
EVALUASI FLUKS NEUTRON THERMAL DAN EPITHERMAL DI FASILITAS IRADIASI RABBIT SYSTEM

Suwoto, Sunarko, J.Iman dan A.Hamzah
Pusat Pengembangan Teknologi Reaktor Riset - BATAN

ABSTRAK

EVALUASI FLUKS NEUTRON THERMAL DAN EPITHERMAL DI FASILITAS IRADIASI RABBIT SYSTEM. Rabbit system merupakan salah satu fasilitas iradiasi di RSG-GAS yang digunakan untuk iradiasi sampel baik untuk keperluan analisis maupun untuk keperluan produksi radioisotop. Waktu iradiasi sampel ditentukan berdasarkan fluks neutron thermal dan epithermal yang ada difasilitas tersebut. Evaluasi ini dimaksudkan untuk mengetahui adanya perubahan fluks neutron thermal dan epitermal karena bergantinya konfigurasi teras. Telah dilakukan evaluasi fluks neutron thermal dan epithermal di fasilitas iradiasi rabbit system dengan metode aktivasi keping emas baik yang dibungkus Cd maupun tidak. Keping emas diradiasi selama 10 menit dan setelah peluruhan 2 hari keping dicacah selama masing-masing 30 menit dan kemudian dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak Gamma Trax. Dari hasil analisis diperoleh fluks neutron thermal di fasilitas iradiasi RS-1= $4,86 \times 10^{13}$ n/cm².s, RS-2= $5,1 \times 10^{13}$ n/cm².s, RS-3= $5,45 \times 10^{13}$ n/cm².s, RS-4= $5,45 \times 10^{13}$ n/cm².s dan fluks neutron epithermal RS-1 = $3,59 \times 10^{13}$ n/cm².s, RS-2 = $4,33 \times 10^{13}$ n/cm².s, RS-3 = $4,30 \times 10^{13}$ n/cm².s, RS-4= $4,8 \times 10^{13}$ n/cm².s Fluks neutron difasilitas Rabbit sistem dipengaruhi oleh densitas dan konfigurasi bahan bakar reaktor.

ABSTRACT

EVALUATION OF THERMAL AND EPITHERMAL NEUTRON FLUX AT SYSTEM RABBIT IRRADIATION FACILITY. System rabbit is one of irradiation facility at RSG-GAS reactor that used for sample irradiation for analysis and for radioisotop production. Irradiation time calculated based on thermal and epithermal neutron flux at that facility. Evaluation of thermal and epithermal neutron flux at rabbit system irradiation facility has been done with activation methode of gold foil that wrapped by Cd or not. Gold foil irradiate for 10 minute, after 2 days delayed foil has been counting for 30 minute then analized by Gamma Trax . From the analysis neutron thermal flux at system rabbit irradiation position are : RS-1= $4,86 \times 10^{13}$ n/cm².s, RS-2= $5,1 \times 10^{13}$ n/cm².s, RS-3= $5,45 \times 10^{13}$ n/cm².s, RS-4= $5,45 \times 10^{13}$ n/cm².s ; epithermal neutron flux are: RS-1 = $3,59 \times 10^{13}$ n/cm².s, RS-2 = $4,33 \times 10^{13}$ n/cm².s, RS-3 = $4,30 \times 10^{13}$ n/cm².s, RS-4= $4,8 \times 10^{13}$ n/cm².s . The neutron flux in Rabbit Sytem facility influenced by the density and configuration of fuel reactor.

PENDAHULUAN

Rabbit system merupakan salah satu fasilitas iradiasi di RSG-GAS yang digunakan untuk iradiasi sampel, baik untuk keperluan analisis maupun untuk keperluan produksi radioisotop. Waktu iradiasi ditentukan berdasarkan fluks neutron thermal atau epitermal yang ada difasilitas tersebut.

Pada masa yang lalu telah dilakukan pengukuran fluks neutron thermal dan epitermal di fasilitas sistem rabbit, namun dengan berjalannya waktu dan bergantinya konfigurasi teras perlu dilakukan pengukuran ulang, untuk mengevaluasi adanya perubahan fluks

neutron termal dan epitermal tersebut. Metode yang diterapkan adalah metode aktivasi keping emas baik yang dibungkus Cadmium maupun tidak. Dengan melakukan evaluasi ini diharapkan akan diperoleh data fluks neutron thermal dan epithermal yang akurat untuk mendukung penelitian AAN, produksi radioisotop dan penelitian lain.

Pengukuran dilakukan di posisi iradiasi sistem Rabbit teras Reaktor Serbaguna 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.

Keping Au-Al yang telah ditimbang beratnya dibungkus dengan Al foil maupun dengan Cadmium kemudian dimasukkan kedalam kapsul poliethylen, untuk selanjutnya diiradiasi. Iradiasi dilakukan pada posisi yang akan diukur fluks neutronnya yaitu fasilitas iradiasi Rabbit sistem (RS). Fasilitas ini ada 4 posisi yaitu RS-1, RS-2, RS-3 dan RS-4.

Daya reaktor selama iradiasi sebesar 15 MW selama masing-masing 10 menit. Dengan melakukan evaluasi ini diharapkan akan diperoleh data fluks neutron thermal dan epithermal yang akurat untuk mendukung penelitian AAN, produksi radioisotop dan penelitian lain.

TEORI.

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

Besarnya aktivitas keping sebanding dengan 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.

Bila suatu keping aktivasi diiradiasi didalam medan fluks neutron yang berenergi beraneka ragam dari neutron thermal, epithermal dan neutron cepat, maka aktivitas yang timbul pada keping disebabkan oleh semua jenis neutron tersebut. Dalam hal ini penentuan fluks neutron menjadi agak sulit. Maka untuk mengukur fluks neutron thermal digunakan dua keping dengan pembungkus cadmium pada salah satu keping tersebut.

Penggunaan pembungkus Cd yang merupakan penyerap kuat neutron thermal, dimaksudkan untuk mendapatkan harga aktivitas keping yang disebabkan hanya oleh hasil reaksi dengan neutron epithermal dan neutron cepat. Selisih dari aktivitas keping yang tidak dibungkus Cd dan aktivitas keping yang dibungkus Cd merupakan aktivitas yang disebabkan hanya oleh neutron thermal.

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

$$\phi_{th} = \frac{BA.A_b(t)(1 - \frac{1}{R_{cd}}).e^{\lambda.t_d}.t_m}{m.N_0.\sigma_{th}(1 - e^{-\lambda.t_i}).(1 - e^{-\lambda.t_m}).G_{th}} \dots\dots\dots(1)$$

Sedangkan fluks neutron epithermal ditentukan dengan persamaan :

$$\phi_{epi} = \frac{\phi_{th}.\sigma_{th}}{(R_{cd} - 1).I_r.G_{epi}} \ln \frac{E_2}{E_1} \dots\dots\dots(2)$$

Pada persamaan-persamaan diatas, symbol dari besaran-besaran diatas adalah :

- BA = berat atom detektor keping
- A_b(t) = aktivitas terukur keeping terbuka
- R_{Cd} = nisbah Cadmium
- λ = tetapan peluruhan
- t_d, t_m dan t_i = waktu peluruhan, waktu pengukuran dan waktu iradiasi
- m = massa keeping detector
- N₀ = bilangan Avogadro
- σ_{th} = tampang lintang inti keping terhadap neutron thermal
- I_r = integral resonansi, diperoleh dari literature
- G_{th} = faktor perisai diri termal
- G_{epi} = factor perisai diri epitermal
- E₁ = energi batas bawah neutron epitermal = 0,5 eV
- E₂ = energi batas atas neutron epitermal = 0,1 MeV

Besarnya fluens neutron ditentukan dengan persamaan :

$$\text{Fluens} = \Phi.t \dots\dots\dots(3)$$

- Dimana : Φ = fluks neutron
- t = waktu (detik)

Kalibrasi Spektrometri- γ .

Spektrometri- γ adalah suatu metoda pengukuran yang bersifat nisbi (relatif), 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 satu saluran dengan nomor tertentu. Dengan demikian, nomor saluran penganalisis saluran ganda juga akan sebanding dengan energi sinar- γ .

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 ^{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 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- 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 :

$$\epsilon_{\text{gross}} = (\text{cps/dps}) \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

Dalam pengukuran spektrometri- γ , yang pengukurannya hanya ditujukan 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 :

$$\epsilon_{\text{spektrometri}} = \{\text{cps/dps} \times Y(E)\} \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

Hasil kali $Y(E) \cdot \text{dps}$ 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 :

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

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 diatas lebih tepat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$\epsilon(E) = \{\text{cps/dps} \cdot Y(E)\} \times 100\% \dots\dots\dots(6)$$

Apabila dilakukan pengukuran efisiensi dari tenaga rendah (<100KeV) 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.

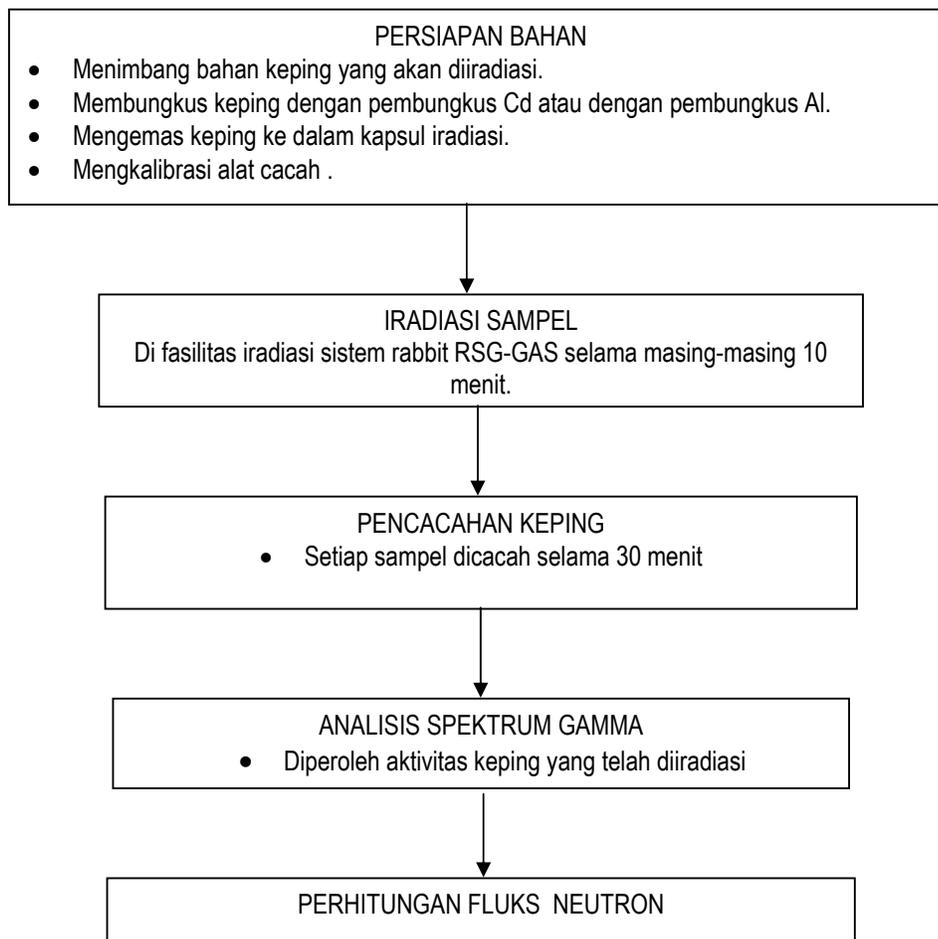
TATA KERJA

Tahapan pengukuran fluks neutron thermal dan epithermal yang dilakukan pada penelitian ini adalah :

1. Menimbang bahan keping emas yang akan diiradiasi.

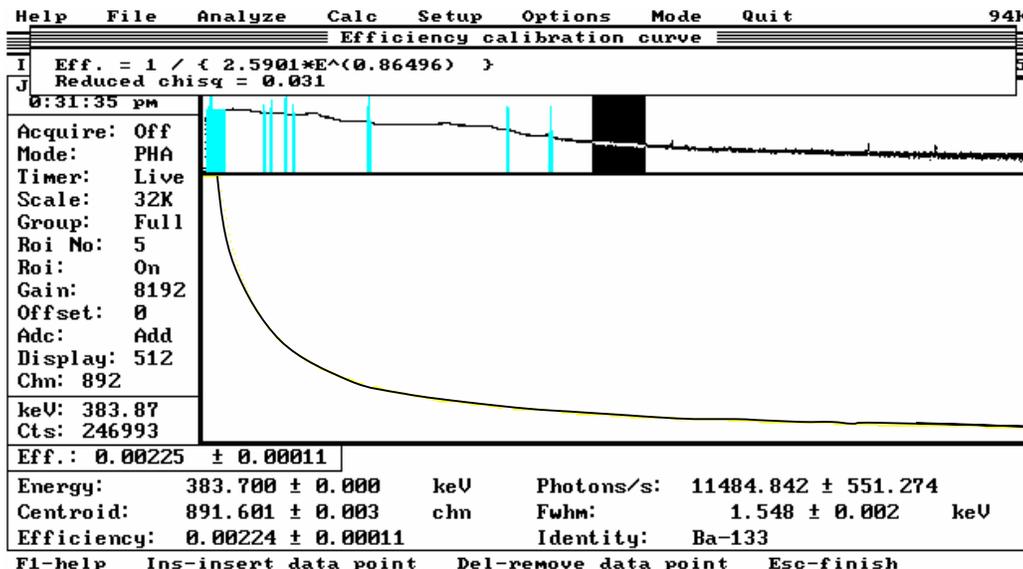
2. Membungkus keping emas dengan pembungkus Cd dan atau dengan pembungkus Al.
3. Mengemas keping emas ke dalam kapsul iradiasi.
4. Mengalibrasi alat cacah .
5. Iradiasi kapsul yang berisi keping emas di fasilitas iradiasi sistem rabbit RSG-GAS selama masing-masing 10 menit.
6. Pembongkaran keping emas dari kapsul.
7. Pencacahan keping emas selama masing-masing 30 menit.
8. Analisis spektrum gamma sehingga diperoleh aktivitas keping yang telah diiradiasi.
9. Perhitungan fluks neutron.

Gambar 1. SKEMA EKSPERIMEN EVALUASI FLUKS NEUTRON THERMAL DAN EPITHERMAL DI FASILITAS IRADIASI RABBIT SYSTEM

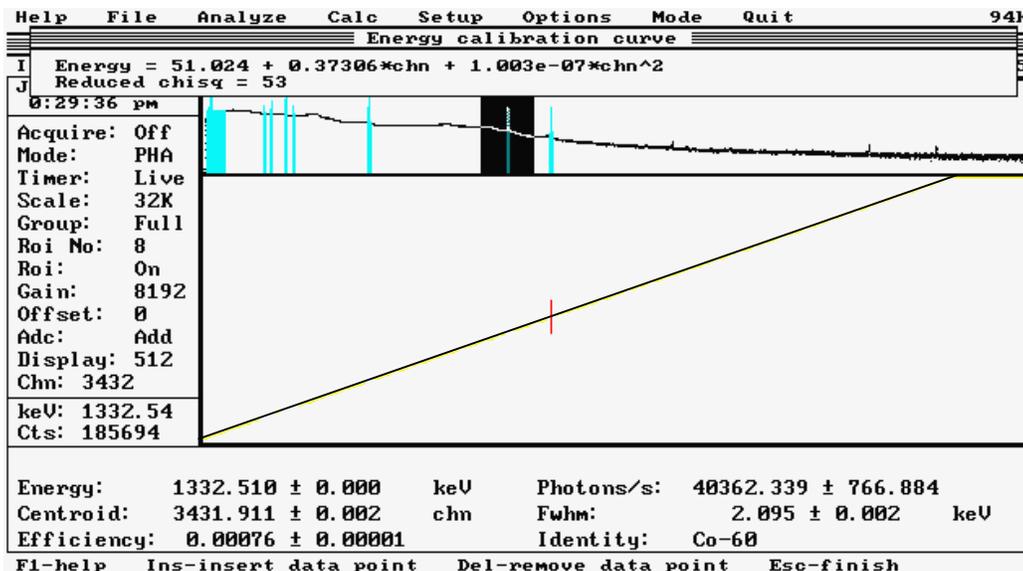


HASIL DAN PEMBAHASAN .

Dari kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 2. Kalibrasi efisiensi sinar gamma pada software GammaTrac



Gambar 3. Kalibrasi energi sinar gamma pada software GammaTrac

Oxford Instruments, Nuclear Measurements Group.
GammaTrac 1.22

```
+-----+
|           |
| FULL OUTPUT REPORT |
|           |
+-----+
```

Date and Time of report: Sep 16, 2005 1:40:31 pm

+-----+

| File data |

+-----+

file : d:\data\user\bety\kalbaco3.spm
description: KALBACO3

+-----+

| Sample data |

+-----+

Sample quantity : 0.000 ()
Sample acquisition at : 4:16:10 pm Aug 07, 2005
Sample preparation at : 12:00:00 pm Aug 01, 1987 (568613800
sec)
Sample irradiation at : 7:00:00 am Aug 01, 1987 (18000 sec)

+-----+

| Spectrum data |

+-----+

Spectrum live time : 36000 (sec)
Spectrum real time : 38631 (sec)
Preset live time : 36000 (sec)
Number of channels : 8192

+-----+

| Calibration data |

+-----+

Energy = 51.494 + 0.3725*chn + 2.3436e-07*chn^2
Fwhm = 1.4528 + 0.0006226*E - 4.5852e-08*E^2
(calibration file: bety01.cal, detector: bety01)
Eff. = 1 / { 7.8607*E^(0.70431) }
(efficiency file: bety01.eff)

+-----+

| peak search parameters |

+-----+

parameters file name : bety01.par
peak search sensitivity : 10.0
peak insertion sensitivity : 10.0
number of insertion passes : 0

start energy for search : beginning of spectrum
stop energy for search : end of spectrum
no. of background channels: 3

background peak subtraction is OFF

```

+-----+
| Matched peaks table |
+-----+
    
```

Peak no.	Energy (keV)	Net counts	Un-certainty	Critical level	Matched isotopes
4	80.888	7234303	5447	2184	Ba-133
8	276.402	1023392	2155	3130	Ba-133
9	302.841	2403595	2691	3619	Ba-133
10	355.981	6939830	3538	3885	Ba-133
11	383.806	926681	1895	2684	Ba-133
14	661.538	12208180	3985	3152	Cs-137
15	1173.256	1246602	1306	1114	Co-60
16	1332.653	1107372	1112	589	Co-60

```

+-----+
| Isotope activities table |
| units: Bq/ |
+-----+
    
```

Sample: KALBACO3
(% error is at the 1.0 sigma value)

Activities ARE corrected for isotope decay to 12:00:00 pm Aug 01, 1987

Isotope name	Average activity	error (%)	Decay factor	Energy (keV)	Activity for peak	Notes
Co-60	4.23e+05	0.1	9.35e-02	1332.50	4.11e+05	
				1173.24	4.23e+05	
Ba-133	4.9e+05	9.2	3.05e-01	356.02	5.02e+05	
				81.00	3.35e+05	
				302.85	5.25e+05	
				383.85	4.9e+05	
				276.40	5.36e+05	
Cs-137	4.59e+05	1.4	6.61e-01	661.66	4.59e+05	

Fluks neutron thermal dan epithermal dihitung berdasarkan persamaan (1) dan (2).

Hasil pengukuran fluks neutron thermal dan epithermal diposisi iradiasi Rabbit di RS-1, RS-2, RS-3 dan RS-4 pada teras ke 54 (tabel.1) menunjukkan hasil yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan hasil pengukuran fluks neutron yang telah dilakukan pada teras ke 3 (tabel. 2). Perbedaan hasil pengukuran ini disebabkan oleh karena perubahan konfigurasi susunan teras. Selain itu juga disebabkan oleh perubahan pemakaian jenis bahan bakar, dari bahan bakar jenis U_3O_8 -Al menjadi U_3Si_2 -Al yang mempunyai keunggulan mempunyai densitas yang lebih tinggi dan angka muat yang lebih tinggi, sehingga tingkat fraksi bakarnya dapat ditingkatkan.

Dengan meningkatnya tingkat fraksi bakar ini maka fluks neutron yang dihasilkan juga lebih tinggi.

Pada pengukuran ini menunjukkan penyimpangan nilai sebesar 12,6%. Penyimpangan ini disebabkan oleh akumulasi kesalahan dari : penimbangan sampel, preparasi, kalibrasi energi dan pencacahan.

Tabel 1. Hasil pengukuran fluks neutron thermal dan epithermal di fasilitas Rabbit Sistem pada teras ke 54.

No.	Nama keping	Berat keping (gr)	Pembungkus	Posisi Iradiasi	Aktivitas per gram	Deviasi (%)	Fluks neutron Thermal ($n/cm^2.s$)	Fluks neutron Epithermal ($n/cm^2.s$)
1	Au ₁	0,0211	Al	RS-1	5.6E+07	12.6	4.86E+13	3.59E+13
2	Au ₂	0,0214	Cd	RS-1	1.55E+07	12.6		
3	Au ₃	0,0211	Al	RS-2	6.12E+07	12.6	5.10E+13	4.33E+13
4	Au ₄	0,0212	Cd	RS-2	1.87E+07	12.6		
5	Au ₅	0,0211	Al	RS-3	6.4E+07	12.6	5.45E+13	4.30E+13
6	Au ₆	0,0210	Cd	RS-3	1.86E+07	1.9		
7	Au ₇	0,0212	Al	RS-4	6.63E+07	12.6	5.45E+13	4.84E+13
8	Au ₈	0,0207	Cd	RS-4	2.09E+07	12.6		

Tabel.2. Hasil pengukuran fluks neutron termal dan epitermal di fasilitas iradiasi Rabbit sistem pada teras 3.

Posisi	Fluks neutron epitermal pada 0,1 MW	Fluks neutron thermal pada 0,1 MW	Fluks neutron epitermal pada 15 MW	Fluks neutron thermal pada 15 MW
RS-1	3.51E+09	5.36E+10	5.27E+11	8.04E+12
RS-2	4.81E+09	5.93E+10	7.22E+11	8.89E+12
RS-3	4.69E+09	7.17E+10	7.04E+11	1.08E+13
RS-4	6.07E+09	1.08E+11	9.11E+11	1.63E+13

KESIMPULAN

Besarnya fluks neutron thermal dan epithermal di fasilitas iradiasi rabbit sistem dipengaruhi oleh konfigurasi teras reaktor dan jenis bahan bakar. Makin besar tingkat muat dan densitas bahan bakar, fluks neutron akan semakin besar.

DAFTAR ACUAN.

1. Amir Hamzah, “ Pengukuran reaktifitas dan fluks neutron pada elemen bakar silisida teras RSG-GAS”, Prosiding seminar hasil penelitian P2TRR tahun 1999/2000.
2. Amir Hamzah dkk, “ Pengukuran Distribusi Fluks Neutron di RSG-GAS”, Laporan penelitian tahun 1996/1997.
3. Amir Hamzah , “ Penentuan Fluens Neutron di Posisi Iradiasi Teras Reaktor RSG G.A. Siwabessy”, Prosiding Seminar Hasil Penelitian P2TRR tahun 2004.