

PENGUKURAN DISTRIBUSI FLUKS NEUTRON TERMAL AKSIAL PADA ELEMEN BAKAR TERAS II RSG G.A. SIWABESSY

Surian Pinem, Amir Hamzah, Uju Jujuratsibela
Pusat Reaktor Serba Guna - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

PENGUKURAN DISTRIBUSI FLUKS NEUTRON TERMAL AKSIAL PADA ELEMEN BAKAR TERAS II RSG G.A. SIWABESSY. Pengukuran distribusi fluks neutron pada elemen bakar teras II RSG G.A. Siwabessy dilakukan terhadap empat elemen bakar, yaitu: posisi C-4, F-9, C-9 dan F-4. Pada pengukuran ini digunakan metoda aktivasi, di mana keping emas sebanyak 8 buah diletakkan sepanjang arah aksial dari setiap elemen bakar dan sebagian keping dibungkus dengan cadmium untuk mengukur kontribusi neutron epitermal. Harga fluks termal maksimum pada tiap elemen bakar terletak sekitar jarak 162,5 mm dari posisi terbawah teras yaitu: $6,79E13 \pm 5,97E12 \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ untuk posisi C-4; $7,17E13 \pm 6,29E12 \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ untuk posisi F-9; $8,26E13 \pm 1,15E13 \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ untuk posisi C-9 dan $8,41E13 \pm 1,17E13 \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ untuk posisi F-4.

ABSTRACT

THE MEASUREMENT OF THE THERMAL NEUTRON FLUX AXIAL DISTRIBUTION IN THE FUEL ELEMENT AT SECOND CORE RSG G.A. SIWABESSY. Measurement of neutron flux distribution in the fuel element at second core of RSG G.A. SIWABESSY was performed at four fuel elements, that are C-4, F-9 C-9 and F-4 position. Activation method was used, 8 gold foils along axial direction of each fuel element and for measuring epithermal contribution there are used cadmium covers. The maximum value of thermal flux for each fuel element was found at around 162,5 mm from underpeath of the core, the value are $6.79E13 \pm 5.97E12 \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ at C-4 position; $7.17E13 \pm 6.29E12 \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ at F-9 position; $8.26E13 \pm 1.15E13 \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ at C-9 position and $8.41E13 \pm 1.17E13 \text{ n.cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ at F-4 position.

PENDAHULUAN

Reaktor penelitian adalah suatu instalasi yang merupakan suatu tempat latihan dan penelitian para ilmuwan dari berbagai bidang dalam rangka pemanfaatan tenaga atom. Pengukuran fluks neutron adalah salah satu eksperimen yang sangat penting dalam operasi reaktor, dan datanya merupakan penunjang bagi pemakaian neutron di reaktor. Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy adalah suatu reaktor baru yang pada saat ini dalam tahap komisioning nuklir. Untuk itu sebelum beroperasi pada daya yang penuh, harus dilakukan beberapa eksperimen untuk mengetahui parameter nuklir yang tercapai pada kondisi keselamatan operasi.

Dalam makalah ini akan dibahas suatu eksperimen yang mengukur distribusi fluks aksial pada elemen bakar. Teknik pengukuran telah banyak dikembangkan antara lain teknik aktivasi, teknik kamar ionisasi dan teknik pencacah semikonduktor.

Dalam penelitian ini digunakan teknik aktivasi, karena biayanya murah dan mempunyai ketelitian yang sangat baik serta sensitivitas deteksinya dapat diatur dengan memilih material yang

digunakan dan waktu irradiasi. Material yang digunakan adalah keping emas yang diirradiasi di antara celah elemen bakar. Aktivitas keping yang terirradiasi diukur dengan seperangkat Spektroskopi Gamma.

Aktivasi yang terjadi selain disebabkan oleh neutron termal juga epitermal, dan efek yang ditimbulkan oleh epitermal ini harus dihilangkan dengan menggunakan pembungkus cadmium. Selisih aktivitas dari keping yang tidak dibungkus cadmium dengan keping yang dibungkus cadmium menunjukkan kontribusi dari neutron termis terhadap aktivitas keping. Ternyata bahwa aktivitas yang sebanding dengan integral dari perkalian tampang lintang serapan dan fluks neutron memberikan banyak masalah dalam perhitungan, karena tampang lintang dan fluks merupakan fungsi energi. Untuk itu dianggap bahwa tampang lintang serapan emas adalah konstan, yaitu di bawah 0,4 eV. Sedangkan untuk epitermal dan fluks neutron, berubah berbanding terbalik dengan energi. Kesalahan oleh adanya koefisien serapan diri dan koefisien depresi fluks dihitung secara teoritis.

TEORI

Interaksi neutron dengan material dapat digunakan untuk mengukur distribusi neutron dalam teras reaktor, yaitu dengan mengaktivasi sampel kecil di dalam teras reaktor. Aktivitas yang timbul dalam sampel ditentukan fluks neutronnya pada titik di mana sampel diiradiasi. Aktivitas sampel sama dengan laju reaksi dikurangi laju peluruhan. [4]

$$dN/dt = \tau_{act} N_0 \phi - \lambda N \quad (1)$$

dimana:

N = jumlah atom sampel pada waktu t

ϕ = fluks rerata dalam detektor

τ_{act} = tampang lintang sampel

N_0 = jumlah atom awal di dalam sampel

t = waktu irradiasi

$\lambda = \ln 2 / t_{1/2}$, $t_{1/2}$ = umur paruh

Penyelesaian persamaan 1 adalah :

$$N(t) = \frac{\tau_{act} N_0 \phi}{\lambda} (1 - \exp \lambda t) \quad (2)$$

Karena aktivitas adalah $N \lambda$ maka aktivitas pada waktu t adalah :

$$A(t) = \tau_{act} N_0 \phi (1 - \exp - \lambda t) \quad (3)$$

dan untuk waktu irradiasi yang tak terhingga $t \gg t_{1/2}$ maka :

$$A(t) = \infty (1 - \exp - \lambda t) \quad (4)$$

Bila sampel dipindahkan dari irradiasi neutron, aktivasi berhenti dan terjadi peluruhan. Pada waktu t_1 setelah irradiasi, aktivitasnya adalah:

$$A(t') = \infty (1 - \exp - \lambda t) \exp - \lambda t_1 \quad t' = t + t_1 \quad (5)$$

Kemudian fluks neutronnya ditentukan dengan:

$$\phi = \frac{A_{\infty}}{\tau_{act} N_0 \exp - \lambda t_1} \quad (6)$$

$$\phi = \frac{A(t') \exp \lambda t_1}{\tau_{act} N_0 (1 - \exp - \lambda t)} \quad (7)$$

Energi neutron di dalam reaktor meliputi energi neutron termal, energi neutron epitermal dan energi neutron cepat. Untuk menghitung fluks neutron termal, digunakan detektor keping tanpa pembungkus cadmium dan yang dengan pembungkus cadmium. Detektor tanpa pembungkus cadmium akan menghasilkan aktivitas yang berasal dari neutron termal dan epitermal. Sedangkan detektor keping yang dibungkus cadmium akan menghasilkan aktivitas dari neutron epitermal, karena cadmium menyerap neutron termal

(tampang lintang serapan untuk neutron dibawah energi 0,4 eV adalah 3000 barn).

Perbandingan aktivitas detektor keping tanpa pembungkus cadmium dengan yang adanya pembungkus disebut *cadmium ratio*, dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$RCd = A$ tanpa pembungkus Cd/A dengan pembungkus Cd

Dan koreksi termal dirumuskan sebagai berikut : $F_{cd} = (R_{cd} - 1) / R_{cd}$ (8)

Adanya detektor dalam medan fluks neutron akan mengganggu fluks didaerah itu. Sedang faktor gangguan fluks dapat dibagi dalam dua hal, yaitu koefisien serapan diri G dan koefisien depresi fluks H .

Koefisien serapan diri adalah kebolehdjian bahwa neutron yang masuk ke detektor tidak akan ditangkap. Secara teoritis untuk detektor berbentuk silinder, koefisien serapan diri dapat ditentukan dengan rumus [1]:

$$G = 1 - 4X/3 - X^{3/2} (\ln X/2 + \gamma - 5/4) - X^4/24 (\ln X/2 + \gamma - 7/6) \quad (9)$$

dimana:

$X = \Sigma_t \bar{a}$

$\bar{a} = 2V/S$

V = volume

S = luas permukaan

Σ_t = tampang lintang tangkapan makroskopis

$\gamma = 0,577216$

Sampel yang bersifat absorber dapat dianggap sebagai sumber yang negatif di dalam medan neutron. Faktor penurunan fluks dari fluks tanpa detektor ke fluks permukaan disebut depresi fluks. Secara teoritis, depresi fluks H dapat ditentukan dengan rumus :

$$H = \frac{1}{1 + gX (\Sigma_c / \Sigma_t) G} \quad (10)$$

dimana :

g = faktor koreksi untuk *non 1/v low* material

Σ_c = tampang lintang total makroskopis

Untuk neutron yang energinya lebih kecil dari E_{cd} maka :

$$A F_{cd} = N_0 \phi \tau_{act} F_1 (1 - \exp - \lambda t \exp - \lambda t_1) \quad (11)$$

PERALATAN YANG DIGUNAKAN

Peralatan, meliputi:

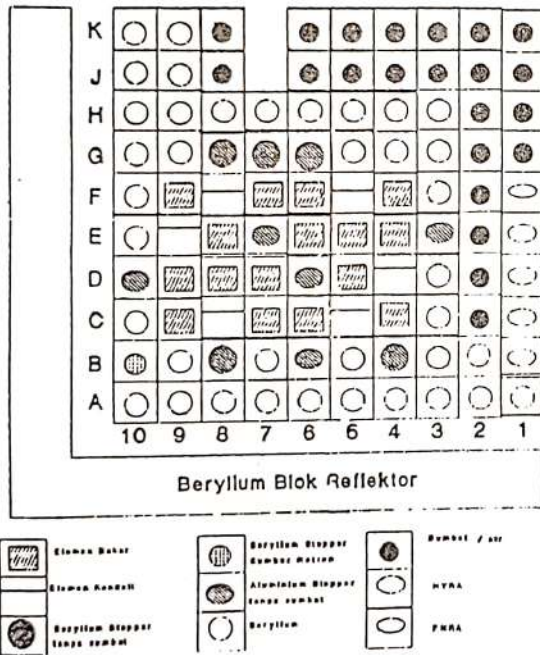
- Reaktor yang siap dioperasikan
- Detektor keping yang lengkap dengan pembungkus dan unit pemegangnya.
- Sistem spektrometer gamma yang lengkap dengan detektor dan dewarnya.

- Paket program komputer yang ada pada *hard-disk*.

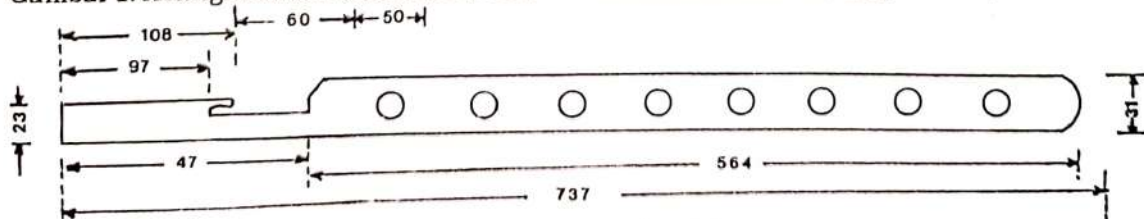
PERCOBAAN

Data keping emas:

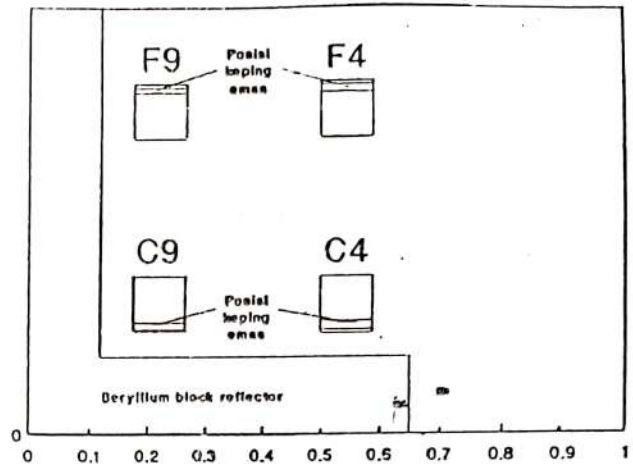
Keping emas berdiameter 1,27 cm dan tebal 0,0025 cm diletakkan pada keping aluminium dengan jarak 7,5 cm sepanjang arah aksial. Pembungkus cadmium dipasang secara selang seling dengan pembungkus aluminium. Lempe-lempe aluminium yang mengandung keping-keping tersebut disisipkan diantara plat elemen bakar no.2 dan no.3. Bentuk konfigurasi teras dapat dilihat pada gambar 1, bentuk lempeng aluminium yang digunakan untuk memasukkan detektor emas ke celah elemen bakar seperti pada gambar 2. dan posisi pengukuran pada gambar 3,



Gambar 1. Konfigurasi teras ke 2 RSG. GAS.



Gambar 2. Lempeng Aluminium.



Gambar 3. Posisi pengukuran fluks neutron.

Data Kondisi Irradiasi

- Reaktor dihidupkan pada daya 100 kw dengan periode waktu secepat mungkin.
- Untuk keping yang pada posisi C-4 dan F-9 diirradiasi selama 30 menit, dan untuk posisi C-9 dan F-4 diirradiasi selama 11 menit.
- Selama irradiasi, kondisi reaktor dalam keadaan bersih dari peracunan xenon dan samarium.

Data mengenai masa keping emas dalam kondisi iradiasi, ratio cadmium dan aktivitasnya, dapat dilihat pada tabel 1.

Pengukuran Aktivitas Keping Emas:

Aktivitas keping emas diukur dengan seperangkat spektrometer gamma. Kalibrasi energi dan efisiensi dilakukan dengan menggunakan sumber standar [2]:

^{133}Ba , ^{60}Co dan ^{137}Cs dengan data :

^{133}Ba , $A = 4,229\text{E}5 \text{ Bq} \pm 2,03\text{E}4 \text{ Bq}$

^{60}Co , $A = 4,314\text{E}5 \text{ Bq} \pm 8,197\text{E}3 \text{ Bq}$

^{137}Cs , $A = 4,322\text{E}5 \text{ Bq} \pm 1,6\text{E}4 \text{ Bq}$

yang dibuat pada tanggal 1 Agustus 1987 jam 12.00 GMT.

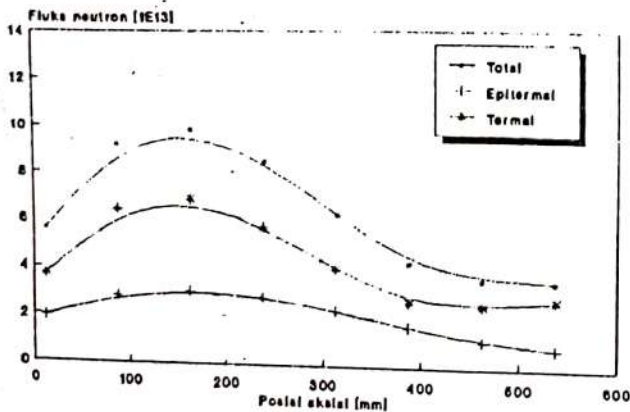
Pada saat kalibrasi maupun pengukuran aktivitas keping dilakukan koreksi terhadap waktu mati (dead time) dan tinggi pulsa (pulse pile up rejection). Jarak antara sumber standar dan keping emas diatur sedemikian rupa sehingga menimbulkan *dead time* 15%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

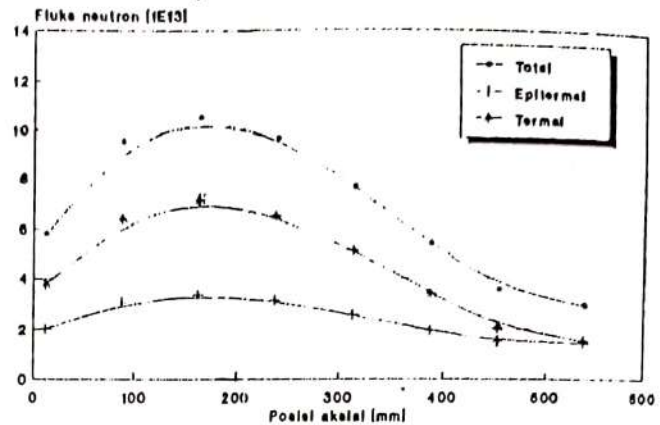
Ketelitian pengukuran dihitung dengan metode akar dari penjumlahan kwadrat terhadap ketelitian relatif setiap parameter. Berikut ini dimuat beberapa data beserta ketelitiannya:

Keping	Emas	Ketelitian
Berat Atom	197 g/mol	-
Bil. Avogadro	6,022E+23	-
Massa	Tabel 1	0,1 % [6]
Waktu irradiasi	Tabel 1	2,6 % [6]
Tampang lin	9,8 E-23 cm ²	2,0 %

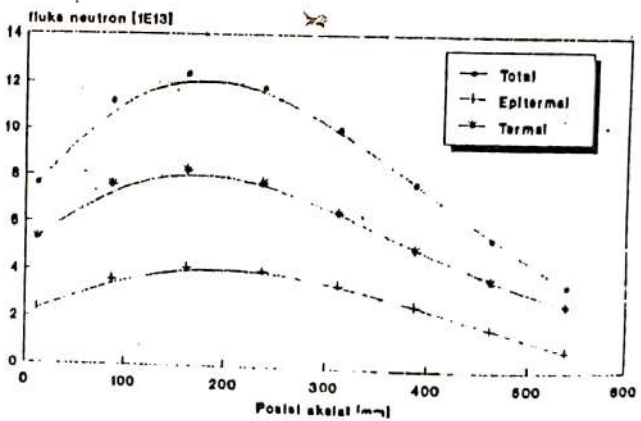
Ketelitian aktivitas spesifik yang tertera pada tabel 1 dihitung oleh paket program SPECTRAN-F yang dibuat oleh CANBERRA. Harga ratio kadmium aksial dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 1. Koefisien serapan diri untuk emas dan koefisien depresi fluks dihitung secara teoritis. Hasil yang diperoleh untuk koefisien serapan diri adalah 0,909 dan untuk koefisien depresi fluks adalah 0,994, sehingga diperoleh faktor gangguan fluks 0,9035. Distribusi fluks termal dan epitermal aksial pada posisi C-4 dan F-9 disajikan dalam gambar 4 dan 5, sedang pada posisi C-9 dan F-4 disajikan pada gambar 6 dan 7.



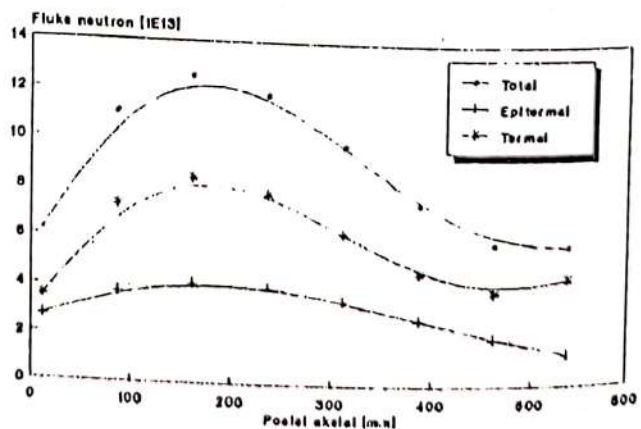
Gambar 4. Distribusi fluks aksial elemen bakar Teras II, Posisi C4, Daya nominal 19 April 1989.



Gambar 5. Distribusi fluks aksial elemen bakar Teras II, posisi F9. Daya nominal 19 April 1989.



Gambar 6. Distribusi fluks aksial elemen bakar Teras II, posisi C9. Daya nominal 18 Mei 1989.



Gambar 7. Distribusi fluks aksial elemen bakar Teras II, posisi F4. Daya nominal 18 Mei 1989.

Tabel 1. Data Irradiasi Keping Emas pada Teras II

No. Irr.	Tanggal	Awal	Akhir	Lama irr. (mnt)	Daya Reaktor (KW)	Posisi (mm)			Massa foil (g)	Pembungkusan	Aktivitas (Bq/gr)	Error (%)	R _{cd}								
						Bank	RR	Teras Aksial*)													
1.	19/04/89	14:43	15:13	30	92.86 ±5.76	253	286	C-4	12.5	Al	7.34 E8	2.92	2.918								
									87.5	Cd	3.64 E8	2.93	3.309								
									162.5	Al	1.28 E9	2.92	3.268								
									237.5	Cd	3.69 E8	2.93	3.052								
									312.5	Al	8.16 E8	2.92	2.771								
									387.5	Cd	2.14 E8	2.94	2.614								
									462.5	Al	4.74 E8	2.92	3.316								
									537.5	Cd	1.07 E8	2.96	4.373								
									F-9												
									12.5	Cd	2.66 E8	2.93	2.852								
87.5	Al	1.24 E9	2.91	3.084																	
162.5	Cd	4.40 E8	2.92	3.123																	
237.5	Al	1.13 E9	2.92	3.087																	
312.5	Cd	3.36 E8	2.93	2.983																	
387.5	Al	9.20 E8	2.92	2.750																	
462.5	Cd	1.45 E8	2.92	2.375																	
537.5	Al	3.89 E8	2.92	2.070																	
2.	18/05/89	16:55	17:06	11	84.42 ±5.23	260	295	C-9	12.5	Al	3.36 E8	2.82	3.308								
									87.5	Cd	1.59 E8	2.88	3.105								
									162.5	Al	5.47 E8	2.81	2.992								
									237.5	Cd	1.79 E8	2.87	2.907								
									312.5	Al	4.44 E8	2.82	2.853								
									387.5	Cd	1.19 E8	2.92	2.866								
									462.5	Al	2.43 E8	2.83	3.153								
									537.5	Cd	5.60 E7	2.99	4.374								
									F-4												
									12.5	Al	2.74 E8	2.83	2.310								
87.5	Cd	1.66 E8	2.88	2.933																	
162.5	Al	5.55 E9	2.81	3.023																	
237.5	Cd	1.77 E8	2.87	2.945																	
312.5	Al	4.33 E8	2.82	2.789																	
387.5	Cd	1.23 E8	2.91	2.689																	
462.5	Al	2.62 E8	2.83	2.945																	
537.5	Cd	5.87 E8	2.99	4.367																	

Keterangan : *) diukur dari posisi terbarah teras

KESIMPULAN DAN SARAN

Harga fluks termal maksimum setiap elemen bakar pada jarak 162,5 mm dari posisi terbawah teras adalah $6,79E13 \pm 5,97E12$ untuk posisi C-7; $7,17E13 \pm 6,29E12$ untuk posisi F-9; $8,26E13 \pm 1,15E13$ untuk posisi C-9 dan $8,41E13 \pm 1,17E13$ untuk posisi F-4.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini hanya fluks neutron termal dan epitermal saja, selanjutnya diharapkan dapat ditentukan fluks neutron cepatnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Neutron Fluence Measurement*, Technical Report Series No.107, IAEA, 1970.
2. DAUK, Dr., *n-Flux Measurement*, Interatom, 1987.
3. Fisika Reaktor, RSG, *Laporan Data Pengukuran Fluks Neutron Teras II RSG G.A. SIWA-BESSY*, 1989.
4. NABBI, R., *Experiment Reactor Physics for Indonesia Research Reactor MPR-30*, BATAN, 1989.
5. *Documentation of Reactor Experiments Co*, sesuai dengan cat.no. 380.
6. *Chart of Nuclides*, Karlsruhe, 1974.
7. *Documentation of Canberra Co. on SPECTRAN-F*.

DISKUSI

Mochtar :

Cara koreksi fluks, pengaruh dari kritis data rendah ke daya yang ditentukan.

Surian Pinem :

Dalam eksperimen ini diusahakan kenaikan daya secepat mungkin, dan untuk itu dipasang reactivity agar dapat dilihat waktu yang tepat.