

## SISTEM DETEKSI RADIASI KOINSIDEN UNTUK PENENTUAN FLUKS NEUTRON TERMAL FASILITAS IRADIASI REAKTOR PENELITIAN RSG-GAS.

Syaiful Bakhri

### ABSTRAK

**SISTEM DETEKSI RADIASI KOINSIDEN UNTUK PENENTUAN FLUKS NEUTRON TERMAL FASILITAS IRADIASI REAKTOR PENELITIAN RSG-GAS.** Telah dilakukan penelitian untuk menentukan fluks neutron termal di fasilitas iradiasi RS1 dan RS2 RSG GAS. Pada penelitian ini disusun sistem beta-gamma koincidence dan diatur parameternya sesuai dengan spektrum beta dan gamma Au-198. Keping Au yang telah diiradiasi dicacah dan hasil pengukuran aktivitasnya dianalisis untuk memperoleh fluks neutron. Diperoleh fluks termal neutron di posisi RS1  $2.42 \times 10^{+12}$  n/cm<sup>2</sup>s dan RS2  $2.04 \times 10^{+12}$  n/cm<sup>2</sup>s. Untuk menguji unjuk kerja sistem, hasilnya dibandingkan dengan pengukuran aktivitas metode absolut detektor resolusi tinggi HPGe dan diperoleh ketidaksesuaian 1.32 % dan 1.54 %.

### ABSTRACT

**COINCIDENCE DETECTION RADIATION SYSTEM FOR DETERMINATION OF THERMAL NEUTRON FLUX ON RSG-GAS RESEARCH REACTOR IRRADIATION FACILITIES.** Thermal neutron flux determination research in RS1 and RS2 irradiation facilities RSG-GAS was done. This research has arranged beta-gamma coincidence equipment system and parameter of measurement according to Au-198 beta-gamma spectrum. Gold foils that have exposed to flux neutron for perode of time, counted, and the activities of radiation analyzed to get neutron flux. The results show that thermal neutron flux in RS1 is  $2.42 \times 10^{+12}$  n/cm<sup>2</sup>s and RS2  $2.04 \times 10^{+12}$  n/cm<sup>2</sup>s. To examine the system performance, the result was compared to absolute high resolution HPGe activity measurement detector method and discrepancy is 1.32 % and 1.54 %.

### PENDAHULUAN

Salah satu manfaat Reaktor Serba Guna "GA Siwabessy" adalah sebagai tempat iradiasi untuk berbagai tujuan seperti produksi radioaktif, Analisis Aktivasi Neutron (AAN) dan sebagainya. Dewasa ini jasa pelayanan iradiasi ini semakin ditingkatkan untuk mencapai tingkat efisiensi pemanfaatan reaktor yang semakin tinggi dalam mendukung bidang riset dan produksi radioisotop.

Kuantitas dan kualitas pelayanan iradiasi ini sangat ditentukan oleh sejauh mana karakteristik dari fasilitas iradiasi tersebut. Salah satu karakteristik fasilitas iradiasi yang sangat penting adalah fluks termal neutron. Selama ini masih dirasa perlu peningkatan karakterisasi fluks termal di fasilitas iradiasi dengan menitikberatkan pada sistem deteksi dan pengukuran radiasi yang lebih akurat untuk menghasilkan analisis yang lebih baik. Salah satu sistem yang bisa meningkatkan keakuratan penentuan fluks neutron di fasilitas iradiasi adalah sistem koincidence. Sistem koincidence adalah sistem pengukuran berbasiskan pewaktuan

yang mampu mendeteksi pulsa (kejadian) yang diakibatkan oleh dua atau lebih kejadian emisi radionuklida yang hampir bersamaan. Sistem ini lebih baik dibanding sistem deteksi biasa karena tidak memperhitungkan efisiensi detektor dan serapan diri dari sumber radiasi.

Oleh karena itu, untuk menentukan fluks neutron termal di fasilitas iradiasi dengan sistem deteksi beta gamma koincidence maka disusunlah penelitian ini. Pada penelitian ini disiapkan, dirancang dan dibuat sebuah sistem koincidence yang terdiri dari dua untai sistem pencacahan yang dibandingkan oleh unit koincidence apakah interaksi radiasinya terjadi bersamaan atau tidak. Sistem ini digunakan untuk mendeteksi keping/foil yang sudah diiradiasi pada berbagai posisi di fasilitas iradiasi RSG-GAS. Hasil keluaran sistem ini dianalisa untuk mengetahui aktivitas keping dan dihitung fluks di posisi dimana keping tersebut diiradiasi. Untuk mengetahui sejauh mana unjuk kerja dan kesahihan datanya dilakukan pengukuran ketidaksesuaian terhadap sistem pengukuran

aktivitas absolut menggunakan detektor resolusi tinggi HPGe.

**TEORI** <sup>1,2,3,4)</sup>

Pencacahan sumber radiasi beta gamma koinciden dilakukan dengan menggunakan dua untai berbeda. Untai pertama berfungsi untuk

mendeteksi partikel gamma sedangkan untai kedua digunakan untuk mencacah partikel beta. Untuk mendeteksi terjadinya koinciden, hasil dua pencacahan ini dilewatkan melalui gerbang koinciden.

Laju cacah untuk tiap untai ditunjukkan sistim koinciden ditunjukkan oleh persamaan :

$$N_{\beta} = \frac{(N_{\beta})_{ob}}{\left[1 - (N_{\beta})_{ob} * \frac{\tau}{T_c}\right]} - (N_{\beta})_{bg} \dots\dots\dots(1)$$

$$N_{\gamma} = (N_{\gamma})_{ob} - (N_{\gamma})_{bg} \dots\dots\dots(2)$$

$$N_{\beta\gamma} = (N_{\beta\gamma})_{ob} - \frac{2\tau(N_{\beta})_{ob}(N_{\gamma})_{ob}}{T_c} - (N_{\beta\gamma})_{bg} \dots\dots\dots(3)$$

dengan :

- $T_c$  = waktu pencacahan
- $(N)_{ob}$  = nilai pengamatan untuk tiap untai single atau cacah koinciden
- $(N)_{bg}$  = cacah latar untuk tiap untai single atau cacah koinciden
- $\tau$  = resolving time.

Pada kasus tertentu, seperti pada Au-198, dengan memperhitungkan konversi internal yang mengikuti peluruhan sinar beta, digunakan persamaan berikut ini untuk menghitung aktivitas absolut sebuah sumber radiasi koinciden beta dan gamma.

$$A = \frac{N_{\beta} N_{\gamma}}{N_{\beta\gamma}} \left/ \left[ 1 + \frac{(1 - \epsilon_{\beta}) \alpha \epsilon_c}{\epsilon_{\beta} (1 + \alpha)} \right] \right. \dots\dots\dots(4)$$

$$\epsilon_{\beta} = \frac{N_{\beta\gamma}}{N_{\gamma}}$$

dengan :

- $\epsilon_{\beta}$  = efisiensi pencah beta
- $\epsilon_{\gamma}$  = efisiensi pencah gamma
- $\alpha$  = koefisien konversi dari transisi 411.8 keV
- $\epsilon_c$  = efisiensi pencah beta untuk elektron konversi

Tabel 1. Efisiensi Deteksi dari Elektron Konversi untuk Transisi 411- $\gamma$

Ketebalan keping mas (mg/cm <sup>2</sup> )	$\epsilon_c$
6	0.975
31	0.880
49	0.820
110	0.610

Aktivitas yang yang diperoleh dari persamaan di atas dihitung dengan persamaan flux di bawah ini:

$$\phi_{th} = \frac{BA}{mN_0} \frac{A_{bare} - A_{cd}}{\sigma_{th} G_{th} (1 - e^{-\lambda t_i})} \dots\dots\dots(4)$$

dengan :

- $BA$  = berat atom emas,
- $A_{bare}$  = aktivitas keping terbuka,
- $A_{cd}$  = aktivitas keping terbungkus cadmium,
- $m$  = massa keping emas,
- $N_0$  = bilangan avogadro,
- $\sigma_{th}$  = tampang lintang aktivasi unsur emas,
- $G_{th}$  = faktor perisai diri termal keping emas,
- $\lambda$  = konstanta peluruhan isotop Au<sup>198</sup>,
- $t_i$  = waktu iradiasi keping emas.

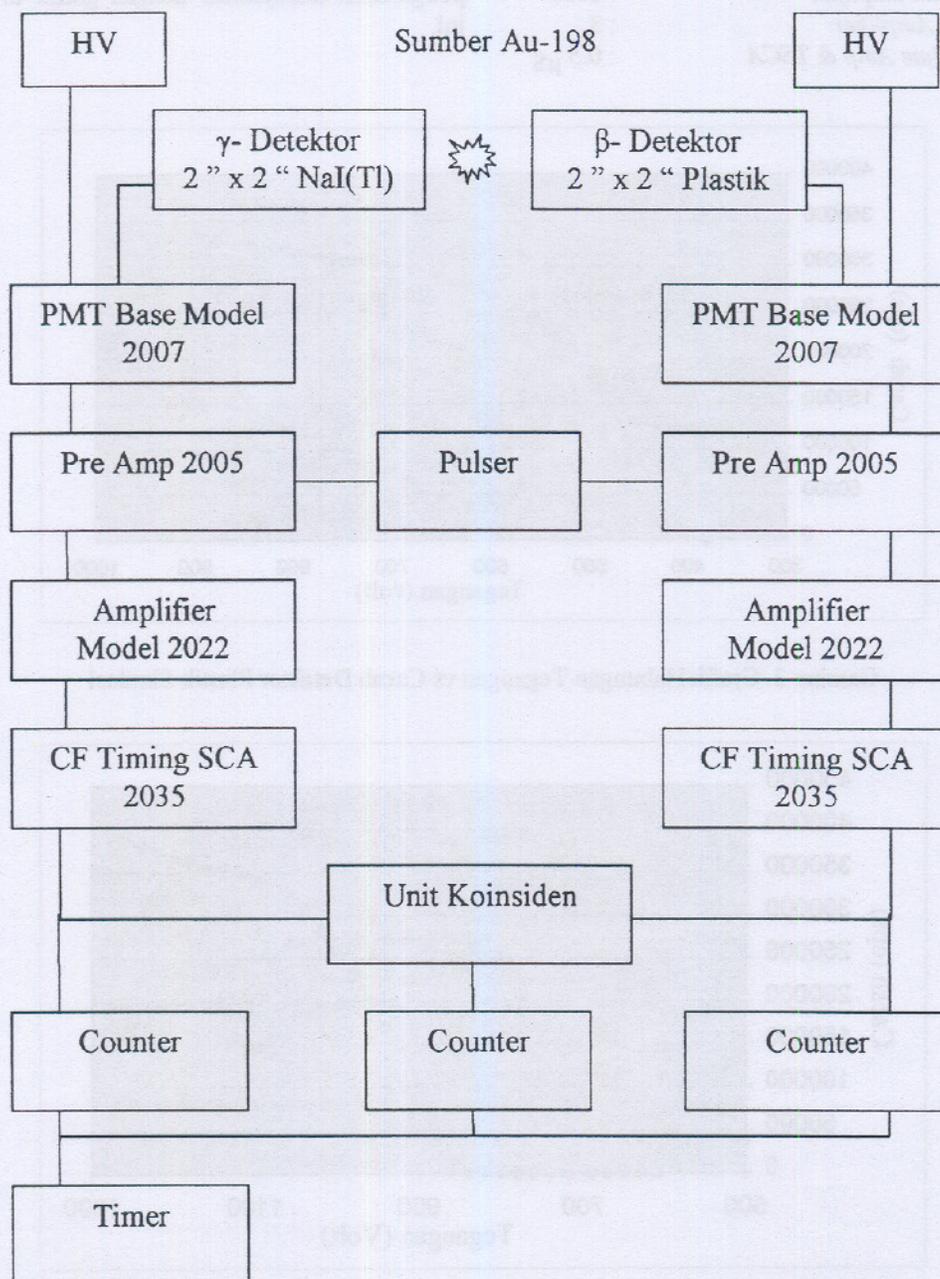
**TATA KERJA**

Pengukuran flux neutron dilakukan di fasilitas iradiasi dilakukan dengan aktivasi keping emas. Beberapa buah keping emas dengan berat 0.0667 gr dan diameter 1.3 cm diiradiasi di posisi

RS1 dan RS2, sebagian dibungkus dengan cadmium. Sebelum mengukur aktivitas keping foil, disusun beberapa perangkat elektronik dan parameter pengukuran yang dibutuhkan. Langkah pertama adalah menghubungkan beberapa modul untuk menjadi beta-gamma koinsiden. Kemudian menentukan beberapa parameter sistem seperti catu daya untuk detektor yang bersesuaian, *setting windows* untuk tiap SCA untuk mendapatkan cacah puncak sebuah sumber. Ketiga adalah

mengukur *resolving time* dengan mengatur waktu *delay*. Pengukuran aktivitas keping dilakukan lima hari setelah setelah iradiasi untuk posisi RS1 dan enam hari untuk RS2. Langkah terakhir adalah perhitungan fluks neutron.

Unit-unit elektronik sistim koinsiden beta gamma yang digunakan dapat ditunjukkan seperti gambar di bawah ini diikuti penjelasan mengenai parameter pengaturannya :



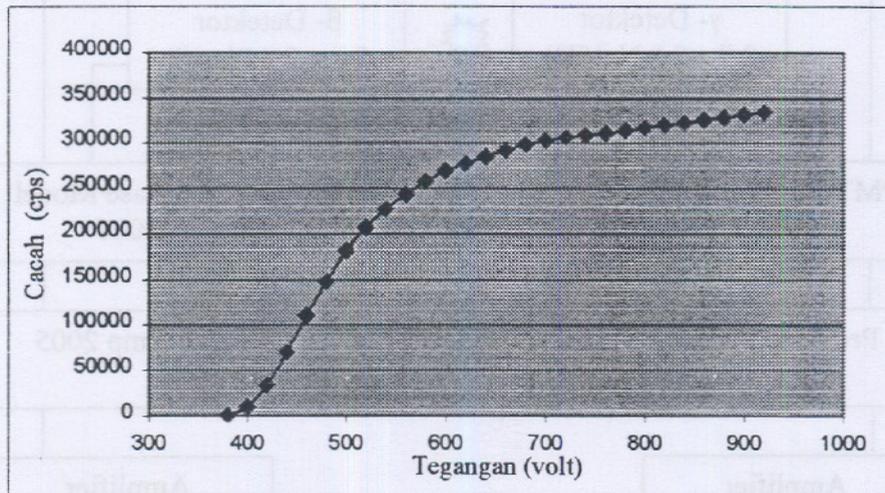
Gambar 1. Unit-unit Elektronik Sistim Koinsiden Beta Gamma

Untai Gamma :  
 Catu Daya Detektor NaI(Tl) : 1160 V  
 Coarse Gain amplifier : 300  
 Fine Gain Amplifier : 3  
 Shaping Time Amp & TSCA : 0.5  $\mu$ S  
 LLD threshold TSCA : 3.6 V  
 Window ( $\Delta E$ ) TSCA : 1.6 V  
 Delay Time TSCA : 5.5  $\mu$ S

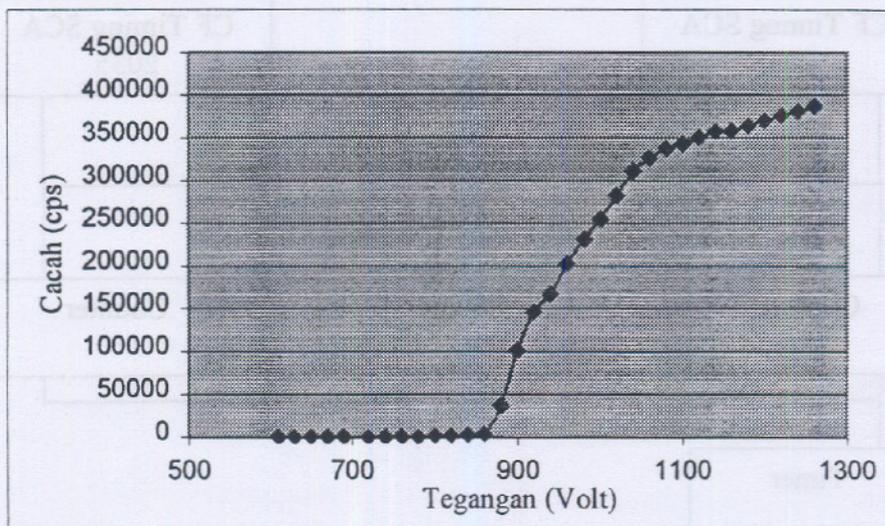
LLD TSCA : 0.8 V  
 Window ( $\Delta E$ ) TSCA : 10.0 V  
 Delay Time TSCA : 4.5  $\mu$ S

Untai Beta :  
 Catu Daya Detektor Plastic Scintillator : 770 V  
 Coarse Gain amplifier : 1000  
 Fine Gain Amplifier : 3  
 Shaping Time Amp & TSCA : 0.5  $\mu$ S

Penentuan parameter-parameter di atas sangat penting untuk mengatur unjuk kerja sistem beta gamma koinciden. Parameter di atas sangat tergantung terhadap sistem elektronik deteksi yang digunakan. Parameter penting yang perlu diketahui dalam pengopersian sistim detektor beta-gamma koinciden adalah tegangan operasi, grafik pengukuran ditunjukkan dengan grafik di bawah ini.



Gambar 2. Grafik Hubungan Tegangan vs Cacah Detektor Plastik Sintilasi

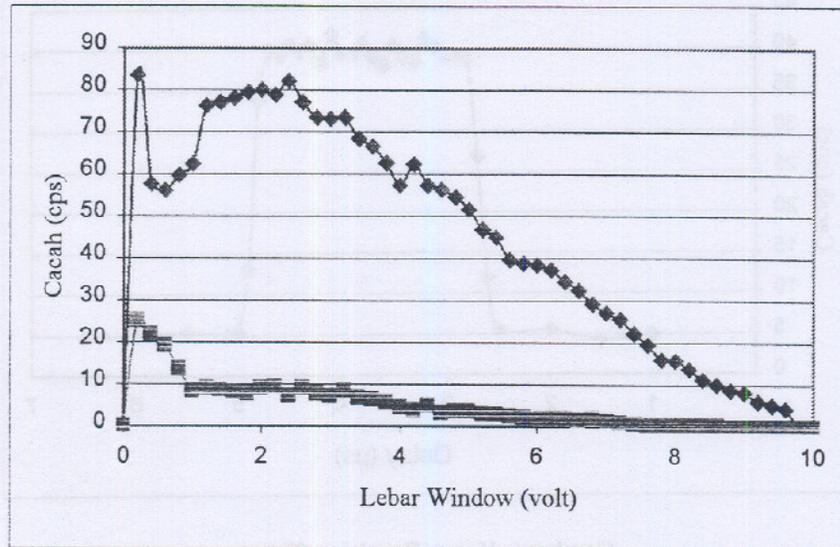


Gambar 3. Grafik Hubungan Tegangan vs Cacah Detektor NaI(Tl)

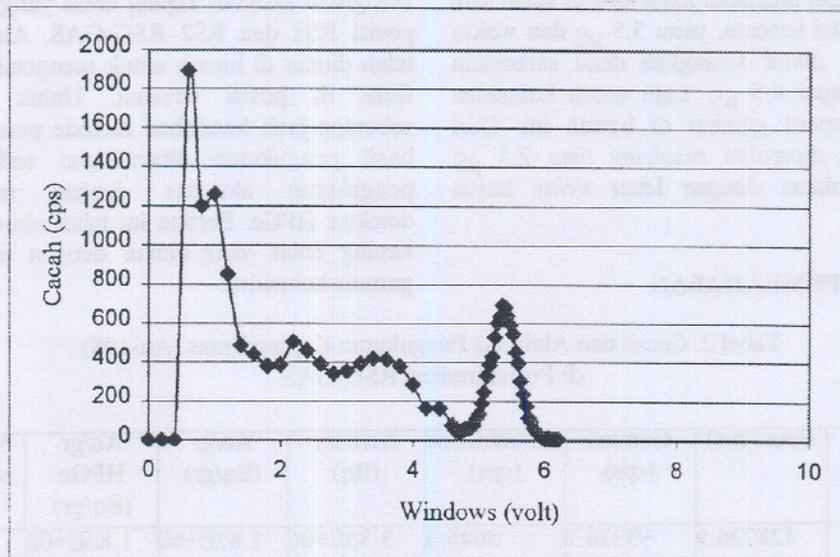
Gambar grafik di atas menunjukkan hubungan tegangan versus cacah. *Plateu* kedua grafik di atas menunjukkan daerah operasi dari detektor yang bersangkutan. Dari daerah operasi tersebut dipilih tegangan yang relatif baik untuk digunakan

dalam mengoperasikan detektor, yaitu dibagian tengah dari daerah *plateu* tersebut.

Parameter selanjutnya adalah lower level discriminator dan lebar *window* modul Constan *Fraction Timing SCA* seperti terlihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 4. Spektrum Beta Keping Emas



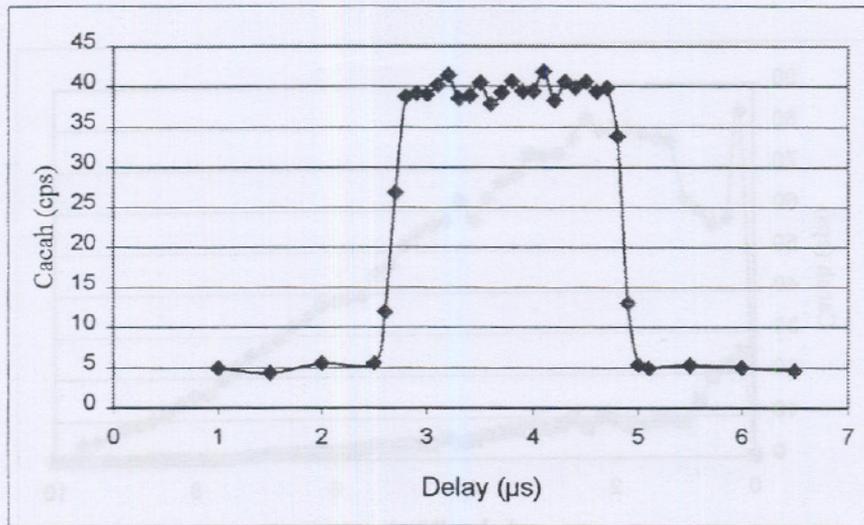
Gambar 5. Spektrum Gamma Keping Emas

Dua parameter ini bertujuan untuk membatasi bagian yang diamati dari sebuah spektrum baik itu spektrum beta maupun gamma. Penentuan Lower Level Discriminator (LLD) dan Window ( $\Delta E$ ) CF

TSCA di untai beta maupun gamma dilakukan dengan mengukur laju cacah yang datang dari sumber radioaktif dari tiap step LLD 0.2 V dari 0.1 V sampai 10 V. Laju cacah diplot terhadap posisi

window untuk sistem pencacah beta seperti terlihat pada gambar 4. dan pencacah gamma pada gambar 5. Keping emas ditutup dengan 0.5 cm aclyric untuk menghindari partikel beta jatuh di detektor beta, sehingga kita dapat menghitung sensitivitas detektor beta seperti terlihat pada gambar di atas.

Teknik seperti ini juga digunakan terhadap seluruh pencacahan keping emas. LLD untai gamma di set di kaki kiri dari puncak kira-kira pada 4.6 volt dengan lebar window ( $\Delta E$ ) TSCA 1.6 volt. Batas-batas ini hanya akan memilih puncak energi 0.411- $\gamma$ .



Gambar 6. Kurva Resolving Time

Parameter lain yang juga diukur adalah *resolving time* beta-gamma koinciden. Pengukuran dilakukan dengan mengatur *fixed time* di salah satu TSCA pada nilai tertentu, yaitu 5.5  $\mu\text{s}$  dan waktu variabel delay diatur selangkah demi selangkah dari 1  $\mu\text{s}$  sampai 6.5  $\mu\text{s}$ . Laju cacah koinciden ditunjukkan seperti gambar di bawah ini. Dari grafik di atas diperoleh *resolving time* 2.5  $\mu\text{s}$  seperti ditunjukkan dengan lebar *delay* kurva koinciden.

Sistem beta-gamma koinciden digunakan untuk mengukur aktivitas keping emas yang diiradiasi di posisi RS1 dan RS2 RSG-GAS. Aktivitas yang telah diukur di hitung untuk mengetahui besarnya fluks di posisi tersebut. Untuk mengetahui seberapa jauh kesalahan metode pengukuran ini, hasil pengukuran dibandingkan terhadap hasil pengukuran aktivitas dengan menggunakan detektor HPGe. Berikut ini tabel aktivitas absolut keping emas yang diukur dengan metode beta-gamma koinciden.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Tabel 2. Cacah dan Aktivitas Pengukuran Keping Emas (Au-198) di Posisi Iradiasi RSG-GAS

Posisi	Beta (cps)	Gamma (cps)	Coincidence (cps)	Activity (Bq)	Ao/gr (Bq/gr)	Ao/gr HPGe (Bq/gr)	Ketidak sesuaian (%)
Rs1	128726.9	93336.7	3045.3	3.35E+06	1.82E+08	1.85E+08	1.40
(Au Bare)	215445.2	134559.1	10340.6	2.63E+06	1.43E+08	1.39E+08	2.98
	124176.6	93634.7	3366.3	2.98E+06	1.62E+08	1.90E+08	14.77
	104563.5	87643.4	3646.8	2.21E+06	1.20E+08	1.44E+08	16.73
	189434.3	109842.7	6464.4	2.96E+06	1.61E+08	1.68E+08	4.35

Bersambung

Tabel 2. Lanjutan

Posisi	Beta (cps)	Gamma (cps)	Coincidence (cps)	Activity (Bq)	Ao/gr (Bq/gr)	Ao/gr HPGe (Bq/gr)	Ketidaksesuaian (%)
Rs1	62342.5	29302.3	1733.1	9.58E+05	5.21E+07	5.54E+07	5.91
(Au Cd)	78492.3	23064.2	1894.5	8.94E+05	4.86E+07	3.74E+07	30.09
	58734.7	26113.7	992.2	1.33E+06	7.25E+07	6.28E+07	15.34
	92734.8	22315.6	5369.3	3.78E+05	2.06E+07	4.00E+07	48.57
	42729.3	17977.2	1174.9	5.99E+05	3.26E+07	3.57E+07	8.86
Rs2	159653.1	34267.7	3192.2	1.62E+06	1.14E+08	1.26E+08	9.33
(Au Bare)	104563.5	87643.2	3646.8	2.21E+06	1.55E+08	1.21E+08	28.23
	137351.5	89523.5	4623.5	2.40E+06	1.69E+08	1.68E+08	0.54
	162136.4	100561.6	5893.1	2.53E+06	1.78E+08	1.70E+08	4.86
	135136.7	80422.6	4223.4	2.33E+06	1.64E+08	1.52E+08	7.68
Rs2	63487.7	20191.3	2821.4	4.38E+05	3.08E+07	3.41E+07	9.59
(Au Cd)	70042.2	20214.6	4221.3	3.28E+05	2.31E+07	2.25E+07	2.36
	51727.7	18702.2	1182.2	7.48E+05	5.26E+07	5.23E+07	0.58
	61912.2	28233.3	1985.4	8.13E+05	5.72E+07	5.47E+07	4.65
	38281.2	18123.2	1214.9	5.24E+05	3.69E+07	3.42E+07	8.00

Kolom kedua sampai ketiga menunjukkan cacah di untai beta, gamma dan koinsiden. Aktivitas latar yang digunakan relatif kecil, yaitu satu cacah perdetik untuk gamma dan beta. Kolom selanjutnya adalah aktivitas yang dihitung dengan memperhitungkan elektron konversi dan efisiensi pencacah beta terhadap elektron konversi tersebut, yaitu ( $\epsilon_c$ ) = 0.82. Kolom keenam menunjukkan aktivitas terukur yang telah dikoreksi terhadap waktu peluruhan Au-198 setelah selesai diiradiasi. Kolom ketujuh merupakan aktivitas keping yang diukur menggunakan detektor HPGe. Kolom ke delapan merupakan ketidaksesuaian pengukuran beta-gamma koinsiden dibandingkan dengan pengukuran HPGe.

Hasil pengukuran dengan sistem beta gamma koinsiden di atas telah menunjukkan hasil relatif baik, hal ini dapat dilihat pada hasil pengukuran yang presisi relatifnya yang berada pada rentang orde pangkat aktivitas tertentu. Orde yang bersesuaian ini dapat digunakan sebagai tanda bahwa mekanisme sistem deteksi koinsidensi beta-gamma berfungsi. Kombinasi cacah beta, gamma dan koinsiden yang berbeda antara satu keping dengan lainnya menggambarkan laju cacah dan sensitivitas detektor yang beragam antara satu keping dengan lainnya.

Bila dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan menggunakan HPGe terlihat bahwa

aktivitas yang terukur masih menunjukkan ketidaksesuaian yang relatif besar. Beberapa faktor yang bisa memberikan sumbangan besar terhadap ketidaksesuaian ini adalah koreksi terhadap waktu mati (*dead time*) sistem beta-gamma koinsiden, *accidental coincidence rate*, koreksi terhadap sensitivitas detektor beta terhadap gamma-gamma koinsidensi dan sensitivitas detektor gamma terhadap beta serta efek *breamstrahlung*. Koreksi ini penting karena waktu mati sistem yang disumbangkan oleh kemampuan detektor, dalam beberapa penelitian<sup>4)</sup>, akan mempengaruhi aktivitas terukur sistem, demikian juga fenomena lainnya. Karena keterbatasan waktu penelitian beberapa koreksi ini belum bisa dilakukan. Perlu di ketahui pengukuran aktivitas absolut dengan detektor resolusi tinggi HPGe diatas juga menghasilkan ralat rata-rata berkisar 4.6 % - 5.38 % pada tiap tiap posisi. Ralat yang relatif besar tersebut bila dibandingkan dengan aktivitas hasil beta gamma koinsiden pada beberapa keping akan menempatkan hasil pengukurannya pada rentang yang dapat diterima.

Aktivitas hasil pengukuran di atas digunakan untuk menentukan fluks termal neutron di posisi iradiasi. Dalam penelitian ini diambil aktivitas dengan ketidaksesuaian di tabel 2. yang kurang di bawah 10 %. Berikut ini hasil pengukuran fluks neutron di masing-masing posisi.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Fluks Termal di Posisi Iradiasi RS1 dan RS2

Posisi	Au bare (Bq/gr)	Au cd (Bq/gr)	Fluks (n/cm <sup>2</sup> s)	Rata-rata dg coind. (n/cm <sup>2</sup> s)	Rata-rata dg HPGe (n/cm <sup>2</sup> s)	Ketidak sesuain (%)
RS1	1.82E+08	5.21E+07	2.41E+12			
	1.61E+08	3.26E+07	2.37E+12	2.42E+12	2.39E+12	1.32
RS2	1.14E+08	3.08E+07	1.55E+12			
	1.69E+08	5.26E+07	2.15E+12			
	1.78E+08	5.72E+07	2.24E+12			
	1.64E+08	3.69E+07	2.35E+12	2.04E+12	2.07E+12	1.54

Tabel di atas menunjukkan rata-rata fluks di posisi iradiasi RS1 dan RS2 berkisar pada orde  $\times 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>s. Rata-rata fluks bila dibandingkan pengukuran dengan HPGe menunjukkan ketidaksesuain yang relatif kecil. Bila mengikutsertakan semua data aktivitas, diperoleh fluks rata-rata RS1  $2.007E+12$  dan RS2  $2.147E+12$  serta ketidaksesuain dengan rata-rata pengukuran detektor HPGe yang lebih besar tetapi masih bisa diterima, yaitu 8.90 % dan 7.49 %.

Nilai di atas perlu diverifikasi agar diperoleh hasil analisis yang lebih akurat. Untuk itu perlu dilakukan pengesetan sistem deteksi beta-gamma koinciden dan ketelitian pengukuran yang lebih

baik dengan mengikutsertakan koreksi yang lebih baik.

### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa sistem pengukuran aktivitas absolut dengan metode beta gamma koinciden dapat digunakan untuk karakterisasi fasilitas iradiasi, dan bisa jadi juga untuk teras. Hal ini ditunjukkan dengan ketidaksesuain dengan pengukuran aktivitas dengan HPGe yang relatif kecil dengan besar fluks di RS1 dan RS2 sebesar  $2.42E+12$  n/cm<sup>2</sup>s dan  $2.04E+12$  n/cm<sup>2</sup>s.

### DAFTAR PUSTAKA

- 1). AMIR HAMZAH, Pengukuran Reaktivitas dan Fluks Neutron pada Elemen Bakar Silisida Teras RSG-GAS, Tri Dasa Mega, Jurnal Teknologi Reaktor Nuklir, Vol.2, No. 2, Juni 2000, Halaman 54-63.
- 2). AMIR HAMZAH and YOSHIYA TORII, Thermal Neutron Flux Density Determination By Measured Activity Using Beta-Gamma Coincidence System, Joint Research BATAN-JAERI Collaboration Report, 1991/1992.
- 3). GLENN F. KNOLL, Radiation Detection and Measurement, Second Edition, John Wiley and Sons, Singapore, 1989.
- 4). P.J. CAMPION, The Standardization of Radioisotopes by Beta-Gamma Coincidence Method Using High Efficiency Detectors, Vol.4, pp 232-248, International Journal of Applied Radiations and Isotopes, Pergamon Press Ltd, Notherm Ireland, 1959.