi pengukuran dapat disimpulkan bahwa laju paparan gamma hasil perhitungan dari suku sumber masih dibawah nilai kondisi batasan operasi normal reaktor, sehingga dapat dinyatakan bahwa pada kondisi operasi normal di ke 5 lokasi tersebut tidak akan ditemukan laju paparan yang melebihi nilai kondisi batas operasi.

KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan yang diperoleh, nilai laju paparan gamma pada 5 lokasi pengukuran yaitu laju paparan gamma untuk lokasi pengukuran 50 cm diatas permukaan air sebesar 96,91 mR/jam (KBO < 100 mR/jam), pada *bulk shielding* sebesar 1,70 mR/jam (KBO < 2,5 mR/jam), pada dek reaktor sebesar 5,72 mR/jam (KBO < 10 mR/jam), pada *coloumb thermal* sebesar 2,73 mR/jam (KBO < 10 mR/jam) dan pada perangkat sub kritik sebesar 1,14 mR/jam (KBO < 2,5 mR/jam). Nilai laju paparan pada 5 lokasi pengukuran laju paparan gamma lebih kecil dari nilai KBO maka reaktor bahwa pada kondisi operasi normal di ke 5 lokasi tersebut tidak akan ditemukan laju paparan yang melebihi nilai kondisi batas operasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada PSTA yang telah memberikan kesempatan dan pendanaan dari DIPA tahun anggaran 2015, dan saudari Susanti mahasiswi UNS yang telah membantu dalam penyusunan data pendukung dalam pembuatan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Salam M., Elisabeth S. *Kajian Laju Paparan Gamma Dari Radionuklida Hasil Aktivasi Sampel Dengan Neutron Termal (AAN) Di Reaktor Kartini*, Yogyakarta: BATAN, 2014.
2. James,T. *Radiation Monitoring Notebook*, Los Alamos, 2000.
3. BAPETEN, *Batasan Dan Kondisi Operasi Reaktor Nondaya*, PERKA BAPETEN no. 9, 2013.
4. David S., and Michael G. Stabin,., *Exposure Rate Constants And Lead Shielding Values For Over 1,100 Radionuclides*: Health Phys. 102(3):271 – 291, 2012.
5. Wardhana, W.A. *Teknologi Nuklir, Proteksi Radiasi dan Aplikasinya*. Yogyakarta: Andi, 2012.
6. BATAN, *Laporan Analisis Keselamatan Revisi 7, Bab V – Reaktor Kartini*, Yogyakarta: PTAPB – BATAN, 2012.

TANYA JAWAB

Syarip

- Apakah kondisi operasi reaktor pada mode operasi seperti “kalibrasi daya” tidak dikaji? Karena kemungkinan laju paparan radiasinya khususnya dipermukaan air tangki reaktor bisa melebihi 100 mR/h
- Saran: Istilah “column thermal” agar dibetulkan menjadi “thermal column”

Elisabeth

- untuk saat ini hanya dilakukan pada kondisi operasi normal dan berdasarkan perhitungan, tidak berdasarkan pengukuran, kalau untuk metode operasi yang lain hanya dapat dilakukan dalam pengukuran

Nazaroh

- Saran: penulisan hasil pengukuran laju paparan seharusnya disesuaikan dengan kemampuan alat berapa angka penting dibelakang koma.

Elisabeth

- Saran diterima, digit dibelakang koma akan disesuaikan dengan batas yang ada dalam alat ukur.

Darsono

- Kenapa dilakukan pengukuran pada 50 m?

Elisabeth

- Karena jarak terdekat pekerja dapat melakukan kegiatan di atas teras/pendingin reaktor.