

## Penentuan Dosis Gamma Pada Fasilitas Iradiasi Reaktor Kartini Setelah *Shut Down*

Risprapti Prasetyowati<sup>(1)</sup>, M. Azam<sup>(1)</sup>, K. Sofjan Firdausi<sup>(1)</sup>, Edi Trijono B.S<sup>(2)</sup>

1). Jurusan Fisika UNDIP

2). P3TM BATAN

### Abstract

Determination of gamma dose after reactor shut-down around the kartini reactor core have been done. The measurement was done at the Lazy Susan (Rotary Rack) and outside the reflector wall which could be used as irradiation facility.

Determination of gamma dose was carried out using wide range dosimeter consisting of a Geiger muller detector and a surveymeter. Detector was directed to outside wall reflector and lazy susan through the dry irradiation facility. Measurement was done after shut down for 3 hours with power of 100 kW and interval of  $\pm 5$  minutes.

The resulting dose rate in reflector wall without neutron source was 1,2 to 0,2 kR/hour and cumulative dose in a 205 minute period was 2,21 kRad. In reflector wall with neutron source was 6 to 0,2 kR/hour and cumulative dose in a 202 minute period was 2,25 kRad. While in lazy Susan dose rate of 60 to 2 kR/hour and cumulative dose was 42,70 kRad in 203 minutes decay. Gamma decay constant in reflector wall without neutron source was 0,008 per minute, with neutron source 0,013 per minute. While in lazy Susan gamma decay constant was 0,014 per minute.

Keywords : dose, gamm, core and reflector, reactor

### Intisari

Telah dilakukan penentuan dosis gamma di sekeliling teras reaktor Kartini setelah "shut down". Pengukuran dilakukan pada fasilitas iradiasi lazy susan dan dinding luar reflektor yang diperkirakan akan dapat dimanfaatkan sebagai fasilitas iradiasi gamma. Penentuan dosis gamma dilakukan dengan menggunakan dosimeter jangkau lebar yang terdiri dari detektor geiger muller dan surveymeter. Detektor diarahkan ke dinding luar reflektor dan lazy susan dengan melewati pada kolom fasilitas iradiasi kering. Pengukuran dilakukan setelah reaktor shut down dari beroperasi selama 3 jam pada daya 100 kW dengan selang waktu pengambilan data  $\pm 5$  menit. Diperoleh hasil laju dosis pada dinding reflektor tanpa sumber neutron dari 1,2 sampai 0,2 kR/jam dan dosis kumulatif sebesar 2,11 kRad dalam 205 menit peluruhan. Pada dinding reflektor dengan sumber neutron dari 6 sampai 0,2 kR/jam dan dosis kumulatif sebesar 2,25 kRad dalam 202 menit peluruhan. Sedangkan pada lazy susan diperoleh laju dosis dari 60 sampai 2 kR/jam dalam dan dosis kumulatif sebesar 42,70 kRad dalam 203 menit peluruhan. Tetapan peluruhan gamma diperoleh pada dinding luar reflektor tanpa adanya sumber neutron sebesar 0,008 per menit dan dengan sumber neutron diperoleh sebesar 0,013 per menit. Sedangkan pada lazy susan diperoleh tetapan peluruhan gamma sebesar 0,014 per menit.

Kata kunci : Dosis, Sinar Gamma, Teras, Reflektor, Reaktor.

### PENDAHULUAN

Reaktor dengan daya maksimum 100 kW yang dilengkapi dengan sejumlah fasilitas iradiasi. Bahan bakar reaktor kartini adalah campuran homogen Uranium Zirkonium hidrida ( $UZrH_{1.7}$ ) dengan uranium 8% yang diperkaya dengan 20 % U-235. U-235 merupakan bahan dapat belah apabila menyerap

neutron akan membelah menjadi dua inti baru sambil melepaskan dua atau tiga neutron dan energi. Pada saat reaktor dalam keadaan operasi terjadi reaksi pembelahan inti yang menghasilkan nuklida produk fisi, neutron, dan energi. Sebagian dari energi yang dipancarkan adalah radiasi- $\gamma$ . Ada dua macam radiasi- $\gamma$  yang dihasilkan saat reaktor beroperasi

yaitu radiasi- $\gamma$  serentak dan radiasi- $\gamma$  peluruhan hasil fisi. Sedangkan pada saat reaktor dalam keadaan *shut down* hanya terjadi peristiwa peluruhan dari produk fisi saja tanpa adanya fisi, Sehingga radiasi sinar- $\gamma$  yang dihasilkan hanya berasal dari peluruhan nuklida produk fisi [1].

Intensitas- $\gamma$  yang terukur bergantung pada kuat sumber- $\gamma$  dalam bahan bakar dan jarak pengukurannya. Kuat sumber- $\gamma$  dipengaruhi oleh tingkat *burn up* bahan bakar dan lama peluruhannya. Karena sebagian besar radiasi- $\gamma$  berasal dari radioisotop dengan umur paro pendek (  $\ll 1$  jam ) maka pengaruh tingkat *burn up* U-235 dalam bahan bakar tidak tampak pada intensitas- $\gamma$  produk fisi, bilamana reaktor baru saja *shut down*. Lama waktu peluruhan lebih berperan dalam menentukan intensitas- $\gamma$  dari radioisotop produk fisi.

Pada teras reaktor intensitas- $\gamma$  dapat terukur pada kolom iradiasi. Inventaris terhadap intensitas- $\gamma$  pada fasilitas iradiasi dapat digunakan untuk mempelajari karakteristik pemanfaatan dosis gamma teras reaktor bila digunakan sebagai iradiator. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran laju dosis gamma pada lazy susan dan dinding luar reflektor dengan menggunakan dosimeter gamma jangkau lebar. Pengukuran ini ditujukan untuk karakteristik laju dosis gamma yang berasal dari teras reaktor setelah *shut down* pada operasi normalnya. Manfaat dari karakteristik ini adalah dapat diperoleh informasi batas waktu pemanfaatan dosis gamma teras reaktor setelah ”*shut down*” jika digunakan sebagai iradiator.

Pembelahan  $^{235}\text{U}$  oleh neutron termal bisa terjadi lebih dari 40 cara yang berbeda untuk menghasilkan lebih dari 80 buah unsur hasil belah utama, mulai dari unsur dengan nomor massa 72 sampai 161. Besarnya tenaga yang dibebaskan dari satu inti atom  $^{235}\text{U}$  pada pembelahan dengan neutron termal rata-rata sebesar 200 MeV [2].

Untuk mendeteksi adanya sinar gamma digunakan detektor Geiger Muller yang kemudian diperoleh besaran dosis. Dosis serap didefinisikan sebagai jumlah energi yang diserahkan oleh radiasi atau banyaknya energi yang diserap oleh bahan persatuan massa bahan itu [3]. Secara matematis dosis serap ( $D$ ) dirumuskan dengan

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (1)$$

dengan  $dE$  adalah energi yang diserap oleh medium bermassa  $dm$ . Turunan dosis serap terhadap waktu disebut laju dosis serap dirumuskan dengan persamaan

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt} \quad (2)$$

Dari persamaan (2) dapat dicari besarnya dosis kumulatif, yakni jumlah dosis yang diterima suatu bahan selama waktu tertentu. Apabila medan radiasinya berubah sebagai fungsi waktu maka dosis kumulatif yang diterima adalah merupakan integral laju dosis terhadap lama waktu radiasi yang dapat dituliskan sebagai

$$D = \int_0^t \dot{D}(t) dt \quad (3)$$

Apabila medan radiasinya konstan terhadap waktu maka persamaan (3) dapat disederhanakan menjadi

$$D = \dot{D} xt \quad (4)$$

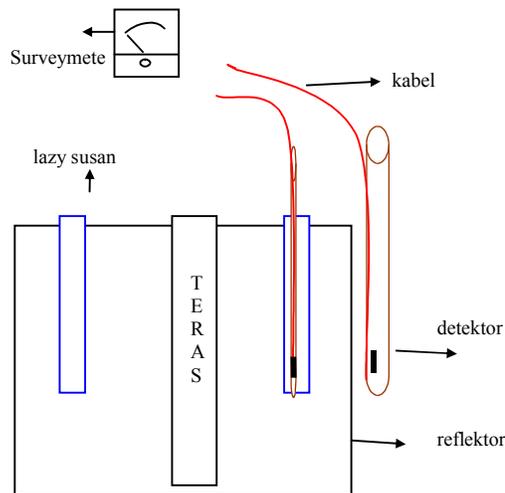
dengan  $\dot{D}$  adalah laju dosis dan  $t$  adalah lama waktu iradiasi. Apabila sumber radiasinya berasal dari kumpulan radioisotop umur paro pendek maka medan radiasi yang ditimbulkannya akan berubah sebagai fungsi waktu sehingga penghitungan dosis kumulatif harus diselesaikan dengan persamaan sebagai berikut

$$Dosis = \sum_{n=1}^m \Delta t_n \dot{D}_n \quad (5)$$

dengan  $\Delta t$  adalah perubahan waktu yang diperlukan untuk iradiasi bahan pada menit ke- $n$ ,  $\dot{D}_n$  adalah laju dosis pada menit ke- $n$  [4].

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan cara pengukuran langsung pada fasilitas irradiasi yaitu Lazy Susan dan Dinding luar reflector. Alat utama yang digunakan yaitu dosimeter jangkau lebar dan kolom fasilitas irradiasi. Adapun susunan peralatan penelitian dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1 Skema rangka penelitian

Sebelum detektor digunakan dilakukan pengujian terlebih dahulu dengan mengukur sisa radiasi gamma pada dinding luar reflektor yang masih tersisa pada pasca operasi sebelumnya.

Selanjutnya dilakukan pengukuran laju dosis gamma. Pengukuran dilakukan dua kali yaitu setelah reaktor *shut down* sumber neutron diambil dari teras dan sumber neutron tidak diambil dari teras. Pengambilan sumber neutron ini berfungsi untuk menghasilkan laju dosis gamma tanpa teracuni neutron dan menghindari kerusakan detektor karena neutron yang masih dihasilkan oleh teras pada saat *pasca shut down*. Pengukuran dilakukan memasukkan detektor dan mengarahkan ke tempat yang akan diukur melalui kolom fasilitas irradiasi kering. Kemudian diamati dan dicatat besar laju dosis gamma maksimum yang terdeteksi oleh detektor dengan membaca skala pada surveymeter. Pengambilan data dilakukan selama

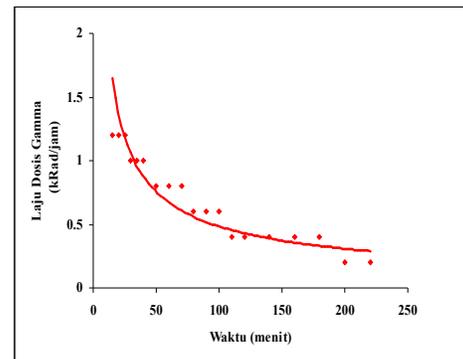
kurang dari lima menit dan dilakukan berulang-ulang selama 2 jam pengukuran.

## HASIL dan PEMBAHASAN

### 1 Peluruhan laju dosis gamma

#### 1.1 Peluruhan laju dosis dengan sumber neutron dari teras

Dari hasil analisa diperoleh grafik peluruhan laju dosis gamma yaitu hubungan antara laju dosis gamma terhadap waktu peluruhan yang diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik peluruhan laju dosis gamma pada dinding luar reflektor reaktor kartini dengan sumber neutron diambil dari teras diperoleh persamaan  $D_t = 1,339 \exp -(0,008) t$ .

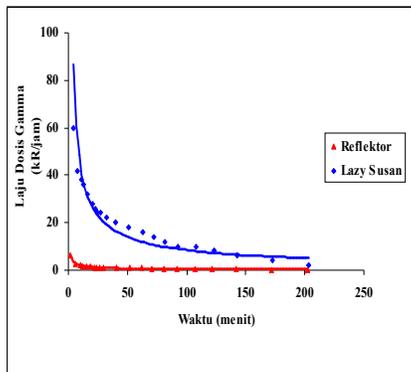
Dari grafik pada gambar 2, peluruhan gamma pada dinding luar reflektor dengan sumber neutron dikeluarkan dari teras diperoleh laju dosis dari mulai 1,2 KR/jam menjadi 0,2 KR/jam dengan waktu peluruhan 205 menit. Dapat dilihat bahwa laju dosis gamma turun secara eksponensial terhadap waktu. Pada saat reaktor *shut down* terlihat jelas penurunan sangat cepat, Hal itu disebabkan radionuklida hasil fisi yang menghasilkan gamma setelah *shut down* mempunyai periode peluruhan pendek dengan umur paro sekitar 25 menit. Setelah 2 jam reaktor *shut down* laju dosis gamma cenderung menunjukkan skala yang konstan pada surveymeter yaitu 0.2 krad/jam, hal itu berarti gamma sudah hampir tidak bisa terukur.

Pengambilan sumber neutron dari teras diharapkan untuk mendapatkan laju

dosis gamma yang tanpa teracuni oleh neutron sehingga nantinya dapat dimanfaatkan sebagai fasilitas irradiasi gamma tanpa adanya neutron. Karena adanya neutron dapat memberikan efek terjadinya aktivasi yang dapat merubah konfigurasi inti (transmutasi inti yang merubah sifat bahan).

### 1.2 Peluruhan laju dosis dengan sumber neutron bukan dari teras

Hasil selanjutnya grafik peluruhan laju dosis dengan sumber neutron tidak diambil dari teras yang ditampilkan pada gambar 3.



Gambar 3, grafik peluruhan laju dosis gamma pada pinggir reflektor reaktor kartini dengan persamaan 1.  $D_t = 1,977 \exp -(0,013)t$  pada dinding luar reflektor dan 2.  $D_t = 40,458 \exp -(0,014)t$  pada lazy susan.

Dari grafik pada gambar 3, didapat laju peluruhan pada dinding luar reflektor yaitu mulai dari 1,2 kR/jam menjadi 0,2 kR/jam dengan waktu peluruhan selama 203 menit. Dan pada lazy susan diperoleh laju peluruhan dari 60 kR/jam menjadi 2 kR/jam selama waktu peluruhan 202 menit.

Hasil laju dosis pada dinding luar reflektor 1/10 kali dari fasilitas irradiasi *lazy susan*. Hal itu disebabkan oleh karena pengaruh sifat perisai radiasi oleh bahan reflektor. Lazy susan terletak dibagian dalam reflektor yang lebih dekat dengan teras daripada luar dinding reflektor. Reflektor terbuat dari grafit yang

mempunyai koefisien absorpsi radiasi gamma sehingga intensitas gamma semakin berkurang secara exponential setelah melewati bahan yang memiliki ketebalan dan koefisien absorpsi tertentu. Jadi semakin tebal grafit, laju dosis akan semakin turun. Interaksi gamma (serapan gamma) juga terjadi pada komponen-komponen dalam teras yang terdapat *dummy* yang terbuat dari grafit dan bahan bakar yang terbungkus oleh *stainless steel* yang dapat menyerap intensitas gamma.

Dari kedua gambar 2 dan 3 terlihat bahwa laju peluruhan grafik pada gambar 2 yaitu pada dinding luar reflektor dengan sumber neutron dikeluarkan dari teras tampak lebih cepat dibandingkan dengan grafik peluruhan pada dinding luar reflektor dengan sumber neutron tidak dikeluarkan dari teras. Hal itu karena pada gambar 3, waktu pengambilan data laju dosis langsung dilakukan selang 2 menit setelah *shut down*. Sedangkan pada gambar 2, diperlukan selang waktu 15 menit setelah *shut down* karena pengambilan sumber neutron AmBe pada teras (F 17), sehingga kehilangan data peluruhan gamma sekitar 15 menit.

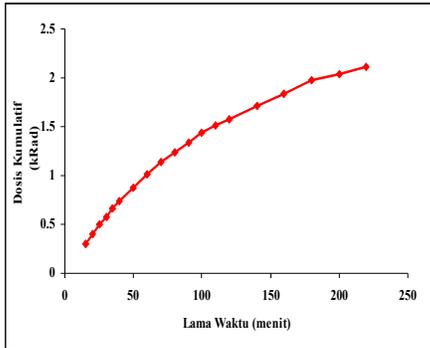
Sedangkan dari kedua grafik pada dinding luar reflektor juga terlihat bahwa laju gamma pada selang waktu 15 menit setelah reaktor *shut down* memiliki nilai yang hampir sama sehingga kemungkinan besar bahwa pengambilan sumber neutron hanya sedikit mempengaruhi besar laju dosis gamma tetapi untuk tujuan pembuatan fasilitas irradiasi gamma maka sumber neutron harus dikeluarkan terlebih dahulu.

### 2. Dosis Kumulatif Gamma

Dari besarnya laju dosis gamma dapat dihitung dosis kumulatifnya yaitu dengan cara mengintegrasikan laju dosis terhadap waktu pengambilan data. Pada dasarnya dosis kumulatif adalah jumlah keseluruhan dosis yang diterima suatu bahan selama waktu tertentu.

**2.1 Dosis kumulatif dengan sumber neutron dari teras**

Grafik dosis kumulatif pada dinding luar reflector dengan sumber neutron dikeluarkan dari teras dapat ditampilkan pada gambar 4.



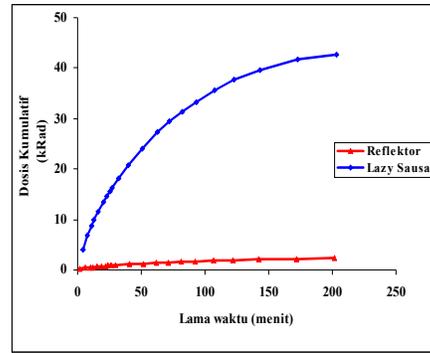
Gambar 4. Grafik dosis kumulatif pada dinding luar reflector Reaktor Kartini

Dosis kumulatif yang diperoleh pada dinding luar reflector dengan sumber neutron diambil dari teras sebesar 2,11 kRad selama waktu peluruhan 205 menit. Pada gambar 4 terlihat dosis kumulatif semakin bertambah seiring dengan bertambahnya waktu. Sehingga semakin lama waktu penyinaran maka dosis yang terkandung pada bahan akan semakin tinggi.

Besarnya dosis gamma hasil pengukuran merupakan dosis yang berasal dari radiasi gamma campuran berbagai radionuklida hasil pembelahan inti dengan neutron termal. Waktu paruh yang dimiliki oleh radionuklida hasil fisi sebagian besar berumur pendek sehingga menghasilkan laju radiasi yang tinggi.

**2.2 Dosis kumulatif dengan sumber neutron bukan dari teras**

Dosis kumulatif pada dinding luar reflector dan lazy susan dengan sumber neutron tidak dikeluarkan dari teras ditampilkan pada gambar 5.



Gambar 5 Grafik dosis kumulatif pada dinding luar reflector Reaktor Kartini

Dosis kumulatif yang diperoleh pada grafik gambar 5, pada dinding luar reflector sebesar 2,25 kRad dengan lama waktu peluruhan 202 menit. Sedangkan pada lazy susan diperoleh dosis kumulatif sebesar 40,72 kRad selama waktu peluruhan 203 menit

Dari gambar 5, diperoleh bahwa besar dosis kumulatif lazy susan lebih besar dari dinding luar reflector. Sehingga untuk penyediaan dosis gamma pasca shut down pada *lazy susan* jauh lebih besar, namun bila dibandingkan dengan penyediaan tempat diluar dinding reflector lebih besar daripada lazy susan. Sehingga rongga pada dinding luar reflector dapat dimanfaatkan untuk sample yang lebih besar yang nantinya dapat dioperasikan dari atas tangki reaktor. Dan untuk mendapatkan dosis kumulatif yang lebih besar dapat dilakukan dengan cara mengiradiasi berulang terhadap pada sampel yang sama.

Lama waktu yang paling efektif untuk mengiradiasi suatu sampel dengan gamma setelah *shut down* pada reaktor kartini adalah kurang dari 50 menit. Terlihat pada grafik peluruhan laju dosis bahwa pada saat waktu lebih dari 50 menit laju dosis mulai menurun dan menunjukkan nilai yang hampir konstan sehingga penambahan dosis kumulatif yang dapat diterima suatu bahan hanya sedikit. Selain itu juga diketahui bahwa radiasi gamma hasil pembelahan dengan

neutron termal mempunyai waktu paruh sekitar 25 menit sehingga waktu iradiasi yang paling efektif adalah saat reaktor mulai shut down sampai dengan 2 sampai 3 kali waktu paruh dari peluruhan gamma.

### 3 Penentuan tetapan peluruhan

Dari hasil grafik peluruhan gamma dapat ditentukan tetapan peluruhan ( $\lambda$ ) gamma yaitu pada luar dinding reflektor tanpa adanya sumber neutron sebesar 0,008 per menit. dan dengan sumber neutron sebesar 0,013 per menit. Sedang pada lazy susan diperoleh sebesar 0,014 per menit.

Dalam penelitian ini tetapan peluruhan ( $\lambda$ ) gamma dipengaruhi oleh besarnya energi gamma yang dihasilkan dari radionuklida hasil fisi pada teras. Setiap radionuklida memiliki  $\lambda$  yang berbeda-beda, Sehingga  $\lambda$  yang dihasilkan dari teras reaktor merupakan  $\lambda$  campuran dari berbagai radionuklida hasil fisi. Dari penelitian diperoleh besarnya  $\lambda$  pada dinding luar reflektor tanpa sumber neutron lebih besar dari pada dengan sumber. Hal itu karena pada reaktor yang baru *shut down* masih ada neutron sisa yang dapat menimbulkan pembelahan fisi lagi walaupun hanya sedikit. Dari pembelahan itu dapat menghasilkan radionuklida baru yang mengakibatkan peluruhan gamma sehingga akan menambah besarnya energi gamma yang terukur oleh detektor. Dari penambahan gamma maka  $\lambda$  akan bertambah besar.

Sedangkan besarnya  $\lambda$  pada dinding luar reflektor dan *lazy susan* pada waktu pengambilan data dalam waktu yang sama diperoleh  $\lambda$  *lazy susan* lebih besar. Hal itu karena letak dari *lazy susan* lebih dekat dengan teras sehingga penyerapan energi oleh reflektor grafit relatif sedikit dibandingkan dengan letak dari dinding reflektor yang lebih jauh dari teras, sehingga gamma yang terukur dalam *lazy susan* lebih besar sehingga akan mempengaruhi besarnya  $\lambda$ .

## KESIMPULAN

Berdasarkan pada pengukuran dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Setelah reaktor shut down dari operasi 100 kW selama 3 jam diperoleh laju dosis gamma meluruh dengan cepat pada luar dinding reflektor yaitu mulai dari 1,2 kR/jam menjadi 0,2 kR/jam dan dosis kumulatif sebesar 2,11 kRad dalam waktu 205 menit dengan sumber neutron dikeluarkan dari teras dan 6 kR/jam menjadi 0,2 kR/jam dan dosis kumulatif sebesar 2,25 kRad dalam waktu 202 menit tanpa sumber neutron dikeluarkan dari teras. Pada fasilitas iradiasi *lazy susan* laju dosis gamma 60 kR/jam menjadi 2 kR/jam dan dosis kumulatif sebesar 42,70 kRad dalam waktu 203 menit.
2. Diperoleh tetapan peluruhan gamma yaitu pada luar dinding reflektor tanpa adanya sumber neutron sebesar 0,008 per menit. dan dengan sumber neutron sebesar 0,013 per menit. Sedang pada *lazy susan* diperoleh sebesar 0,014 per menit.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Bapak Edi Tri BS, Sofia dan seluruh staf bidang Reaktor BATAN Yogyakarta yang telah membantu penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Prayoto., 1978. *Pengantar Teori Reaktor*. Teknik Nuklir. UGM : Yogyakarta
- [2] Syarif., 2002. *Reaksi Pembelahan*. Puslitbang Teknologi Maju Badan Tenaga Nuklir Nasional : Yogyakarta
- [3] Chember, H., 1987. *Introduction to Health Physics* 2<sup>nd</sup> edition. Pergamon Press : New York

[4] Trijono, E.B., 2002. *Analisis Dosis Gamma Pada Fasilitas Iradiasi Reaktor*

*Kartini*. Presentasi Ilmiah peneliti muda. P3TM-BATAN : Yogyakarta.