

## EVALUASI FLUKS NEUTRON THERMAL DAN EPITHERMAL DI FASILITAS SISTEM RABBIT RSG GAS TERAS 89

Elisabeth Ratnawati, Jaka Iman, Hanapi Ali

### ABSTRAK

**EVALUASI FLUKS NEUTRON THERMAL DAN EPITHERMAL DI FASILITAS SISTEM RABBIT RSG GAS TERAS 89.** Pengukuran fluks neutron thermal dan epithermal di fasilitas iradiasi sistem rabbit dipandang perlu dilakukan kembali sebagai evaluasi. Metode yang digunakan adalah dengan melakukan aktivasi keping Au terbuka, dan keping Au yang terbungkus Cd. Keping diiradiasi pada posisi RS-1, RS-2 dan RS-4 selama 300 detik dalam reaktor berdaya 15MW. Hasil pengukuran fluks neutron thermal di posisi RS-1 adalah sebesar  $4,4689E+13$  n/cm<sup>2</sup>.s dan epithermal  $4,014E+12$  n/cm<sup>2</sup>.s. Untuk posisi RS-2 adalah  $4,0631E+13$  n/cm<sup>2</sup>.s untuk thermal dan  $4,280E+12$  n/cm<sup>2</sup>.s untuk epithermal. Posisi RS-4 adalah  $4,2152E+13$  n/cm<sup>2</sup>.s untuk thermal dan  $3,531E+12$  n/cm<sup>2</sup>.s untuk epithermal. Koreksi pengukuran dilakukan dengan menggabungkan faktor penyumbang kesalahan. Nilai ketidakpastian pada posisi RS-1 adalah 5,068 %, RS-2; 5,096 % dan RS-4 adalah 5,093 %. Bila dibandingkan dengan hasil pengukuran fluks neutron sebelumnya yaitu pada teras ke 54, hasil pengukuran fluks neutron ini tidak mengalami perbedaan yang signifikan. Pengukuran secara rutin diperlukan teristimewa pada setiap adanya perubahan pada konfigurasi bahan bakar reaktor untuk mengetahui besaran fluks neutron pada setiap posisi iradiasi.

Kata kunci: fluks neutron thermal, epithermal, sistem rabbit

### ABSTRACT

**EVALUATION OF THERMAL AND EPITHERMAL NEUTRON FLUX IN THE RABBIT SYSTEM OF THE RSG GAS 89<sup>TH</sup> CYCLE FACILITY.** Re-measurements of thermal and epithermal neutron flux at the irradiation facility of rabbit system is necessary for evaluation. The method used is to perform the activation of Au foil, and Au-wrapped Cd. The foils were irradiated at position RS-1, RS-2 and RS-4 for 300 seconds in a 15MW power reactors. The results of measurements of thermal neutron flux in the position of RS-1 is  $4,4689E + 13$  n / cm<sup>2</sup>.s and epithermal is  $4,014E + 12$  n / cm<sup>2</sup>.s. While in the position of RS-2 is  $4,0631E + 13$  n / cm<sup>2</sup>.s for thermal and  $4,280E + 12$  n / cm<sup>2</sup>.s to epithermal. The position of the RS-4 is  $4,2152E + 13$  n / cm<sup>2</sup>.s for thermal and  $3,531E+12$  n/cm<sup>2</sup>.s for epithermal. Measurement correction is done by combining the factor of contributor's mistake. The uncertainty factor to the position of RS-1 is 5.068%, RS-2; 5.096% and RS-4 is 5.093%. When compared to the results of previous measurements of neutron flux on core 54, the results of neutron flux measurement is not experiencing a significant difference. Measurements are routinely required especially on any changes to the configuration of the reactor fuel to determine the amount of neutron flux at the position.

Keywords: thermal and epithermal neutron flux, rabbit system

**PENDAHULUAN**

Pengukuran fluks neutron baik thermal maupun epithermal pada posisi tertentu idealnya dilakukan secara rutin setiap pergantian teras reaktor. Namun karena keterbatasan bahan maka kegiatan tersebut hanya dilakukan sesuai dengan kebutuhan. Pengukuran fluks pada fasilitas iradiasi sistem *rabbit* terakhir dilakukan pada teras ke 54. Sehingga sekarang dirasakan perlu untuk dilakukan pengukuran kembali. Dengan tujuan agar dapat mengetahui apakah besaran fluks neutron mengalami perubahan yang signifikan karena adanya perubahan konfigurasi teras. Berdasarkan alasan tersebut maka pada teras ke 89 ini dilakukan kembali pengukuran fluks neutron di posisi iradiasi sistem rabbit. Seperti telah diketahui bahwa sistem rabbit merupakan salah satu fasilitas iradiasi yang dimiliki oleh Reaktor Serba Guna RSG-GAS. Fasilitas ini digunakan untuk iradiasi bahan/cuplikan. Metode yang digunakan adalah dengan aktivasi keping Au, baik yang terbungkus Al (terbuka) maupun yang dibungkus dengan Cd (tertutup) didalam fasilitas iradiasi sistem rabbit. Posisi yang digunakan adalah RS-1, RS-2, dan RS-4 yang terletak di berilium reflektor. Untuk posisi RS-3 saat ini belum dapat dilakukan pengukuran, sebab masih dalam perbaikan sehubungan dengan adanya komponen yang mengalami kerusakan.

Diharapkan dari kegiatan ini akan diperoleh hasil besarnya fluks neutron thermal dan epithermal pada masing-masing posisi, dimana hal ini akan sangat membantu kegiatan penelitian yang berhubungan dengan uji suatu bahan dengan metode aktivasi neutron maupun kegiatan produksi <sup>radioisotop</sup> yang menggunakan sistem rabbit sebagai fasilitas/sistem penunjang.

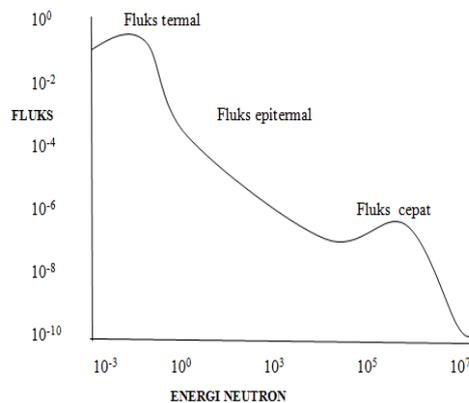
**TEORI**

**Fluks neutron.**

Fluks neutron adalah besaran yang menyatakan cacah neutron yang melalui satu

luasan sebesar 1 cm<sup>2</sup> tiap sekon. Ditinjau dari tenaga yang dimilikinya, neutron dapat digolongkan menjadi :

1. Neutron cepat : mempunyai tenaga 0,1 MeV < E < 10 MeV
2. Neutron epithermal : mempunyai tenaga 0,01 eV < E < 0,1 MeV
3. Neutron thermal : mempunyai tenaga 0,001 eV < E < 1,02 eV



**Gambar 1** : Distribusi Neutron Thermal, Epithermal, dan Cepat Sebagai Fungsi Dari Perubahan Energi Neutron

Pengukuran fluks neutron dengan metode aktivasi keping ditentukan dari hasil pengukuran aktivitas keping yang diiradiasi dengan waktu tertentu. Perhitungan aktivitas keping dihitung dengan rumus :

$$A = \frac{cps}{eff \times intensitas} \dots\dots\dots(1)$$

Bila suatu keping diiradiasi dalam suatu medan fluks neutron dengan energi yang beraneka ragam, yaitu neutron thermal, epithermal dan cepat, maka aktivitas yang ditimbulkan pada keping tersebut berasal dari beberapa jenis neutron tersebut. Dengan demikian penentuan fluks neutron menjadi agak sulit. Oleh karena itu dalam pengukuran fluks neutron thermal digunakan pembungkus cadmium pada salah satu keping tersebut. Hal ini disebabkan karena cadmium merupakan

penyerap neutron thermal, sehingga akan didapatkan harga aktivitas keping yang disebabkan oleh reaksi dengan neutron epithermal dan neutron cepat. Selisih dari aktivitas keping yang tidak dibungkus Cd dengan aktivitas yang dibungkus Cd merupakan aktivitas yang disebabkan hanya oleh neutron thermal saja.

Besaran fluks neutron thermal dapat ditentukan dengan persamaan

$$\Phi_{th} = \frac{BA A_b(t) \left(1 - \frac{1}{R_{cd}}\right) e^{-\lambda t_d} t_m}{m \cdot N_o \cdot \sigma_{th} (1 - e^{-\lambda t_i}) \cdot (1 - e^{-\lambda t_m}) \cdot G_{th}} \dots\dots\dots(2)$$

Sedangkan besaran fluks epithermal ditentukan dengan persamaan

$$\Phi_{epi} = \frac{\Phi_{th} \cdot \sigma_{th}}{(R_{cd} - 1) \cdot I_r \cdot G_{epi}} \ln \frac{E_2}{E_1} \dots\dots\dots(3)$$

dimana

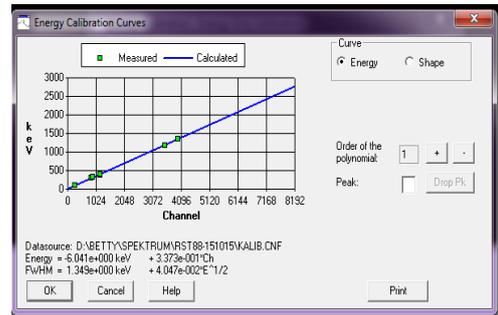
- BA = berat atom detektor keping
- A<sub>b</sub>(t) = aktivitas terukur keping terbuka
- R<sub>cd</sub> = nisbah cadmium
- λ = tetapan peluruhan
- t<sub>d</sub>, t<sub>m</sub>, t<sub>i</sub> = waktu peluruhan, waktu pengu-  
kuran, dan waktu iradiasi
- m = massa keping detektor
- N<sub>o</sub> = bilangan Avogadro
- σ<sub>th</sub> = tampang lintang inti keping terhadap  
neutron thermal
- I<sub>r</sub> = integral resonansi
- G<sub>th</sub> = faktor perisai diri thermal
- G<sub>epi</sub> = faktor perisai diri epithermal
- E<sub>1</sub> = energi batas bawah neutron  
epithermal = 0,5 eV
- E<sub>2</sub> = energi batas atas neutron thermal =  
0,1 MeV

**Spektrometri-γ**

Spektrometri-γ adalah seperangkat sistem pengukuran yang bersifat nisbi (relatif), sehingga sebelum suatu perangkat spektrometri-γ dapat digunakan untuk melakukan pencacahan 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 gamma dengan detektor akan menghasilkan sinyal pulsa, dimana tinggi pulsa tersebut akan sebanding dengan energi sinar gamma yang mengenai detektor. Cacah 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 gamma. Untuk suatu perangkat Spektrometer-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 standard, yaitu sumber yang sudah diketahui tenaganya dengan cepat. Misalnya sumber standard <sup>133</sup>Ba, <sup>137</sup>Cs, dan <sup>60</sup>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, seperti yang tampak pada Gambar.2.



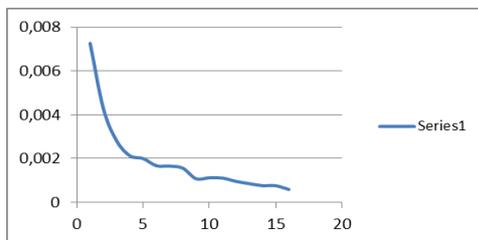
**Gambar 2:** kurva Kalibrasi Energi

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

Apabila dilakukan pengukuran efisiensi dari tenaga rendah ( $<100\text{KeV}$ ) 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.



**Gambar 3:** Kurva Kalibrasi Efisiensi

#### TATA KERJA

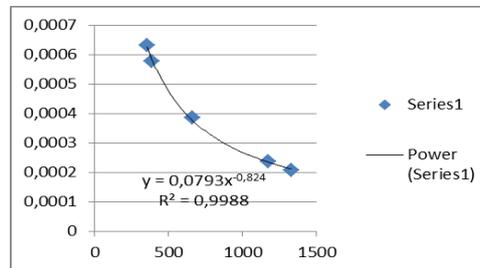
Tahapan pengukuran fluks neutron thermal dan epithermal adalah sebagai berikut :

1. Melakukan penimbangan keping Au yang akan diiradiasi
2. Membungkus keping Au dengan pembungkus Al dan Cd
3. Memasukkan dalam kapsul iradiasi
4. Melakukan iradiasi keping Au
5. Melakukan kalibrasi energi dan efisiensi

6. Melakukan pencacahan keping Au
7. Melakukan perhitungan efisiensi energi
8. Melakukan perhitungan aktivitas keping terbuka dan tertutup
9. Melakukan perhitungan fluks neutron

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengetahui besarnya efisiensi maka dilakukan pencacahan sumber standar campuran Ba-133, Cs-137, Co-60 dengan jarak yang sama dengan pencacahan sampel, yaitu keping Au. Berdasarkan hasil perhitungan efisiensi energi maka diperoleh kurva dan persamaan efisiensi seperti yang terlihat dibawah ini.



**Gambar 4:** Kurva Persamaan Efisiensi Energi

Berdasarkan hasil pencacahan terhadap keping terbuka maupun tertutup serta analisis spektrum dengan menggunakan Program Genie maka dapat dihitung besarnya aktivitas masing-masing keping. Berikut adalah hasil perhitungan aktivitas keping Au.

**Tabel 1:** Hasil perhitungan aktivitas keping Au

No	Kode	Pembungkus	Berat keping (gr)	Aktivitas (Bq/gr)
1.	Au-1	Al	0,2478	1,209E+10
2.	Au-2	Cd	0,2477	1,407E+07
3.	Au-3	Al	0,2524	9,775E+09
4.	Au-4	Cd	0,2502	1,500E+09
5.	Au-6	Al	0,2537	1,262E+10
6.	Au-7	Cd	0,2579	1,238E+09

Berdasarkan perhitungan aktivitas keping terbuka dan tertutup dapat dihitung nilai fluks neutron thermal dan epithermal dengan menggunakan rumus (1) dan (2).

Berikut adalah hasil perhitungan fluks neutron di fasilitas sistem rabbit teras 89.

**Tabel 2 :** Hasil Pengukuran Fluks Neutron Thermal dan epithermal di fasilitas iradiasi Sistem Rabbit Teras 89

No	Posisi	Fluks neutron thermal (n/cm <sup>2</sup> .s)	Fluks neutron epithermal (n/cm <sup>2</sup> .s)	Ketidakpastian pengukuran (Uc)
1.	RS-1	4,4689E+13	4,014E+12	5,068 %
2.	RS-2	4,0631E+13	4,280E+12	5,096 %
3.	RS-4	4,2152E+13	3,531E+12	5,093 %

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel.2 diatas dapat dikatakan bahwa besaran fluks neutron thermal nampak merata pada masing-masing posisi. Pada posisi RS-4 besaran fluks neutron epithermal nampak lebih kecil bila dibandingkan dengan posisi yang lain. Hal ini amat dimungkinkan karena serapan neutron tidak selalu sama pada tiap posisi. Bila dibandingkan dengan pengukuran fluks neutron thermal dan epithermal yang pernah dilakukan sebelumnya (Tabel 3.) maka dapat dikatakan bahwa besarnya fluks neutron thermal berada pada kisaran nilai yang sama, sedangkan fluks neutron epithermal mengalami sedikit perbedaan. Hal ini dapat terjadi karena adanya perbedaan konfigurasi susunan bahan bakar pada teras sebelumnya dan saat pengukuran ini dilakukan.

Koreksi pengukuran diambil dari nilai ketidakpastian yang menyumbang kesalahan pengukuran. Ketidakpastian pengukuran diambil dari gabungan ketidakpastian pada saat penimbangan keping, waktu iradiasi, pencacahan keping, perhitungan efisiensi energi, dan ketidakpastian pengukuran dalam perhitungan aktivitas keping. Faktor penyumbang kesalahan digabungkan menjadi ketidakpastian gabungan (Uc).

Berdasarkan hasil pengukuran fluks neutron thermal dan epithermal pada fasilitas iradiasi sistem rabbit ini dapat dinyatakan bahwa fasilitas iradiasi sistem rabbit dapat berfungsi dengan baik untuk keperluan iradiasi bahan/cuplikan. Fluks neutron yang ada pada masing-masing posisi memiliki besaran dengan kisaran yang sama dan tidak mengalami perubahan yang signifikan bila

dibandingkan dengan pengukuran pada teras sebelumnya.

Pengukuran secara rutin diperlukan teristimewa pada setiap adanya perubahan

pada konfigurasi bahan bakar reaktor untuk mengetahui besaran fluks neutron pada posisi tersebut.

**Tabel 3:** Hasil Pengukuran Fluks Neutron Thermal dan Epithermal di Fasilitas Iradiasi Sistem Rabbit Teras 54<sup>(3)</sup>

No	Posisi	Flux neutron thermal (n/ cm <sup>2</sup> . s)	Flux neutron (n/ cm <sup>2</sup> . s)
1.	RS-1	4,86 E+ 10 <sup>13</sup>	3,59 E+ 10 <sup>13</sup>
2.	RS-2	5,10 E+ 10 <sup>13</sup>	4,33 E+ 10 <sup>13</sup>
3.	RS-3	5,45 E+ 10 <sup>13</sup>	4,30 E+ 10 <sup>13</sup>
4.	RS-4	5,45 E+ 10 <sup>13</sup>	4,84 E+ 10 <sup>13</sup>

### KESIMPULAN

1. Fasilitas iradiasi sistem rabbit memiliki besaran fluks neutron thermal dan epithermal yang memadai untuk iradiasi bahan/cuplikan.
2. Fluks neutron yang ada pada masing-masing posisi memiliki besaran dengan kisaran yang sama dan tidak mengalami perubahan yang signifikan bila dibandingkan dengan pengukuran pada teras sebelumnya.
3. Pengukuran secara rutin diperlukan teristimewa pada setiap adanya perubahan pada konfigurasi bahan bakar reaktor untuk mengetahui besaran fluks neutron pada setiap posisi iradiasi

### DAFTAR PUSTAKA

1. **ANONIMOUS**, *IAEA Practical Aspect of Operating A Neutron Activation Laboratory*, IAEA-TECDOC-564,Wina 1990
2. **PT. INDOCAL BANDUNG**, Diktat Pelatihan Ketidakpastian Pengukuran, Agustus 2005
3. **SUWOTO dkk**, “Evaluasi Fluks Neutron Thermal dan Epithermal di Fasilitas Iradiasi Rabbit System”, Prosiding Seminar Hasil Penelitian P2TRR, 2005.
4. **WISNU SUSETYO**, Spektrometri Gamma Dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Neutron, Gajah Mada University Press, 1988