

PENGUKURAN FLUKS NEUTRON TERMAL DI FASILITAS IRADIASI SISTEM RABBIT TERAS 83 REAKTOR RSG-GAS

Jaka Iman, Asnul Sufmawan, Kawkab Mustofa
PRSG-BATAN

ABSTRAK

PENGUKURAN FLUKS NEUTRON TERMAL DI FASILITAS IRADIASI SISTEM RABBIT TERAS 83 REAKTOR RSG-GAS. Sistem rabbit merupakan salah satu fasilitas iradiasi di RSG-GAS yang digunakan untuk iradiasi sampel baik untuk keperluan analisis maupun untuk keperluan produksi radioisotop. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui adanya perubahan fluks neutron termal pada teras 83 karena bergantinya konfigurasi teras. Telah dilakukan pengukuran fluks neutron termal di fasilitas iradiasi sistem rabbit dengan metode aktivasi keping. 20 buah keping Au-Al yang diiradiasi pada daya 15 MW selama 5 menit. Setelah peluruhan, keping dicacah masing-masing selama 1000 detik dan kemudian dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak program Genie 2000. Dari hasil analisis diperoleh fluks neutron termal rerata di fasilitas iradiasi RS-1 = $3,23 \times 10^{13}$ n/cm² .s., RS-2 = $3,41 \times 10^{13}$ n/cm² .s., RS-3 = $1,18 \times 10^{13}$ n/cm² .s., RS-4 = $1,21 \times 10^{13}$ n/cm² .s. Dengan pengukuran ini diperoleh data fluks neutron termal teras 83 untuk mendukung produksi radioisotop, pengembangan elemen bakar dan komponen reaktor, penelitian dalam bidang sains materi dan berbagai litbang lain dalam bidang industri nuklir.

Kata kunci: Sistem Rabbit

ABSTRACT

THERMAL NEUTRON FLUX MEASUREMENT ON RABBIT SYSTEM IRRADIATION FACILITY CORES 83 OF RSG-GAS REACTOR. Rabbit system facility is one of the irradiation facility at RSG-GAS reactor that used for sample irradiation for analysis and for radioisotope production. Thermal neutron flux measurement on rabbit system irradiation facility cores 83 of RSG-GAS reactor has been done with activation method of Au-Al alloy foils. 20 foils Au-Al alloy foils irradiate with 15 MW power for 5 minutes, after delayed foils has been counting for 1000 seconds then analyzed by Genie 2000 software. The results founds at the RS-1 thermal neutron flux average value is $3,23 \times 10^{13}$ n/cm² .s., RS-2 is $3,41 \times 10^{13}$ n/cm² .s., RS-3 is $1,18 \times 10^{13}$ n/cm² .s., and RS-4 is $1,21 \times 10^{13}$ n/cm² .s. With this measurement had gotten the recent data of thermal neutron flux cores 83 to support the radioisotope production, development fuel elements, and reactor materials, research in the field of materials science and other research in nuclear industry.

Keyword : Rabbit System

PENDAHULUAN

Fasilitas iradiasi sistem rabbit adalah salah satu fasilitas di RSG-GAS yang dipergunakan untuk produksi radioisotop maupun penelitian dengan menggunakan teknik analisa aktivasi neutron. Fasilitas ini terdiri dari dua jenis yaitu *Hydraulic Rabbit* dan *Pneumatic Rabbit System*. *Hydraulic Rabbit* menggunakan air sebagai pengangkut kapsul

iradiasi, sedangkan *Pneumatic Rabbit* menggunakan gas nitrogen. Fasilitas iradiasi ini dapat digunakan untuk iradiasi sampel dengan waktu pendek maupun panjang, dengan bergantinya konfigurasi teras menjadi teras 83 maka perlu dilakukan pengukuran ulang untuk mengetahui adanya perubahan fluks neutron termal tersebut.

Konfigurasi teras 83 awal reaktor RSG-GAS dapat dilihat pada Gambar 1.

KONFIGURASI TERAS 83 AWAL

K	BS+59	B-29	B-30	PRTF	B-20	B-13	B-8	BS+10	B-5	B-2
J	B-28	BS+58	B-22	PRTF	B-21	B-23	B-24	B-4	BS+52	B-15
H	B-26	AIR	AIR	RI-512	RI-518	RI-511	RI-533	B-19	B-17	BS+51
G	B-16	RI-527	AIR	AL-4	RI-513	RI-503	RI-504	B-40	BS+57	B-14
F	AIR	RI-528	RI-537	RI-507	RI-497	RI-538	RI-502	AIR	B-32	PNRA
E	RI-524	RI-514	RI-522	AL-6	AL-3	RI-506	AL-8	RI-526	B-34	HYRA
D	RI-509	AL-2	RI-495	AL-5	AL-7	RI-520	RI-515	AIR	B-36	HYRA
C	AIR	RI-500	RI-539	RI-499	RI-508	RI-516	AIR	AIR	B-37	HYRA
B	BS+54 NS	RI-505	RI-494	RI-492	AL-1	AIR	RI-519	B-06	B-11	HYRA
A	B-10	AIR	RI-501	RI-521	RI-510	RI-523	AIR	B-03	BS+56	B-1
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1

Keterangan :

B = Beryllium, BS+ = Beryllium Stopper dengan sumbat, Al = Aluminium Stopper tanpa sumbat, RI = Elemen Bakar, NS = Sumber Neutron

Gambar 1. Konfigurasi teras 83 awal reaktor RSG-GAS

Untuk melaksanakan iradiasi suatu sampel di dalam fasilitas sistem rabbit diperlukan suatu wadah yang disebut kapsul. Ada dua jenis kapsul yaitu jenis plastik *polyethylene* yang dipakai untuk waktu iradiasi pendek dan jenis kapsul aluminium yang digunakan untuk wadah sampel dengan waktu iradiasi panjang.

Metode yang digunakan adalah metode aktivasi keping emas. Dengan melakukan evaluasi ini diharapkan akan diperoleh data fluks neutron termal yang akurat untuk mendukung produksi radioisotop dan penelitian lainnya. Pengukuran dilakukan di

posisi iradiasi sistem rabbit teras reaktor serba guna G.A. Siwabessy dengan menggunakan metode aktivasi keping. Metode ini dipilih karena beberapa keunggulan diantaranya cukup mudah, murah dan tidak sensitif terhadap radiasi gamma yang tinggi dan hasilnya cukup akurat.

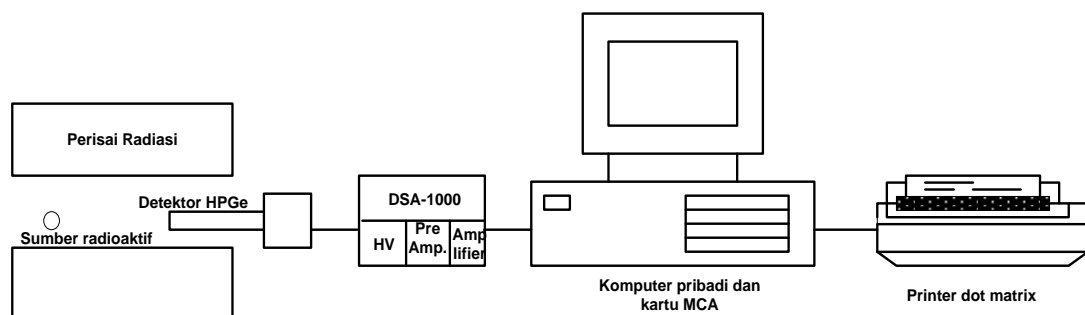
Untuk melaksanakan peningkatan keandalan sistem analisis sampel pasca iradiasi maka dilakukan penataan dan penyempurnaan dalam segi perangkat keras dan perangkat lunaknya. Perangkat keras tersebut adalah *Digital System Analyzer 1000 (DSA*

1000). Sedangkan perangkat lunak yang digunakan yaitu perangkat lunak Genie 2000.

TEORI

Berdasarkan metode aktivasi keping, pengukuran fluks neutron ditentukan dari hasil pengukuran aktivitas keping yang telah diiradiasi selama waktu tertentu. Besarnya aktivitas keping

sebanding besarnya fluks neutron dan lamanya iradiasi. Semakin besar fluks neutron dan semakin lama keping aktivasi diiradiasi maka semakin besar aktivitas keping tersebut. Karena besarnya aktivitas keping dapat diukur dengan suatu peralatan sistem spektrometri gamma, maka besarnya fluks neutron dapat ditentukan berdasarkan hasil pengukuran aktivitas keping. Rangkaian peralatan sistem spektrometri gamma dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian peralatan sistem spektrometri gamma

Bila suatu keping aktivasi diiradiasi di dalam medan fluks neutron yang berenergi beraneka ragam dari neutron termal, maka aktivitas yang timbul pada keping disebabkan oleh semua jenis neutron tersebut.

Berdasarkan hasil pengukuran aktivitas keping emas yang digunakan, besarnya fluks neutron termal ditentukan dengan persamaan :

$$\phi = \frac{BA.A \cdot e^{\lambda \cdot t_d} \cdot t_m}{m \cdot N_o \cdot \sigma_{th} (1 - e^{-\lambda \cdot t_i}) (1 - e^{-\lambda \cdot t_m})} \dots(1)$$

dimana :

- BA = berat atom detektor keping
- A = aktivitas keping yang telah diiradiasi
- λ = tetapan peluruhan
- t_d = waktu peluruhan
- t_m = waktu pengukuran
- t_i = waktu iradiasi
- m = massa keping
- N_o = bilangan Avogadro
- σ_{th} = tampang lintang inti keping terhadap neutron termal

Kalibrasi Spektrometri- γ

Spektrometri- γ adalah suatu metoda pengukuran yang bersifat nisbi (*relative*), sehingga sebelum suatu perangkat Spektrometri- γ dapat digunakan untuk melakukan analisa, alat tersebut perlu dikalibrasi terlebih dahulu secara cermat dan teliti. Ada dua macam kalibrasi yang perlu

dilakukan, yaitu kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi.

Kalibrasi Energi

Interaksi sinar- γ dengan detektor akan menghasilkan signal pulsa, dimana tinggi pulsa tersebut akan sebanding dengan tenaga sinar- γ yang mengenai detektor. Cacah pulsa-pulsa yang mempunyai tinggi sama dicatat dalam suatu saluran dengan nomor tertentu. Dengan demikian, nomor saluran penganalisis saluran ganda juga akan sebanding dengan energi sinar- γ .

Untuk suatu perangkat Spektrometri- γ dan satu setting kondisi kerja (tegangan tinggi, penguat dan lainnya) perlu dicari hubungan antara nomor saluran dan energi. Hal ini dilakukan dengan jalan mencacah beberapa sumber radioaktif standar, yaitu sumber yang sudah diketahui tenaganya dengan cepat. Misalnya sumber standar ^{133}Ba , ^{137}Cs , dan ^{60}Co yang dicacah secara bersamaan. Apabila dibuat plot tenaga sinar- γ standar versus nomor saluran puncak serapan total masing-masing, maka akan didapat sebuah kurva kalibrasi energi yang berbentuk garis lurus.

Kalibrasi Efisiensi

Kalibrasi efisiensi dibutuhkan untuk analisis kuantitatif. Suatu sumber radioaktif selalu memancarkan sinar radioaktif ke segala arah. Biasanya cuplikan radioaktif diukur pada jarak tertentu terhadap detektor, sehingga sebenarnya hanya sebagian saja dari sinar- γ yang dipancarkan oleh cuplikan yang terdeteksi. Itulah sebabnya, dalam deteksi radiasi dikenal istilah laju cacah dan

aktivitas. Dalam spektrometri- γ , laju cacah biasanya dinyatakan dalam satuan cacah per sekon (cps) atau kadang-kadang juga dalam cacah per menit (cpm).

Nilai laju cacah sama sekali tidak mencerminkan aktivitas yang sesungguhnya dari suatu sumber radiasi. Sebagai contoh, laju cacah sebesar 1000 pcs bisa berarti 10^7 atau 10^{13} atau beberapa saja disintegrasi per sekon (dps), tergantung pada efisiensi deteksi dan nilai intensitas mutlak tenaga sinar- γ yang diukur.

Untuk suatu pencacahan gross, yaitu pencacahan tanpa membedakan tenaga atau dengan yang lain dalam cuplikan maupun mode peluruhan, maka besarnya efisiensi deteksi semata-mata adalah nisbah laju cacah dan aktivitas, hal ini dapat ditunjukkan melalui persamaan :

$$\epsilon_{gross} = \left(\frac{cps}{dps} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (2)$$

Dalam pengukuran spektrometri- γ , yang pengukurannya hanya ditunjukkan pada salah satu tenaga dari sekian banyak tenaga dan mode peluruhan yang ada dalam cuplikan, maka besarnya efisiensi deteksi masih harus ditentukan oleh nilai intensitas mutlak. Persamaan efisiensinya dinyatakan dalam persamaan :

$$\epsilon_{spektrometri} = \left(\frac{cps}{dps} \times Y(E) \right) \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Hasil kali $Y(E) \cdot dps$ disebut laju emisi atau nilai emisi foton. Efisiensi yang didefinisikan dalam persamaan diatas adalah efisiensi mutlak dari puncak serapan total. Nilai laju cacah (cps) didapatkan dengan jalan menentukan luas puncak-foto (*photo peak*) total suatu sinar- γ dan membaginya dengan waktu pencacahan (dalam detik) yang dituliskan dalam persamaan :

$$cps = \frac{\text{luas puncak serapan total (cacah)}}{\text{waktu pencacahan (detik)}} \dots\dots\dots (4)$$

Luas puncak serapan total adalah jumlah cacah yang terkandung dalam suatu puncak- γ . Jika puncak serapan total yang dipakai untuk menentukan efisiensi mempunyai tenaga sebesar E, maka dengan sendirinya nilai intensitas mutlak juga harus dilihat untuk tenaga E tersebut, yaitu Y (E).

Sebagai konsekuensinya, efisiensi deteksi juga merupakan fungsi tenaga, $\epsilon(E)$ sehingga persamaan

didasar lebih tepat dituliskan dalam bentuk persamaan-an:

$$\epsilon(E) = \left(\frac{cps}{dps} \times Y(E) \right) \times 100\% \dots\dots\dots (5)$$

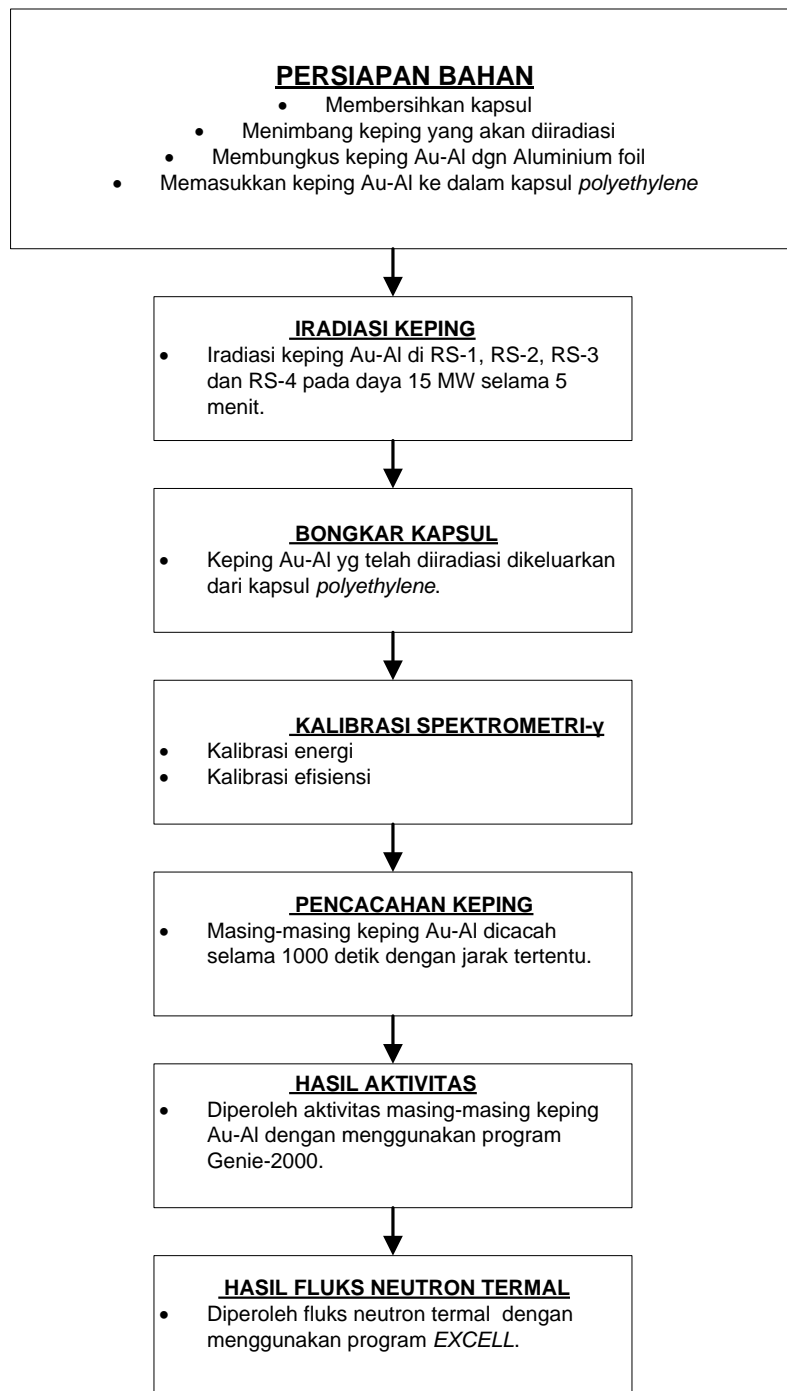
Apabila dilakukan pengukuran efisiensi dari tenaga rendah (<100 KeV) sampai ke tenaga yang cukup tinggi (misal 1500 KeV) dengan menggunakan sumber standar, maka dapat dibuat plot efisiensi versus tenaga. Plot semacam ini disebut sebagai kurva kalibrasi efisiensi.

TATA KERJA

Pengukuran fluks neutron termal dilakukan pada setiap fasilitas iradiasi sistem rabbit (RS-1, RS-2, RS-3 dan RS-4) dengan tahapan sebagai berikut :

1. Kapsul *polyethylene* sebelum diiradiasi, dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran atau debu yang menempel pada permukaan kapsul dengan acetone.
2. Keping-keping Au-Al yang akan digunakan ditimbang beratnya, selanjutnya keping Au-Al tersebut dibungkus dengan aluminium foil. Dan ditempel di plastik *polyethylene* sepanjang 60 mm dengan jarak masing-masing 10 mm sebanyak 5 keping Au-Al.
3. Masukkan plastik *polyethylene* yang berisi 5 buah keping Au-Al ke dalam kapsul *polyethylene*.
4. Iradiasi kapsul *polyethylene* yang telah terisi keping Au-Al mulai dari sistem rabbit RS-1, RS-2, RS-3, dan RS-4 pada daya 15 MW selama 5 menit.
5. Setelah meluruh, kapsul *polyethylene* dibongkar dan dikeluarkan keping-keping Au-Al tersebut kemudian ditaruh ke dalam cawan petri dish.
6. Perangkat spektrometri- γ DSA-1000 yang telah siap, kemudian dikalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi dengan baik, maka dengan demikian pencacahan keping dapat dilakukan.
7. Keping-keping Au-Al yang teraktivasi tersebut dicacah dengan program Genie-2000 dengan lama pencacahan 1000 detik untuk masing-masing keping.
8. Sehingga dari hasil pencacahan didapatkan aktivitas masing-masing keping
9. Diperoleh hasil fluks neutron termal dengan menggunakan program *Excell*.

Tahapan-tahapan pengukuran fluks neutron termal dapat dilihat pada diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema pengukuran fluks neutron termal di fasilitas sistem rabbit reaktor RSG-GAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Hasil pengukuran fluks neutron termal di sistem rabbit daya 15 mw teras 83 reaktor RSG-GAS.

No.	Nama keping	Berat keping (gr)	Posisi iradiasi	Aktivitas (Bq)	Fluks neutron termal (n/cm ² .det.)
1.	Au-a1	0,0436	RS-1	9,00E+07	3,37E+13
2.	Au-a1	0,0425	RS-1	8,77E+07	3,28E+13
3.	Au-a1	0,0416	RS-1	8,48E+07	3,17E+13
4.	Au-a1	0,0414	RS-1	8,40E+07	3,14E+13
5.	Au-a1	0,0411	RS-1	8,47E+07	3,17E+13
6.	Au-a2	0,0355	RS-2	7,63E+07	2,86E+13
7.	Au-a2	0,0421	RS-2	9,03E+07	3,39E+13
8.	Au-a2	0,0424	RS-2	9,35E+07	3,50E+13
9.	Au-a2	0,0439	RS-2	9,90E+07	3,71E+13
10.	Au-a2	0,0420	RS-2	9,53E+07	3,57E+13
11.	Au-a3	0,0396	RS-3	2,95E+07	1,18E+13
12.	Au-a3	0,0394	RS-3	2,99E+07	1,19E+13
13.	Au-a3	0,0398	RS-3	3,04E+07	1,22E+13
14.	Au-a3	0,0417	RS-3	3,01E+07	1,20E+13
15.	Au-a3	0,0369	RS-3	2,73E+07	1,09E+13
16.	Au-a4	0,0421	RS-4	3,01E+07	1,20E+13
17.	Au-a4	0,0395	RS-4	2,80E+07	1,12E+13
18.	Au-a4	0,0404	RS-4	2,87E+07	1,15E+13
19.	Au-a4	0,0450	RS-4	3,23E+07	1,29E+13
20.	Au-a4	0,0443	RS-4	3,21E+07	1,28E+13

Dari pengukuran tiap-tiap sampel dan perhitungan menggunakan rumus (1) diatas, maka diperoleh hasil aktivitas dan fluks neutron termal di fasilitas iradiasi sistem rabbit teras 83 seperti tertera dalam tabel 1. Berat suatu sampel yang telah diiradiasi akan mempengaruhi aktivitas terukur. Hasil pengukuran fluks neutron termal di fasilitas iradiasi sistem rabbit diatas dapat dilihat bahwa fluks neutron termal rerata pada posisi RS-1 ($3,23 \times 10^{13}$ n/cm².s) dan RS-2 ($3,41 \times 10^{13}$ n/cm².s.) lebih besar dibandingkan dengan fluks neutron termal rerata pada posisi RS-3 ($1,18 \times 10^{13}$ n/cm².s.) dan RS-4. ($1,21 \times 10^{13}$ n/cm².s.) Hal ini disebabkan karena posisi RS-1 dan RS-2 dekat dengan pusat teras reaktor dibandingkan dengan di posisi RS-3 dan RS-4.

KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran fluks neutron termal di fasilitas iradiasi sistem rabbit diatas dapat disimpulkan bahwa untuk mengiradiasi cuplikan/sampel dibutuhkan fluks neutron termal yang besar maka untuk itu posisi RS-1 dan RS-2 mempunyai fluks neutron termal lebih besar (dekat dengan elemen bakar) dibandingkan di posisi iradiasi RS-3 dan RS-4.

DAFTAR PUSTAKA

1. SUWOTO dkk, "Evaluasi Fluks Neutron Termal dan Epitermal di Fasilitas Iradiasi Rabbit Sistem", Prosiding Hasil Penelitian P2TRR, Tahun 2005.
2. JAKA IMAN dkk, "Juklak Pengukuran Fluks neutron Di Sistem Rabbit RSG-GAS" Tahun 2010