
EVALUASI FLUKS NEUTRON CEPAT DI FASILITAS IRADIASI SISTEM RABBIT RSG-GAS

Elisabeth Ratnawati, Amir Hamzah, Jaka Iman
Pusat Pengembangan Teknologi Reaktor Riset - BATAN

ABSTRAK

EVALUASI FLUKS NEUTRON CEPAT DI FASILITAS IRADIASI RABBIT SYSTEM. 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 iradiasi ini dapat digunakan untuk iradiasi sampel dengan waktu paruh pendek maupun panjang. Teknik analisa aktivasi neutron yang menggunakan fasilitas Sistem Rabbit didasarkan pada reaksi panangkapan neutron thermal oleh inti sasaran. Tetapi pada kenyataannya, ada beberapa jenis unsur yang juga sensitive terhadap neutron cepat, misalnya Zr, Ti, Ni, dll. Pada penelitian ini diukur fluks neutron cepat dengan menggunakan keping Ni, karena keping Ni memiliki akurasi yang tinggi untuk mengukur fluks Neutron cepat dibanding dengan keping Ti dan Zr. Metoda yang diterapkan dalam pengukuran adalah metoda aktivasi keping Ni pada posisi RS1, RS2, RS3 dan RS4. Hasil yang diperoleh adalah, fluks neutron cepat pada RS1 sebesar $2.15E+12$, RS2 sebesar $2.17E+12$, RS3 sebesar $3.93E+12$ dan RS4 sebesar $4.63E+12$. Dengan penelitian ini telah diperoleh data fluks neutron cepat yang akurat untuk mendukung penelitian analisa aktivasi neutron, produksi radioisotop dan penelitian lain.

ABSTRACT

FAST NEUTRON FLUX EVALUATION ON RABBIT SYSTEM IRRADIATION FACILITY. Rabbit system irradiation facility is one of the facility wich use for radioisotope production or research by using neutron activation analysis technique. This irradiation facility can be use for irradiated of sample with short or long half life. The neutron activation analysis technique wich using rabbit system facility base on the thermal neutron capture reaction by the target nucleus. But the really, the are several kinds of elements wich sensitipe to past neutron, for example: Zr, Ti, Ni etc. In this research the past neutron flux measured by using Ni foil, because of the Ni foil have high acuration prestition comparing to Ti and Zr. The methode applicated in this measure is Ni foil activated in the RS1, RS2, RS3 and RS4 position. The result fouds, at the RS1 neutron flux value is $2.15E+12$, RS2 is $2.17E+12$, RS3 is $3.93E+12$ and RS4 is $4.63E+12$. By this research the accurate data of past neutron fluxs had found to support the research neutron activation analysis, radioisotope production and the other research.

PENDAHULUAN

Fasilitas iradiasi *Rabbit System* 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 *Rabbit System* 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.

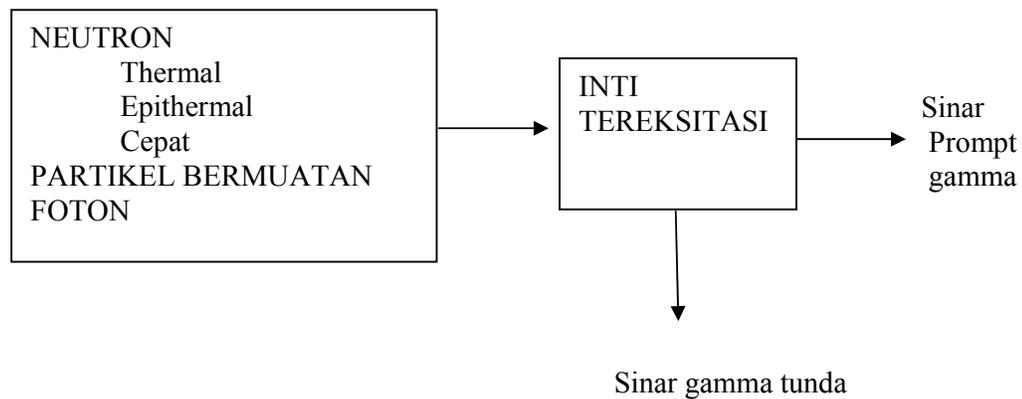
Teknik analisa aktivasi neutron yang menggunakan fasilitas *Rabbit System* didasarkan pada reaksi panangkapan neutron thermal oleh inti sasaran. Tetapi pada kenyataannya, ada beberapa jenis unsur yang juga sensitive terhadap neutron cepat, misalnya Zr, Ti, Ni, dll.. Metoda yang diterapkan dalam pengukuran adalah metoda aktivasi keeping Ni, karena pengukuran fluks neutron cepat lebih baik menggunakan keping nikel dibanding keping Ti maupun Zr. Dengan melakukan evaluasi ini diharapkan akan diperoleh data fluks neutron cepat yang akurat untuk mendukung penelitian analisa aktivasi neutron, produksi radioisotop dan penelitian lain yang berkaitan.

TEORI

1. Reaksi Aktivasi

Yang dimaksud dengan reaksi aktivasi neutron adalah iradiasi suatu inti dengan neutron untuk menghasilkan unsur radioaktif yang biasanya disebut juga sebagai radionuklida. Jumlah radionuklida yang dihasilkan akan sangat bergantung pada jumlah inti target. Jumlah neutron yang diterima oleh inti target, waktu iradiasi, jenis inti dalam target dan faktor tampang lintang reaksi serta waktu paro spesi radioaktif yang terbentuk. Spesi radioaktif yang terbentuk akan meluruh terhadap perubahan waktu dengan skema peluruhan yang karakteristik. Hal ini berarti distribusi hasil iradiasi akan dipengaruhi oleh waktu peluruhan. Energi neutron di teras reaktor yang tidak seragam akan mengakibatkan terjadinya lebih dari satu jenis hasil reaksi. Dengan demikian akan terjadi pula kemungkinan reaksi gangguan dalam pembentukan produk yang sama.

Teknik aktivasi nuklir merupakan teknik analisis yang memanfaatkan berkas neutron, partikel bermuatan atau foton, yang masing-masing dihasilkan oleh suatu reaktor,, siklotron, atau sejenisnya. Gambar 1. menunjukkan berbagai cara untuk menghasilkan radionuklida melalui teknik aktivasi yang melibatkan penggunaan neutron, umumnya melibatkan penggunaan berbagai jenis neutron yang berlangsung dalam suatu fasilitas nuklir, khususnya reaktor.

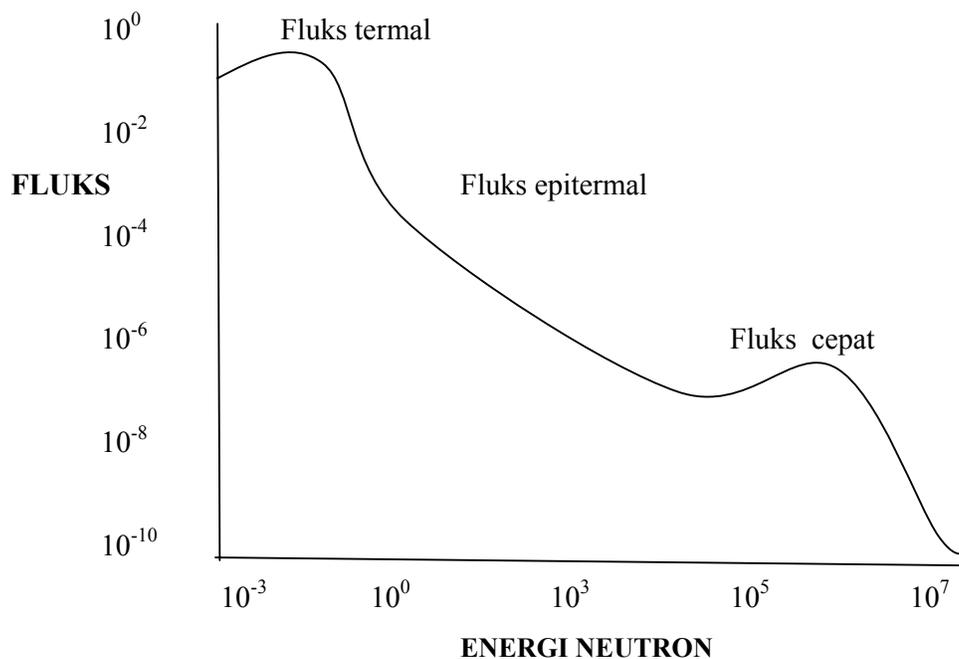


Gambar 1. Diagram Aktivasi Neutron

Besaran yang menyatakan cacah neutron yang melalui satu luasan sebesar 1 cm^2 tiap sekon disebut fluks neutron. Ditinjau dari tenaga yang dimilikinya, neutron dapat digolongkan menjadi :

1. Neutron cepat : mempunyai tenaga di atas $0,1 \text{ MeV}$, $> 0,5 \text{ MeV}$
2. Neutron epithermal : mempunyai tenaga antara $0,2 \text{ eV} - 0,1 \text{ MeV} - 0,5 \text{ MeV}$
3. Neutron thermal : mempunyai tenaga di bawah $0,2 \text{ eV}$

Neutron termal adalah neutron yang berada dalam kesetimbangan termal dengan atom-atom moderator. Distribusi energi dari neutron termal adalah Maxwellian, dengan besar kemungkinan kecepataannya, n_0 , adalah 2200 m/det pada temperatur 20°C yang berkolerasi dengan energi sebesar $0,025 \text{ eV}$. Gambar 2 menunjukkan karakteristik distribusi neutron termal, neutron epitermal dan neutron cepat sebagai fungsi dari perubahan energi neutron.



Gambar 2 : Distribusi neutron thermal, epithermal, dan cepat sebagai fungsi dari perubahan energi neutron

Besarnya fluks neutron cepat berdasarkan aktivitas keping terukur ditentukan dengan persamaan :

$$\Phi = \frac{BA.A_b(t).e^{\lambda t_d}.t_m}{m.N_o.\sigma_f.(1-e^{-\lambda t_i}).(1-e^{-\lambda t_m})} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana :

- BA = berat atom detektor keping
- $A_b(t)$ = aktivitas terukur keping terbuka
- λ = tetapan peluruhan
- t_d, t_m, t_i = waktu peluruhan, waktu pengukuran, dan waktu iradiasi
- m = massa keping detektor
- N_o = bilangan Avogadro
- σ_f = tampang lintang inti keping terhadap neutron cepat

2. 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 suatu 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.

3. Kalibrasi Efisiensi

Kalibrasi efisiensi dibutuhkan untuk analisis kuantitatif. Suatu sumber radioaktif selalu memancarkan sinar radioaktif ke segala arah. Biasanya cuplikan radiaktif 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 aktifitas. 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 satu 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 :

$$\epsilon_{\text{gross}} = (\text{cps/dps}) \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

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 :

$$\epsilon_{\text{spektrometri}} = \{\text{cps/dps} \times Y(E)\} \times 100\% \dots\dots\dots(3)$$

Hasil kali $Y(E) \cdot \text{dps}$ disebut laju emisi atau nilai emisi foton. Efisiensi yang didefinisikan dalam persamaan di atas 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 :

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

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 di atas lebih tepat dituliskan dalam bentuk persamaan :

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

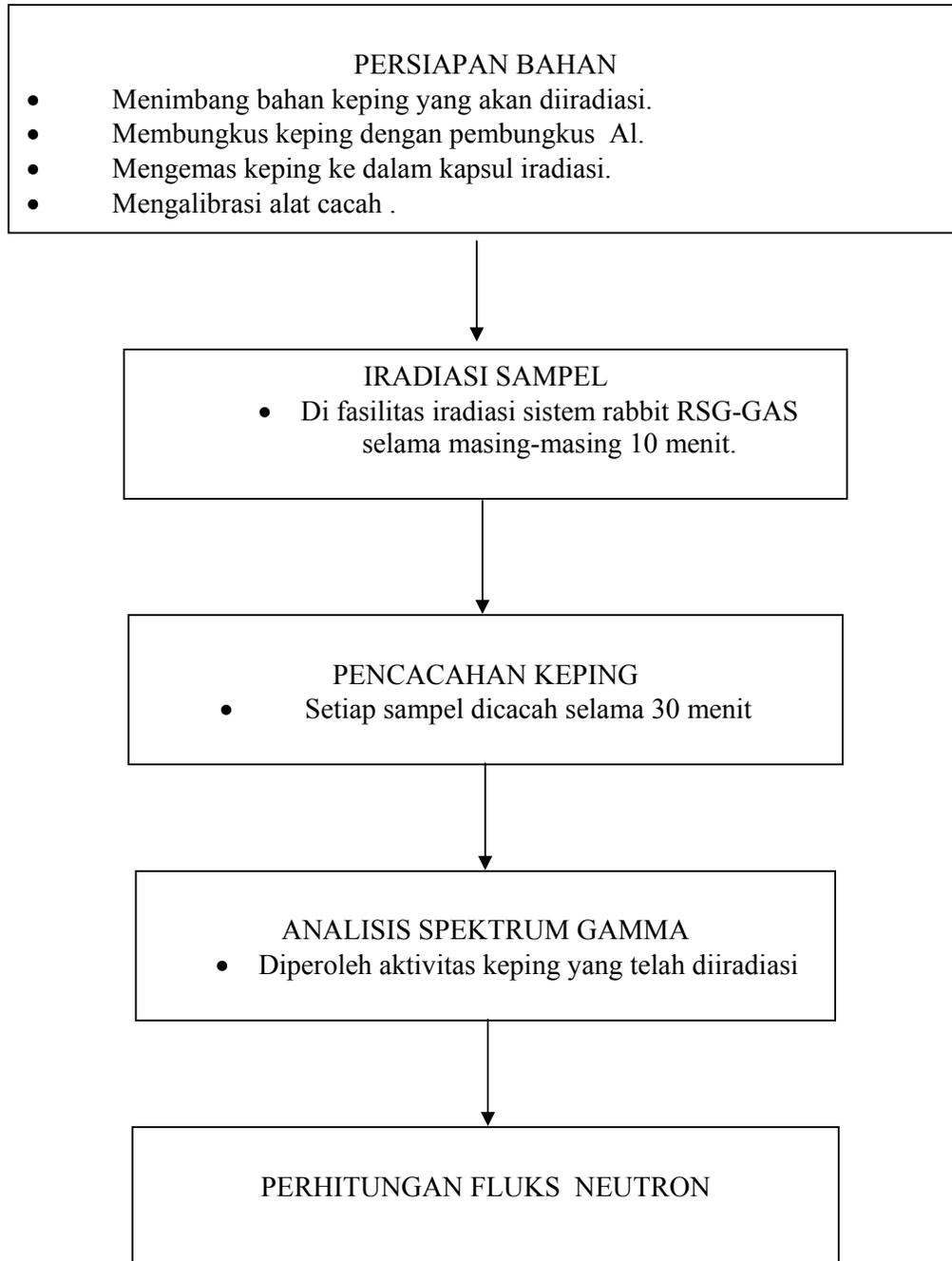
Apabila dilakukan pengukuran efisiensi dari tenaga rendah (<100KeV) sampai ke tenaga yang cukup tinggi (misal 1500 KeV) dengan menggunakan sumber standar, maka dapat dibuat plot efisiensi versus tenaga. Plot semacam ini disebut sebagai kurva kalibrasi efisiensi.

TATA KERJA

Tahapan pengukuran fluks neutron cepat yang dilakukan pada tulisan ini adalah sebagai berikut :

1. Persiapan bahan keping dan pengemasan keping ke dalam kapsul.

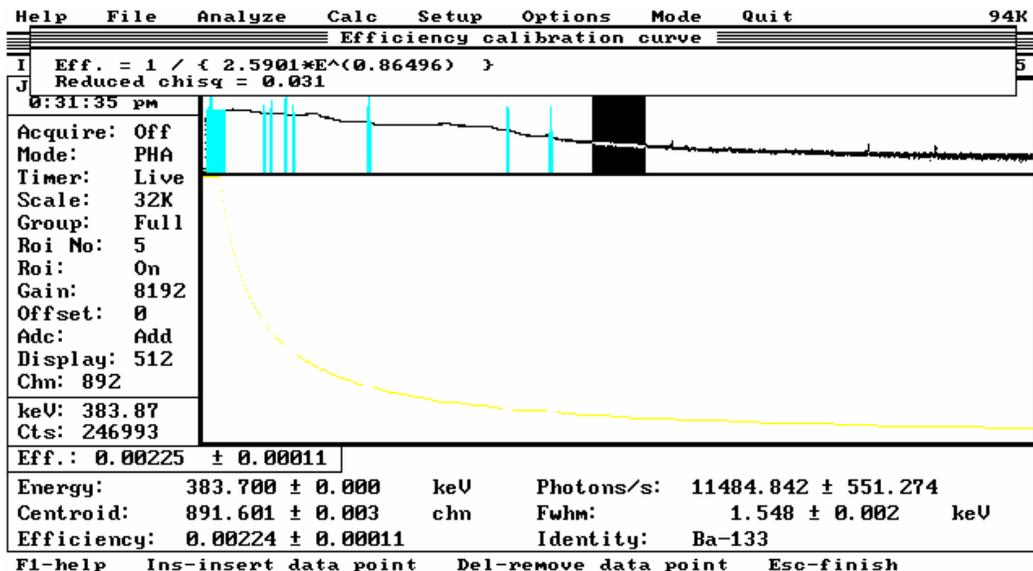
2. Kalibrasi peralatan pengukuran aktivasi keping aktif.
3. Iradiasi keping di fasilitas sistem rabbit reaktor RSG GA Siwabessy.
4. Pembongkaran keping dari dari kapsul.
5. Pencacahan dan analisis spektrum gamma sehingga diperoleh aktivitas keping yang telah di iradiasi.
6. Perhitungan fluks neutron.



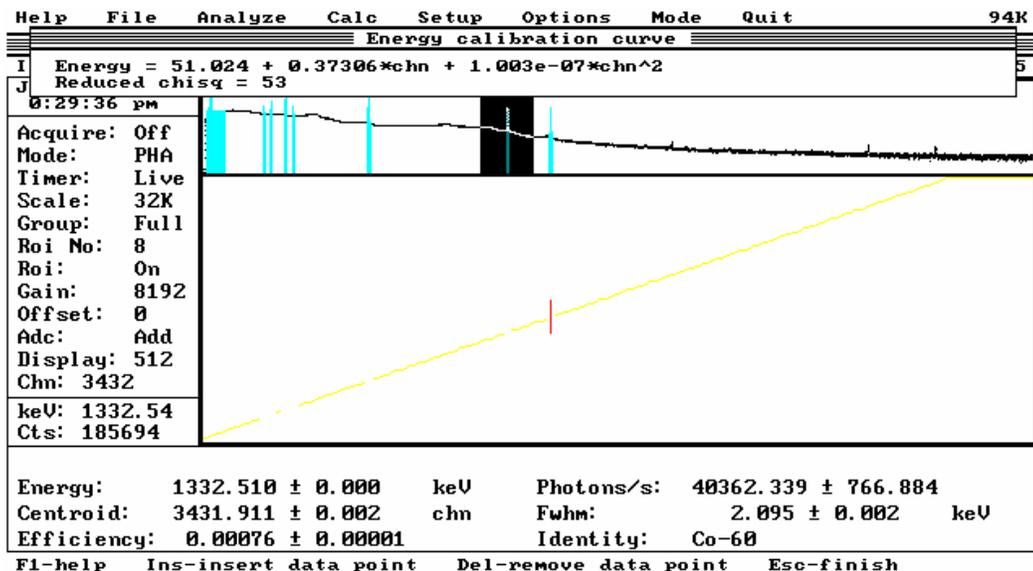
SKEMA EKSPERIMEN EVALUASI FLUKS NEUTRON CEPAT DI FASILITAS IRADIASI RABBIT SYSTEM

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi diperoleh hasil sebagai berikut :



Gambar 3. Kalibrasi efisiensi sinar gamma pada software GammaTrac



Gambar 4. 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	

Dari hasil iradasi keping Ni didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil iradasi keping Ni di sistem Rabbit RSG-GAS

No	Nama keping	Berat keping (gr)	Pembungkus	Posisi Iradasi	Lama iradasi (menit)	Lama pencacahan (menit)	Aktivitas (bq)
1	Ni ₁	0,2842	Al	RS-1	10	30	1.17E+05
2	Ni ₂	0,2846	Al	RS-2	10	30	1.18E+05
3	Ni ₃	0,284	Al	RS-3	10	30	2.14E+05
4	Ni ₄	0,2844	Al	RS-4	10	30	2.52E+05

Dari tabel 1 di atas, dengan menggunakan rumus yang telah ditulis dalam teori, diperoleh data fluks neutron seperti yang tercantum dalam tabel berikut ini:

Tabel 2. Hasil pengukuran fluks neutron cepat di sistem Rabbit RSG-GAS

No	Nama keping	Berat keping (gr)	Pembungkus	Posisi Iradasi	Lama iradasi (menit)	Lama pencacahan (menit)	Fluks neutron cepat (cm ² .S ⁻¹)	Deviasi (%)
1	Ni ₁	0,2842	Al	RS-1	10	30	2.15E+12	2.9
2	Ni ₂	0,2846	Al	RS-2	10	30	2.17E+12	3.1
3	Ni ₃	0,284	Al	RS-3	10	30	3.93E+12	3
4	Ni ₄	0,2844	Al	RS-4	10	30	4.63E+12	3.5

Dari hasil yang telah tertera diatas dapat dilihat bahwa perbedaan pengukuran fluks neutron pada posisi RS1 dan RS2 tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Begitu pula pada posisi RS3 dan RS4 tidak ada perbedaan yang mencolok. Namun demikian ada perbedaan pada hasil pengukuran fluks neutron pada posisi RS1 dan RS2 terhadap RS3 dan RS4. Ini disebabkan karena perbedaan posisi dari pusat teras reaktor.

KESIMPULAN

dari hasil pengukuran fluks neutron cepat diatas dapat disimpulkan bahwa untuk mengiradasi cuplikan yang membutuhkan fluks neutron cepat yang lebih besar, maka posisi RS3 dan RS4 lebih menguntungkan. Sedangkan untuk sampel yang membutuhkan fluks neutron cepat lebih rendah, maka posisi RS1 dan RS2 akan memberikan hasil yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

1. Manual Operation Gamma Trac, 1989
2. Sutisna, *Prinsip Dasar Analisis Aktivasi Neutron Instrumental*, Pelatihan Penyelia Laboratorium Analisis Aktivasi Neutron, Pusdiklat 2003
3. Wisnu Susetyo, *Spektrometer Gamma dan Penerapannya Dalam Analisis Pengaktifan Neutron*, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta, 1996.