

ANALISIS TAMPANG LINTANG SERAPAN DAN FAKTOR PERISAI DIRI PADA AKTIVASI SANDWICH FOIL

Ita Budi Radiyanti
Pusat Reaktor Serba Guna - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

ANALISIS TAMPANG LINTANG SERAPAN DAN FAKTOR PERISAI DIRI PADA AKTIVASI SANDWICH FOIL. Metode *sandwich foil* dapat digunakan untuk mengevaluasi spektrum neutron epitermal. Pada penelitian ini telah diukur dan dihitung nisbah laju reaksi keping terluar dan keping dalam dari susunan *sandwich foil* beberapa jenis keping aktivasi. Hasil perbandingan keduanya digunakan untuk melihat ketepatan analisis perhitungan efek perisai diri dan penetrasi serta data tampang lintang serapan yang digunakan dalam metode *sandwich foil*. Tampang lintang yang digunakan adalah tampang serapan 107 kelompok tenaga dari SRAC *public library* serta *ultra fine pointwise*. Keduanya berdasarkan ENDF/B-IV. Perhitungan efek perisai diri dan penetrasi menggunakan teori *single collision* untuk fluks isotropik dan mono energetik. Keping-keping aktivasi yang digunakan adalah Au, Th, W, dan U-238. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penggunaan tampang lintang *ultra fine pointwise* serta perhitungan efek perisai diri dan penetrasi yang digunakan memberikan hasil yang baik bagi keping resonansi yang memiliki tampang lintang hamburan yang relatif kecil.

ABSTRACT

ANALYSIS OF ABSORPTION CROSS SECTION AND SELF SHIELDING FACTOR IN SANDWICH FOIL ACTIVATION. Sandwich foil method can be used for evaluating epithermal neutron spectrum. Reaction rate ratio between outer and inner foil in sandwich foil has been measured and calculated to know the accuracy of self shielding effect and also absorption cross section data. Cross section data is taken from SRAC public library 107 group energy and ultra fine pointwise. Both are based on ENDF/B-IV. Self shielding and penetration effect calculation has been done by using single collision theory and for isotropic and monoenergetic flux. Foil detectors are Au, Th, W and U-238. The result show that ultra fine pointwise cross section and this self shielding and penetration calculation is appropriate for resonance detector foils which have small scattering cross section.

PENDAHULUAN

Metode aktivasi keping detektor sering digunakan pada bidang dosimetri neutron seperti pengukuran fluks dan spektrum neutron karena metode tersebut relatif praktis, murah dan memiliki ketelitian yang baik. Fluks neutron pada daerah epitermal dapat diukur dengan menggunakan metode *sandwich foil*, di mana beberapa keping resonansi dari jenis yang sama ditumpuk dan diiradiasi. Selisih besar aktivitas pada keping terluar dengan aktivitas keping dalam merupakan aktivitas yang didominasi oleh aktivasi pada daerah resonansi [1]. Sehingga dengan metode ini dapat diperoleh informasi tentang distribusi spektral dari neutron epitermal.

Karena pada daerah epitermal tampang lintang serapan keping beresonansi tajam, maka sebagai penelitian awal perlu dilihat ketepatan analisis terhadap perhitungan efek peri-

sai diri dan penetrasi neutron terhadap keping dan data tampang lintang serapan yang digunakan. Untuk itu pada penelitian ini hasil perbandingan antara laju reaksi keping terluar dengan laju reaksi keping dalam (nisbah laju reaksi) dari suatu *sandwich foil* yang didapat dari eksperimen dibandingkan dengan hasil perhitungan untuk mengkonfirmasi ketepatan analisis perhitungan efek perisai diri dan penetrasi neutron serta data tampang lintang serapan yang digunakan. Disamping itu dilakukan pula pengukuran nisbah Cadmium dari keping-keping tersebut untuk membandingkan hasil yang diperoleh.

TEORI

Beberapa keping detektor aktivasi dari jenis yang sama yang disusun membentuk *sandwich* dan kemudian diiradiasi dapat memberikan informasi tentang fluks neutron pada dae-

rah resonansi. Hal itu terjadi karena neutron dengan energi *main resonance* sebagian besar terserap oleh keping terluar, sementara neutron dengan energi di bagian $1/v$ dan *minor resonance* terserap oleh keping terluar dan keping dalam. Aktivitas yang dihasilkan oleh neutron dengan energi di bagian $1/v$ dapat dieliminasi dengan mengurangi aktivitas pada keping terluar dengan aktivitas pada keping dalam. Hal tersebut dapat dijelaskan dengan persamaan sebagai berikut [1]:

$$R(t) = \frac{\epsilon N}{t} \int_0^{\infty} du \int_0^1 dx \sigma_a(u) \Phi(u, x) = \epsilon N \left[\Phi(u_1) I_1(t) + \sum_{i=2} \Phi(u_i) I_i(t) + I_{1/v}(\Phi) \right] \quad (1)$$

- $R(t)$ = aktivitas keping dengan tebal t
- σ_1 = tampang lintang serapan keping
- Φ = fluks neutron
- ϵ = efisiensi pengukuran
- N = jumlah inti keping
- u = lethargy resonance
- $I_1(t)$ = integral resonansi efektif pada daerah *main resonance*
- $I_i(t)$ = integral resonansi efektif dari resonansi ke i

Pada persamaan di atas sisi sebelah kanan bagian pertama adalah aktivitas keping pada daerah resonansi utama (*main resonance*), bagian kedua adalah aktivitas keping pada daerah resonansi tinggi (*higher resonance*) dan bagian ketiga adalah aktivitas pada daerah penyerapan $1/v$.

Apabila 3 keping dari jenis yang sama ditumpuk membentuk *sandwich* dan diiradiasi maka diperoleh aktivitas keping terluar sebesar:

$$R_o = \frac{1}{2} R(t) + \frac{1}{2} [R(3t) - R(2t)] = \epsilon N \left[\sum_{i=1} \Phi(u_i) \eta_i^o + I_{1/v}(\Phi) \right] \quad (2)$$

Sedangkan aktivitas keping yang berada ditumpukan dalam :

$$R_c = R(2t) - R(t) = \epsilon N \left[\sum_{i=1} \Phi(u_i) \eta_i^c + I_{1/v} \right] \quad (3)$$

$$\eta_i^o = 1/2 \{ I_i(t) + 3 I_i(3t) - 2 I_i(2t) \}$$

$$\eta_i^c = 2 I_i(2t) - I_i(t)$$

Selisih aktivitas keping terluar dan keping dalam

$$\Delta R = R_o - R_c = \epsilon N \sum_{i=1} \Phi(u_i) \eta_i \quad (4)$$

$$\eta_i = \eta_i^o - \eta_i^c$$

Dari persamaan pengurangan tersebut dapat dilihat bahwa aktivitas pada daerah $1/v$ dapat tereliminasi, sehingga informasi fluks neutron pada daerah resonansi dapat diperoleh.

Pada *sandwich foil* efek perisai diri (efek pengurangan kerapatan fluks di dalam keping karena adanya penyerapan pada lapisan luar keping) tidak bisa diabaikan. Selain itu faktor penetrasi perlu dihitung karena neutron harus melewati keping yang lain sebelum tiba di keping yang dituju. Penurunan persamaan untuk menghitung kedua faktor tersebut dijelaskan pada uraian berikut ini.

Sebuah keping dengan tebal d dan tampang lintang serapan makroskopik Σ_a , ditangkup pada kedua sisinya dengan keping dari jenis dan tebal yang sama.

Berdasarkan pada teori *single collision probability* (teori kebolehjadian tumbukan tunggal yang mengabaikan faktor hamburan), aktivitas keping tersebut pada daerah fluks Φ yang isotropik dan monoenergetik diturunkan menjadi [2]:

$$C_i = \frac{\Phi}{2} \int_0^{\pi/2} 2 e^{-\Sigma_a d / \cos \theta} (1 - e^{-\Sigma_a d / \cos \theta})^{\cos \theta} \sin \theta d\theta = \Phi [E_3(\Sigma_a d) - E_3(2\Sigma_a d)] \quad (5)$$

θ adalah sudut jatuh neutron terhadap bidang keping dan E_3 adalah definisi umum untuk integral eksponensial dimana $E_3(x) = \int_0^x t^{-2} e^{-xt} dt$. Dengan metode yang sama aktivitas keping terluar diturunkan menjadi :

$$C_o = \frac{\Phi}{2} [E_3(2\Sigma_a d) - E_3(3\Sigma_a d) + \frac{1}{2} - E_3(\Sigma_a d)] \quad (6)$$

Faktor perisai diri dapat dihitung dengan membandingkan aktivitas keping yang memiliki efek tersebut dengan aktivitas keping ideal yaitu keping yang sangat tipis sehingga diharapkan tidak ada efek perisai diri [3].

Untuk keping ideal banyaknya aktivitas yang diterima sebesar [2] $C = \Sigma_a d \Phi$. Sehingga faktor perisai diri dan penetrasi untuk keping

dalam membandingkan persamaan 5 dengan aktivitas keping ideal, dan diperoleh sebesar :

$$f_i = \frac{E_3(\Sigma_a d) - E_3(2\Sigma_a d)}{\Sigma_a d} \quad (7)$$

dan untuk keping terluar sebesar :

$$f_o = \frac{E_3(2\Sigma_a d) - E_3(3\Sigma_a d) + \frac{1}{2} - E_3(\Sigma_a d)}{2\Sigma_a d} \quad (8)$$

TATAKERJA

Eksperimen dilakukan pada teras reaktor perangkat kritik KUCA B3/8P36EU-NU-EU yang terdiri dari plat bahan bakar Uranium dan plat moderator polietilen. Pada salah satu elemen bahan bakar di tengah-tengah teras terdapat void tempat keping diiradiasi. Dan pada 2 elemen bahan bakar yang simetri dengannya dipasang keping Au sebagai monitor fluks neutron.

Eksperimen dilakukan dengan mengiradiasi 3 keping dan 5 keping dari jenis yang sama yang disusun membentuk sandwich, baik dengan maupun tanpa selubung Cadmium. Keping yang digunakan adalah Au, U-238, Th dan W. Aktivitas keping yang telah diiradiasi diukur dengan detektor HpGe. Sedangkan nisbah Cadmium keping diukur dengan membandingkan aktivitas keping terbuka dan keping yang ditu-

kan dengan SRAC untuk memperoleh konstanta kelompok tampang lintang dari material penyusun teras. Kemudian dengan menggunakan CITATION dilakukan perhitungan teras 2 dimensi (r,z) dengan model bentuk silinder untuk memperoleh distribusi fluks fungsi energi pada tempat iradiasi keping.

Tampang lintang

Tampang lintang yang digunakan adalah tampang lintang serapan 107 kelompok energi yang terdapat pada public library SRAC (berdasarkan pustaka ENDF/B-IV) dan tampang lintang *ultra fine pointwise* yang diambil dari pustaka ENDF/B-IV dengan menggunakan paket program RESEND. Tampang lintang *ultra fine pointwise* untuk AU sebanyak 11123 kelompok energi, Th sebanyak 34036 kelompok energi, W sebanyak 6811 kelompok energi dan U-238 sebanyak 50700 kelompok energi.

Faktor perisai diri dan penetrasi

Faktor perisai diri dan penetrasi untuk keping dalam dihitung dengan persamaan 7, sedangkan untuk keping terluar dihitung dengan persamaan 8.

Laju reaksi per inti

Laju reaksi per inti dihitung dengan mengalikan fluks neutron, tampang lintang serapan dan faktor perisai diri serta penetrasi. Nis-

Tabel 1. Nisbah laju reaksi keping terluar dan keping dalam pada sandwich foil.

Sandwich foil terbuka					Sandwich foil dengan selubung Cd				
Jenis keping	Au	Th	W	U-238	Au	Th	W	U-238	
Banyaknya tumpukan keping	3	3	3	5	3	3	3	5	
Hasil eksperimen (E)	1,109	1,092	1,128	1,419	1,315	1,145	1,411	1,515	
	Tampang lintang								
Hasil perhitungan (p)	SRAC	1,095	1,006	1,241	1,039	1,160	1,005	1,820	1,044
(p/E) / E	SRAC	1 %	8 %	10 %	- 27 %	9 %	12 %	29 %	31 %
Hasil perhitungan (p)	Pointwise	1,160	1,088	1,114	1,444	1,338	1,161	1,385	1,537
(p/E) / E	Pointwise	5 %	0 %	- 1 %	2 %	2 %	1 %	- 2%	1 %

tup dengan Cadmium. Hasil eksperimen ada pada Tabel 1.

PERHITUNGAN

Distribusi fluks neutron fungsi energi

Distribusi fluks neutron fungsi energi dihitung dengan menggunakan paket program SRAC dan CITATION. Perhitungan sel dilaku-

bah laju reaksi per inti keping terluar dengan keping dalam. Sedangkan nisbah Cadmium dihitung dengan membandingkan laju reaksi per inti keping terbuka dengan keping yang ditangkup dengan Cadmium.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil nisbah laju reaksi keping terluar dan keping dalam pada *sandwich foil* dari beberapa jenis keping ada pada Tabel 1.

Perbedaan antara harga nisbah laju reaksi dari hasil perhitungan dengan hasil perhitungan dengan menggunakan tampang lintang serapan SRAC 107 kelompok energi kecuali *sandwich foil* Au tanpa pembungkus Cadmium, sebesar -31% hingga 10%. Sedangkan untuk Au tanpa pembungkus Cadmium sebesar 1%. Di lain sisi perbedaan harga nisbah Cadmium dari hasil eksperimen dan hasil perhitungan (lihat Tabel 2.) untuk semua keping sebesar -8% hingga -13%.

Tabel 2. Perbedaan harga nisbah Cd hasil eksperimen dan perhitungan.

Jenis keping	Au	Th	W	U-238
Tampang lintang				
SRAC	- 13 %	- 13 %	- 8 %	- 11%
Pointwise	3 %	4 %	10 %	2 %

Perbedaan yang cukup besar tersebut dikarenakan lebar energi *lethargy* pada tampang lintang SRAC di daerah resonansi (0,25) masih terlalu lebar untuk dapat menganalisis aktivitas yang terjadi di daerah resonansi.

Untuk *sandwich foil* Au tanpa pembungkus Cadmium yang hasil perhitungan nisbah laju reaksi dan hasil eksperimennya sangat mirip, hal itu karena Au juga mempunyai tampang lintang serapan termal yang besar dimana lebar energi *lethargy* dari tampang lintang SRAC pada daerah termal (0,125) cukup baik untuk menganalisis aktivitas yang diakibatkan oleh neutron termal.

Perbedaan antara harga nisbah laju reaksi dari hasil perhitungan dengan hasil eksperimen

dengan menggunakan tampang lintang serapan *ultra fine pointwise* sebesar -2% hingga 5%. Sedangkan perbedaan harga nisbah Cadmium dari hasil eksperimen dan hasil perhitungan, kecuali W, sebesar 2 % hingga 4 %. Untuk keping W, perbedaan tersebut sebesar 10 %. Hasil perhitungan yang sangat mendekati hasil eksperimen, kecuali untuk W, dikarenakan lebar energi *lethargy* pada tampang lintang *ultra fine pointwise* cukup baik untuk menganalisis aktivitas dari keping yang mempunyai tampang lintang serapan resonansi yang tajam.

Untuk keping W dimana pada kasus *sandwich foil* memberikan hasil yang baik sementara pada kasus nisbah Cadmium memberikan hasil yang kurang baik memerlukan penelitian lanjut. Hal itu karena W mempunyai tampang lintang hamburan yang relatif besar terhadap tampang lintang serapannya. Sedangkan perhitungan efek perisai diri dan penetrasi menggunakan metode yang berdasarkan teori *single collision* dimana efek hamburan diabaikan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan tampang lintang *ultra fine pointwise* serta perhitungan efek perisai diri dan penetrasi dengan metode yang berdasarkan teori *single collision* memberikan hasil yang baik bagi keping resonansi yang memiliki tampang lintang hamburan yang relatif kecil dalam metode *sandwich foil*.

Untuk penelitian selanjutnya perlu dibuat perhitungan dengan metode yang memasukkan faktor hamburan sehingga dapat digunakan untuk menganalisis keping resonansi lebih luas lagi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Prof.Dr.N.Hirakawa di Universitas Tohoku yang telah membimbing penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Nakazawa, M., Sandwich foil methode, Tokyo University, Diktat (1991).
2. Beckurts, K. H. and Wirtz, K., Neutron Physics, Springer-Verlag, New York (1964).
3. Amir, H. dan Ita, B. R., Penemuan faktor perisai diri berbagai keping aktivasi menggunakan bentuk spektrum sistem rabbit RS-1 teras RSG-GAS, Proceeding Yogyakarta (1992).

DISKUSI

Suryawinata:

Apa yang dimaksud dengan *sandwich foil*?

Ita Budi Radiyanti:

Dalam Bahasa Indonesia belum ada.