
EVALUASI SPEKTRUM NEUTRON DI POSISI IRADIASI TERAS REAKTOR RSG GA SIWABESSY

Amir Hamzah

Pusat Pengembangan Teknologi Reaktor Riset - BATAN

ABSTRAK

EVALUASI SPEKTRUM NEUTRON DI POSISI IRADIASI TERAS REAKTOR RSG GA SIWABESSY. Data spektrum neutron di fasilitas iradiasi teras reaktor RSG GA Siwabessy yang akurat mutlak diperlukan untuk mendukung berbagai penelitian. Penentuan spektrum neutron dilakukan dengan metoda aktivasi multi-keping terbuka (bare) dan terbungkus cadmium. Aktivitas sejumlah keping dan/atau kawat detektor aktivasi setelah diiradiasi di posisi iradiasi diukur dengan sistem spektrometri gamma. Data aktivitas tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan paket program SAND-II hingga diperoleh spektrum neutron di posisi tersebut. Hasil penentuan spektrum neutron di fasilitas iradiasi teras reaktor RSG GA Siwabessy dibuat dalam bentuk plot/kurva spektrum neutron. Dari plot spektrum neutron tersebut dilakukan regresi linier sehingga diperoleh parameter penyimpangan dari $1/E$ spektrum neutron (α) di daerah energi epitermal. Parameter α pada fasilitas iradiasi CIP, IP dan sistem rabbit masing-masing sebesar 0,0255, -0,0346 dan 0,0267.

ABSTRACT

NEUTRON SPCTRUM EVALUATION IN IRRADIATION POSITION OF RSG GA SYWABESSY REACTOR CORE. The accurate neutron spectrum in irradiation position of RSG-GAS reactor core is needed for other research. Neutron spectrum was determined by bare and Cd covered multi-foil activation method. Irradiated foil and/or wire activities were analyzed using SAND-II computer code to get neutron spectra in that positions. The result of neutron spectrum in central irradiation position (CIP), irradiation position (IP) and rabbit system (RS) was plot in line graphic. Linier regresion was applied to determined non- $1/E$ parameter (α) of epithermal region. The α parameter in irradiation position CIP, IP and rabbit system are 0,0255, -0,0346 and 0,0267 respectively.

PENDAHULUAN

Data spektrum neutron di fasilitas iradiasi teras reaktor RSG GA Siwabessy yang akurat mutlak diperlukan untuk mendukung berbagai penelitian. Analisis aktivasi neutron dengan metoda 'kayzero' dan produksi radioisotop serta penelitian analisis teras reaktor adalah beberapa contoh penelitian yang sangat membutuhkan data spektrum neutron. Pada saat yang lalu telah dilakukan pengukuran spektrum neutron namun dirasa masih perlu dilakukan peningkatan akurasinya. Pada penelitian ini dilakukan evaluasi hingga diperoleh data spektrum neutron di fasilitas iradiasi teras reaktor RSG GA Siwabessy yang lebih akurat.

Penentuan spektrum neutron dilakukan dengan metoda aktivasi multi-keping terbuka (bare) dan terbungkus cadmium. Aktivitas sejumlah keping dan/atau kawat

detektor aktivasi setelah diiradiasi di posisi iradiasi diukur dengan sistem spektrometri gamma. Data sktivitas tersebut selanjutnya dianalisis menggunakan paket program SAND-II hingga diperoleh spektrum neutron di posisi tersebut. Hasil penentuan spektrum neutron di fasilitas iradiasi teras reaktor RSG GA Siwabessy dibuat dalam bentuk plot/kurva spektrum neutron. Dari plot spektrum neutron tersebut dilakukan regresi linier sehingga diperoleh parameter penyimpangan dari 1/E spektrum neutron (α) di daerah energi epitermal pada fasilitas iradiasi CIP, IP2 dan sistem rabbit. Parameter α sangat penting dalam penelitian analisis unsur dengan metoda 'kayzero'. Secara umum data spektrum ini sangat berguna bagi penelitian lain diantaranya dalam penelitian analisis neutronik teras reaktor RSG-GAS dan penelitian dalam produksi radioisotop.

TEORI

Penentuan spektrum neutron

Penentuan spektrum neutron dilakukan berdasarkan hasil pengukuran berbagai macam foil yang diiradiasi bersamaan pada suatu posisi di teras reaktor. Persamaan integral laju reaksi (aktivitas perinti) detektor yang ke- i (R_i) dapat diselesaikan dengan :^{1,2)}

$$R_i = \int_0^{\infty} \sigma_i(E) \phi(E) dE \quad \text{dengan} \quad i = 1, \dots, n \quad \dots \dots \dots (1)$$

dengan n adalah jumlah detektor yang digunakan. Selanjutnya secara perhitungan persamaan laju reaksi tersebut dibuat diskrit ke dalam m buah kelompok energi menjadi :³⁾

$$R_i = \sum_{j=1}^m \sigma_{ij} \phi_j \Delta E_j \quad \dots \dots \dots (2)$$

dengan σ_{ij} adalahampang lintang keping ke- i pada kelompok ke- j serta ϕ_j dan ΔE_j adalah fluks neutron dan lebar energi kelompok ke- j .

Umumnya jumlah persamaan (detektor aktivasi) tersebut jauh lebih sedikit dari pada jumlah kelompok energi dari besaran ϕ_j yang akan dicari ($m > n$) sehingga tingkat kebebasan (*degree of freedom*) sistem persamaan cukup besar. Dengan demikian tidak dapat diperoleh penyelesaian yang unik dan spektrum neutron tidak dapat ditentukan dari data-data yang tersedia tanpa memasukkan spektrum awal yang diperoleh dari hasil perhitungan yang mendekati kondisi sebenarnya. Spektrum awal ini secara iteratif diubah hingga laju reaksi hasil perhitungannya mendekati harga pengukuran. Dalam setiap

langkah iterasi, perubahan spektrum memenuhi ketentuan kwadrat terkecil dengan minimisasi :^{3,4)}

$$S = \sum_{i=1}^n \left[\ln(R_i) - \ln \left(\sum_{j=1}^m \sigma_{ij} \phi_j^k \right) \right]^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij}^k \left[\ln(\phi_j^k) - \ln(\phi_j^{k-1}) \right]^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

dengan W adalah faktor pembobot dan k adalah langkah iterasi. Faktor pembobot tersebut akan membuat penyelesaian akhir mendekati parameter yang memiliki varian yang lebih kecil dan dirumuskan sebagai :⁴⁾

$$W_{ij}^k = \frac{R_{ij}^k}{R_i^k} \left[\frac{1}{\text{var}(R_i)} \times \frac{1}{\text{var}(\sigma_{ij})} \right] \quad i = 1,2,\dots,n \quad ; \quad j = 1,2,\dots,m \quad \dots\dots\dots (4)$$

dengan :

$$R_{ij}^k = \phi_j^k \sigma_{ij} \quad \text{dan} \quad R_i^k = \sum_{j=1}^m R_{ij}^k \quad \dots\dots\dots (5)$$

yaitu aktivitas perinti detektor ke- i pada kelompok energi ke- j dalam iterasi ke- k dan jumlah aktivitas perinti detektor ke- i dalam iterasi ke- k .

Penentuan parameter α

Parameter α adalah suatu besaran penyimpangan rapat spektrum neutron pada daerah epitermal dari rapat spektrum neutron $1/E$, sehingga rapat spektrum epitermal dituliskan sebagai :⁴⁾

$$\phi_e'(E) = \phi_e l eV^\alpha / E^{1+\alpha} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Besarnya parameter α ditentukan dengan menggunakan metoda pencocokan fungsi pangkat pada spektrum neutron hasil pengukuran pada daerah energi neutron epitermal. Pencocokan fungsi pangkat dilakukan terhadap hasil pengukuran spektrum neutron pada daerah energi neutron epitermal dengan rentang antara 0,55 eV hingga 0,1 MeV.

TATA KERJA

Tahapan pengukuran spektrum neutron yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Persiapan bahan keping dan pengemasan keping ke dalam kapsul serta kalibrasi peralatan pengukuran aktivitas menggunakan sumber gamma standar.
2. Iradiasi keping di fasilitas iradiasi reaktor RSG GA Siwabessy.
3. Pembongkaran keping dari kapsul.

4. Pencacahan dan analisis spektrum gamma sehingga diperoleh aktivitas keping yang telah diiradiasi.
5. Penentuan spektrum neutron menggunakan paket program SAND-II.

Parameter α ditentukan dengan metoda pencocokan fungsi pangkat pada spektrum neutron hasil pengukuran yang telah dilakukan dengan metoda aktivasi keping banyak (*multi-foil activation*). Pencocokan fungsi pangkat dilakukan terhadap hasil pengukuran spektrum neutron pada daerah energi neutron epitermal dengan rentang antara 0,55 eV hingga 0,1 MeV. Energi 0,55 eV merupakan energi potong cadmium (*Cd cut-off*) sedangkan diatas energi 0,1 MeV sudah termasuk kategori neutron cepat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Spektrum neutron

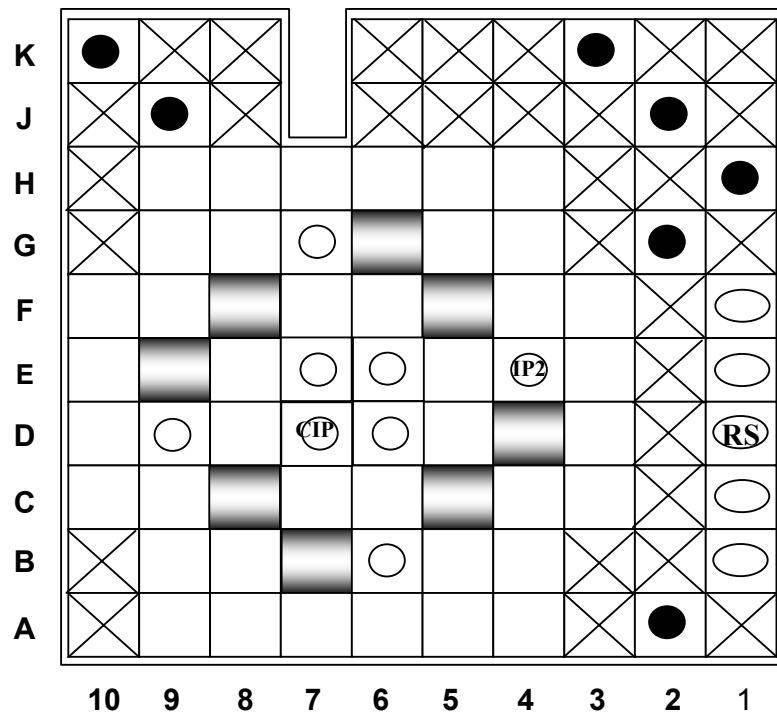
Penentuan spektrum neutron hasil pengukuran yang telah dilakukan dengan metoda aktivasi keping banyak (*multi-foil activation*). Iradiasi keping dan/atau kawat detektor neutron dilakukan di posisi iradiasi sistem rabbit RS-1 dan IP2 serta CIP teras reaktor RSG-GAS (Gambar 1). Aktivitas keping dan/atau kawat detektor neutron dilakukan menggunakan sistem spektrometri gamma yang telah dikalibrasi. Berdasarkan aktivitas keping dan/atau kawat detektor tersebut maka dapat ditentukan spektrum neutron di tiap-tiap posisi iradiasi menggunakan paket program SAN-II. Hasil penentuan spektrum neutron di posisi iradiasi sistem rabbit RS-1 dan IP serta CIP teras reaktor RSG-GAS diplot pada Gambar 2. Pada gambar tersebut terlihat bahwa fluks neutron termal paling tinggi terdapat di posisi iradiasi tengah (CIP) sedangkan fluks neutron cepat paling tinggi di posisi iradiasi IP. Pada gambar tersebut juga terlihat pada posisi sistem rabbit memiliki nilai banding neutron termal terhadap neutron cepat/epitermal yang paling tinggi, namun untuk memastikannya dilakukan dengan pengukuran lain.

Parameter α

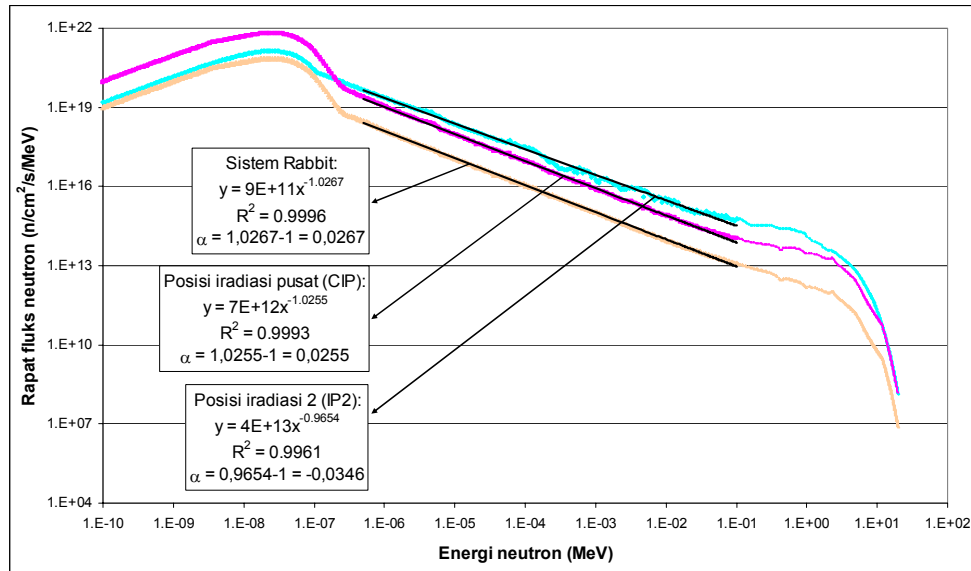
Parameter α di fasilitas iradiasi sistem rabbit RS-1 dan IP serta CIP ditentukan dengan pencocokan fungsi pangkat pada spektrum neutron hasil pengukuran yang telah dilakukan dengan metoda aktivasi keping banyak (*multi-foil activation*). Pencocokan fungsi pangkat dilakukan terhadap hasil pengukuran spektrum neutron pada daerah energi neutron epitermal dengan rentang antara 0,55 eV hingga 0,1 MeV (Gambar 2).

Distribusi energi fluks neutron epitermal hasil pencocokan fungsi pangkat tersebut pada posisi fasilitas iradiasi sistem *rabbit*, IP2 dan CIP adalah $\varphi_e(E)_{RS} = 9 \times 10^{11}/E^{1,0267}$, $\varphi_e(E)_{IP2} = 7 \times 10^{12}/E^{1,0255}$ dan $\varphi_e(E)_{CIP} = 4 \times 10^{13}/E^{0,9654}$. Tetapan regresi masing-masing pencocokan tersebut sebesar 0,9996, 0,9993 dan 0,9961 yang menunjukkan bahwa hasil pencocokan tersebut cukup akurat. Berdasarkan hasil penentuan distribusi energi fluks neutron epitermal tersebut maka dapat ditentukan parameter α pada posisi sistem ‘rabbit’, IP2 dan CIP masing-masing sebesar 0,0267, 0,0255 dan -0,0346 sesuai dengan persamaan (6).

Pada Gambar 2 terlihat bahwa spektrum neutron di posisi fasilitas iradiasi CIP memiliki kemiringan yang lebih curam dibanding dengan spektrum neutron yang lainnya. Hal itu dapat dimengerti bahwa laju proses moderasi neutron di posisi tersebut lebih besar dibanding dengan di posisi sistem rabbit dan di IP2, mengingat CIP memiliki kalom air yang lebih besar. Secara keseluruhan terlihat bahwa spektrum neutron cepat di CIP lebih rendah dan spektrum neutron termal lebih tinggi dibanding dengan di IP2. Melihat bentuk spektrum neutron di CIP yang demikian dapat dipahami bahwa parameter α bernilai negatif.



Gambar 1. Konfigurasi teras RSG-GAS beserta posisi iradiasi.



Gambar 2. Plot spektrum neutron di fasilitas iradiasi RSG-GAS dengan parameter α .

KESIMPULAN

1. Karena fluks neutron termal yang paling tinggi maka akan sangat baik untuk penelitian atau iradiasi dengan neutron termal.
2. Sebaliknya untuk penelitian atau iradiasi dengan neutron cepat lebih baik dilakukan di posisi iradiasi IP karena di posisi ini memiliki fluks neutron cepat yang paling tinggi.
3. Sedangkan pengaruh kontaminasi neutron cepat yang paling kecil pada iradiasi dengan neutron termal terdapat di posisi sistem rabbit.

DAFTAR PUSTAKA

- 1). K.H. BECKURTS and K. WIRTZ, Neutron Physics, Springer-Verlag, New York, 1964.
- 2). IAEA TECH. REP., SERIES NO. 107, Neutron Fluence Measurement, 1970.
- 3). OAK RIDGE NATIONAL LABORATORY, RSIC Computer Code Collection SAND-II - Neutron Flux Spectra Determination by Multiple Foil Activation, Iterative Method, CCC-112 AFWL-TR 67-41, Volume I-IV BNWL-855.
- 4). E.M. ZSOLNAY, Neutron Flux and Spectrum Measurement by Activation Method, Lecture note for the RTC on Calculation and Measurement of Neutron Flux for Research Reactors, Jakarta, September 27 to October 15, 1993.