



## EVALUASI FLUKS NEUTRON TERMAL DI FASILITAS IRADIASI SISTEM RABBIT RSG G.A. SIWABESSY

Jaka Iman, Saleh Hartaman, Ariyawan Sunardi, Royadi  
*Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN, Kawasan Puspipptek Serpong, Tangerang*

### ABSTRAK

**EVALUASI FLUKS NEUTRON TERMAL DI FASILITAS IRADIASI SISTEM RABBIT.** Sistem rabbit merupakan salah satu fasilitas iradiasi di RSG-GAS yang digunakan untuk iradiasi sampel baik untuk keperluan analisis maupun untuk keperluan produksi radioisotop. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui adanya perubahan fluks neutron termal karena bergantinya konfigurasi teras. Telah dilakukan evaluasi fluks neutron termal di fasilitas iradiasi sistem rabbit dengan metode aktivasi keping Au-Al baik yang dibungkus cadmium maupun tidak. Keping Au-Al diiradiasi selama 10 menit dan setelah peluruhan 2 hari, keping dicacah selama masing-masing 1000 detik dan kemudian dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak Gamma Trac. Dari hasil analisis diperoleh fluks neutron termal di fasilitas iradiasi RS-1 =  $4,07 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>.s., RS-2 =  $4,66 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>.s., RS-3 =  $4,66 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>.s., RS-4 =  $2,39 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>.s. Dengan penelitian ini telah diperoleh data fluks neutron termal yang akurat untuk mendukung penelitian analisa aktivasi neutron, produksi radioisotop dan penelitian lain.

**Kata kunci:** Sistem Rabbit

### ABSTRACT

**THERMAL NEUTRON FLUX EVALUATION ON RABBIT SYSTEM IRRADIATION FACILITY.** Rabbit system facility is one of the irradiation facility at RSG-GAS reactor that used for sample irradiation for analysis and for radioisotope production. Evaluation of thermal neutron flux at rabbit system irradiation facility has been done with activation method of Au-Al alloy foils that wrapped by Cd or not. Au-Al alloy foils irradiate for 10 minutes, and after 2 days delayed foils has been counting for 1000 seconds then analyzed by Gamma Trac software. The results founds at the RS-1 thermal neutron flux value is  $4,07 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>.s., RS-2 is  $4,66 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>.s., RS-3 is  $4,66 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>.s., and RS-4 is  $2,39 \times 10^{13}$  n/cm<sup>2</sup>.s. By this research the accurate data of thermal neutron flux had found to support the research neutron activation analysis, radioisotope production and the other research.

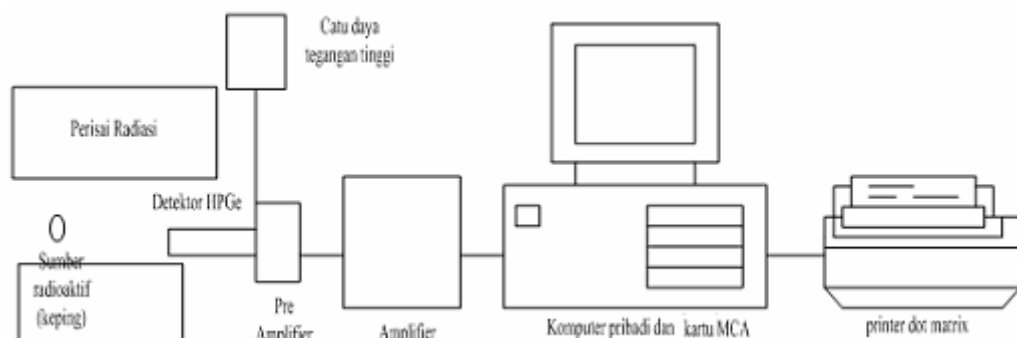
**Keyword :** Rabbit System

### 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. 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.

Sebelumnya telah dilakukan pengukuran fluks neutron termal di fasilitas sistem rabbit, namun dengan berjalannya waktu dan bergantinya konfigurasi teras perlu dilakukan pengukuran ulang, untuk mengevaluasi adanya perubahan fluks neutron termal tersebut.



Gambar 1. Rangkaian peralatan sistem spektrometri gamma

Metode yang digunakan adalah metode aktivasi keping emas baik yang dibungkus cadmium dan dibungkus aluminium. 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.

### 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 1.

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. Dalam hal ini penentuan fluks neutron menjadi agak sulit. Maka untuk mengukur fluks neutron termal digunakan dua keping dengan pembungkus cadmium pada salah satu keping tersebut.

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

cadmium dan aktivitas keping yang dibungkus cadmium merupakan aktivitas yang disebabkan hanya oleh neutron termal.

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

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

dimana :

- BA= berat atom detektor keping
- $A_b(t)$  = aktivitas terukur keping terbuka
- = tetapan peluruhan
- $t_d$  = waktu peluruhan
- $t_m$  = waktu pengukuran
- $t_i$  = waktu iradiasi
- m = massa keping
- $N_o$  = bilangan Avogadro
- $\sigma_{th}$  = tampang lintang inti keping terhadap neutron termal

### Kalibrasi Spektrometri- $\gamma$

Spektrometri- $\gamma$  adalah suatu metoda pengukuran yang bersifat nisbi (*relative*), sehingga sebelum suatu perangkat Spektrometri- $\gamma$  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- $\gamma$  dengan detektor akan menghasilkan signal pulsa, dimana tinggi pulsa tersebut akan sebanding dengan tenaga sinar- $\gamma$  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- $\gamma$ .

Untuk suatu perangkat Spektrometri- $\gamma$  dan satu setting kondisi kerja (tegangan tinggi, penguat dan lainnya) perlu dicari hubungan antara nomor



**PROSIDING SEMINAR**  
**PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR**  
**Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan**  
**Yogyakarta, 6 Oktober 2009**

saluran dan energi. Hal ini dilakukan dengan jalan mencacah beberapa sumber radioaktif standar, yaitu sumber yang sudah diketahui tenaganya dengan cepat. Misalnya sumber standar  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , dan  $^{60}\text{Co}$  yang dicacah secara bersamaan. Apabila dibuat plot tenaga sinar- $\gamma$  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- $\gamma$  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) 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- $\gamma$  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 :

$$\varepsilon_{\text{gross}} = \left( \frac{\text{cps}}{\text{dps}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

Dalam pengukuran spektrometri- $\gamma$ , 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 :

$$\varepsilon_{\text{spektrometri}} = \left[ \frac{\text{cps}}{\text{dps}} \times Y(E) \right] \times 100\% \quad (3)$$

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- $\gamma$  dan membaginya dengan waktu pencacahan (dalam detik) yang dituliskan dalam persamaan :

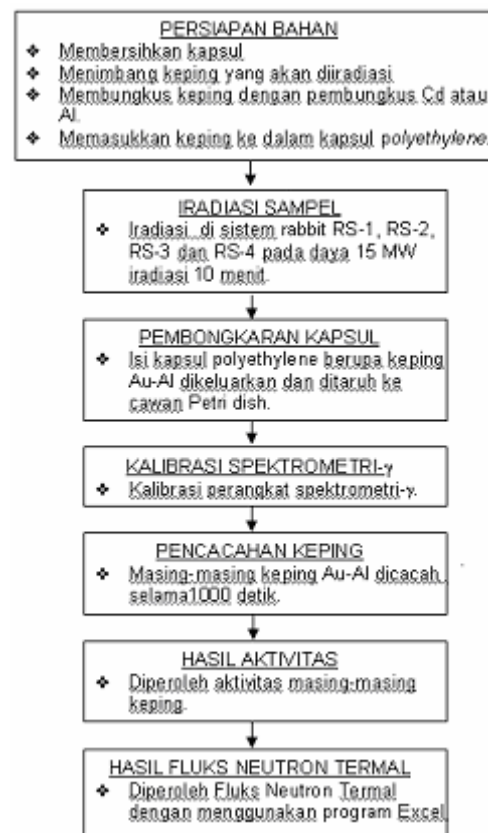
$$\text{cps} = \frac{\text{luas puncak serapan total (cacah)}}{\text{waktu pencacahan (detik)}} \quad (4)$$

Luas puncak serapan total adalah jumlah cacah yang terkandung dalam suatu puncak- $\gamma$ . 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,  $\varepsilon(E)$  sehingga persamaan diatas lebih tepat dituliskan dalam bentuk persamaan :

$$\varepsilon(E) = \left[ \frac{\text{cps}}{\text{dps}} \times Y(E) \right] \times 100\% \quad (5)$$

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



Gambar 2. Skema penelitian evaluasi pengukuran fluks neutron termal di fasilitas iradiasi sistem rabbit.



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

Kapsul polyethylene sebelum diiradiasi, dibersihkan terlebih dahulu dari kotoran atau debu yang menempel pada permukaan kapsul.

Keping-keping Au-Al yang akan digunakan ditimbang beratnya, selanjutnya sebagian Au-Al tersebut dibungkus dengan Cd dan lainnya dengan Al.

Masukkan 1 buah keping Au-Al yang telah terbungkus Al dan 1 buah keping Au-Al terbungkus Cd ke dalam kapsul polyethylene.

Iradiasi kapsul polyethylene yang telah terisi keping Au-Al pada sistem rabbit RS-1, RS-2, RS-3, dan RS-4 pada daya 15 MW selama 10 menit.

Setelah meluruh selama 2 hari, kapsul polyethylene dibongkar dan dikeluarkan keping-

#### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi diperoleh hasil sebagai berikut :

Oxford Instruments, Nuclear Measurements Group.  
GammaTrac

FULL OUTPUT REPORT

Time and date of report: Aug 24, 2009 00:06:10 am

#### File data

file : c:\gt\rs68\kalrs68.spm  
description: Ba,Cs,Co

#### Sample data

Sample quantity : 0.000 (u)  
Sample acquisition at : 4:00:59 pm Aug 05, 2009  
Sample preparation at : 12:00:00 pm Aug 01, 1987 (694670500 sec)  
Sample irradiation at : 7:00:00 am Aug 01, 1987 ( 18000 sec)

#### Spectrum data

Spectrum live time : 7200 (sec)  
Spectrum real time : 7544 (sec)  
Preset live time : 7200 (sec)  
Number of channels : 8192

#### Calibration data

Energy = 47.877 + 0.37375\*chn + 1.6611e-07\*chn^2  
Fwhm = 1.2615 + 0.00055081\*E + 1.0189e-08\*E^2  
(calibration file: kalrs68.cal, detector: Kalrs68)



**PROSIDING SEMINAR  
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR  
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan  
Yogyakarta, 6 Oktober 2009**

Eff. = 1 / { 2.0915\*E^(0.94658) }  
(efficiency file: kalrs68.eff)

peak search parameters

```
parameters file name      : kalpaz.par
peak search sensitivity   : 5.0
peak insertion sensitivity : 2.0
number of insertion passes : 10
start energy for search   : beginning of spectrum
stop energy for search    : end of spectrum
no. of background channels: 3
background peak subtraction is OFF
```

library search parameters

```
parameters file name      : kalpaz.par
Isotope library           : nuclib.til
Match tolerance           : 2.00 (keV)
Gamma fraction tolerance : 0.50
Decay tolerance           : 5.00
```

Isotope activities table  
units: Bq/u

(% error is at the 1.0 sigma value)

Systematic calibration error: 0.0 %  
Activities are corrected for isotope decay

Isotope name	Average activity	error (%)	Decay factor	Energy (keV)	Activity for peak	Notes
Ti-44	1.45e+03	42.9	7.24e-01	78.38	1.45e+03	
Co-60	4.22e+05	0.6	5.53e-02	1332.51 1173.23	4.15e+05 4.22e+05	
Ba-133	4.99e+05	11.0	2.35e-01	355.86 81.01 302.71 383.70 276.29 79.59	5e+05 3.9e+05 5.19e+05 ident 5.3e+05 ident	
Cs-137	4.3e+05	0.8	6.02e-01	661.62	4.3e+05	
Eu-155	2.08e+04	47.1	4.05e-02	86.54 105.31	interf.pk. 2.46e+04	intrf a: 1/2
Ac-227	3.65e+05	45.6	4.96e-01	100.00 70.00	interf.pk. 3.64e+05	intrf b: 1/2
Th-229	1.91e+03	30.9	9.98e-01	88.48 85.44 100.00 86.44	1.75e+03 1.81e+04 interf.pk. 1.81e+04	intrf b: 2/2
Np-237	3e+03	58.8	1.00e+00	86.49 95.87	interf.pk. 1.12e+04	intrf a: 2/2

Dari hasil pencacahan keping-keping Au-Al diperoleh hasil sebagai berikut :

**PROSIDING SEMINAR  
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR  
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan  
Yogyakarta, 6 Oktober 2009**



Oxford Instruments, Nuclear Measurements Group.  
GammaTrac

FULL OUTPUT REPORT

Time and date of report: Aug 07, 2009 10:27:34 am

File data

file : c:\gt\rs68\rs1aual.spm  
description: RS-1 AU-AL COVER AL

Sample data

Sample quantity : 0.036 (GR)  
Sample acquisition at : 2:32:29 pm Aug 05, 2009  
Sample preparation at : 2:48:00 pm Aug 03, 2009 ( 171869 sec)  
Sample irradiation at : 2:38:00 pm Aug 03, 2009 ( 600 sec)

Spectrum data

Spectrum live time : 1050 (sec)  
Spectrum real time : 1158 (sec)  
Preset real time : 1000000 (sec)  
Number of channels : 8192

Calibration data

Energy = 47.877 + 0.37375\*chn + 1.6611e-07\*chn^2  
Fwhm = 1.2615 + 0.00055081\*E + 1.0189e-08\*E^2  
(calibration file: KALRS68.cal, detector: KALRS68)  
Eff. = 1 / { 2.0915\*E^(0.94658) }  
(efficiency file: KALRS68.eff)

peak search parameters

parameters file name : kalrs68.par  
peak search sensitivity : 5.0  
peak insertion sensitivity : 2.0  
number of insertion passes : 10

Isotope activities table  
units: Bq/GR

(% error is at the 1.0 sigma value)

Systematic calibration error: 0.0 %  
Activities are corrected for isotope decay

Isotope name	Average activity	error (%)	Decay factor	Energy (keV)	Activity for peak	Notes
Na-24	3.3e+05	9.6	1.03e-01	1368.55	3.3e+05	
Ti-44	6.83e+04	43.0	1.00e+00	78.38	6.83e+04	
Cd-109	5.08e+05	100.0	9.97e-01	88.04	interf.pk.	share a: 1/9
Xe-133	2.46e+05	100.0	7.68e-01	81.00	interf.pk.	share a: 2/9
Pm-145	1.4e+06	100.0	1.00e+00	72.40	interf.pk.	share a: 3/9
Nd-147	6.4e+04	47.6	8.81e-01	91.10	6.4e+04	
Eu-155	6.55e+04	100.0	9.99e-01	86.54	interf.pk.	share a: 4/9
Ho-166	3.91e+06	100.0	2.89e-01	80.57	interf.pk.	share a: 5/9
Au-198	4.64e+07	12.6	5.98e-01	411.80 675.88	4.64e+07 ident	



**PROSIDING SEMINAR  
PENELITIAN DAN PENGELOLAAN PERANGKAT NUKLIR  
Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan  
Yogyakarta, 6 Oktober 2009**

Tl-201	6.72e+05	100.0	6.36e-01	70.82 interf.pk. 80.20 interf.pk. 82.50 interf.pk.	share a: 6/9
Pb-203	4.84e+05	100.0	5.28e-01	72.87 interf.pk. 70.83 interf.pk. 82.50 interf.pk. 84.90 interf.pk.	share a: 7/9
Th-228	2.58e+06	100.0	9.98e-01	84.40 interf.pk.	share b: 1/2
Th-229	3.19e+05	100.0	1.00e+00	88.48 interf.pk. 85.44 interf.pk. 86.44 interf.pk.	share a: 8/9
Th-231	1.41e+06	100.0	2.72e-01	84.21 interf.pk.	share b: 2/2
Th-234	1.39e+05	249.7	9.44e-01	92.38 1.4e+05 92.80 1.4e+05	
Np-237	8.33e+04	41.9	1.00e+00	86.49 interf.pk. 95.87 8.01e+04	share a: 9/9

Tabel 1. Hasil pengukuran fluks neutron termal di fasilitas iradiasi sistem rabbit teras 68.

No	Nama keping	Posisi iradiasi	Pem bung kus	Berat keping (gr)	Aktivitas per gram	Deviasi (%)	Fluks neutron termal (n/cm <sup>2</sup> .det.)
1.	Au-A11	RS-1	Al	0.0358	4,64E+07	12,6	4,07E+13
2.	Au-A12	RS-1	Cd	0.0339	1,31E+07	12,6	
3.	Au-A13	RS-2	Al	0.0402	5,37E+07	12,6	4,66E+13
4.	Au-A14	RS-2	Cd	0.0302	1,59E+07	12,6	
5.	Au-A15	RS-3	Al	0.0352	5,76E+07	12,6	4,66E+13
6.	Au-A16	RS-3	Cd	0.0346	1,94E+07	12,6	
7.	Au-A17	RS-4	Al	0.0353	3,85E+07	12,6	2,39E+13
8.	Au-A18	RS-4	Cd	0.0351	1,91E+07	12,6	

Dengan menggunakan rumus yang telah ditulis diatas, maka diperoleh data fluks neutron termal seperti tertera dalam tabel 1.

Dari hasil pengukuran fluks neutron termal di fasilitas iradiasi sistem rabbit diatas dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan pengukuran fluks neutron termal pada posisi RS-1 dan RS-4. Sedangkan di posisi RS-2 dan RS-3 fluks neutron termalnya sama. Hal ini disebabkan karena perbedaan posisi dari pusat teras reaktor.

### KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran fluks neutron termal di fasilitas iradiasi sistem rabbit diatas dapat disimpulkan bahwa untuk mengiradiasi cuplikan membutuhkan fluks neutron termal yang lebih besar, maka posisi RS-2 dan RS-3 mempunyai fluks neutron yang sama besar sedangkan di posisi RS-1 dan RS-4 mempunyai fluks neutron termal lebih rendah.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada semua pihak baik langsung maupun tidak langsung atas

terselesainya makalah ini. Ucapan terima kasih tersebut terutama disampaikan kepada Ka.Sub.Bid. Perencanaan Operasi dan para staf, operator dan supervisor reaktor Sub.Bid. Pelaksanaan Operasi, dan staf Sub.Bid. Pelayanan Iradiasi dalam iradiasi keping di sistem rabbit.

### DAFTAR PUSTAKA

1. ANONIM, *Manual Operation Gamma Trac*, 1989
2. WISNU SUSETYO, *Spektrometer Gamma dan Penerapannya dalam Analisis Pengaktifan Neutron*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, 1996.
3. AMIR HAMZAH dkk, "Pengukuran Distribusi Fluks Neutron di RSG-GAS", Laporan Penelitian tahun 1996/1997.
4. SUWOTO dkk, "Evaluasi Fluks Neutron Thermal dan Epithermal di Fasilitas Iradiasi Rabbit Sistem, Prosiding Hasil Penelitian P2TRR, Tahun 2005.