

## PENGUKURAN FLUKS NEUTRON TERMAL DAN EPITERMAL PADA POSISI D-6 DAN E-7 DI FASILITAS CIP RSG-GAS PADA TERAS 109

Nur Faturohmi <sup>1)</sup>

1) Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Indonesia

Email: [nurf012@brin.go.id](mailto:nurf012@brin.go.id)

### Abstrak

*Central Irradiation Position (CIP)* merupakan salah satu fasilitas iradiasi pada Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) yang digunakan untuk iradiasi sampel radioisotop dalam bidang medis dan penelitian industri nuklir. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan nilai fluks neutron termal pada teras 109, dengan total energi yang terbangkitkan sebelum eksperimen sebesar 102,8182 Megawatt-day (MWd). Pengukuran fluks neutron termal dan epitermal dilakukan di CIP pada posisi D-6 dan E-7 menggunakan metode aktivasi keping Au-Al. Sebanyak 36 keping diiradiasi pada daya 200 kW selama 31 menit, kemudian hasil iradiasi dicacah selama 600 detik menggunakan spektrometer gamma dan dianalisis dengan perangkat lunak Genie 2000. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa fluks neutron termal rata-rata di posisi D-6 dan E-7 masing-masing sebesar  $3,208 \times 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>.s dan  $3,281 \times 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>.s. Adapun fluks neutron epitermal rata-rata pada kedua posisi tersebut adalah  $1,034 \times 10^{11}$  n/cm<sup>2</sup>.s untuk D-6 dan  $1,135 \times 10^{11}$  n/cm<sup>2</sup>.s untuk E-7. Nilai fluks yang diperoleh dapat digunakan sebagai data evaluasi terhadap pengukuran sebelumnya serta sebagai pertimbangan dalam utilisasi di fasilitas CIP.

**Kata Kunci :** Termal, Epitermal, CIP

### Latar belakang

Pengukuran fluks neutron merupakan elemen penting dalam pengoperasian reaktor riset untuk menentukan distribusi neutron di dalam teras, baik untuk kebutuhan pengguna iradiasi maupun untuk menjaga keselamatan reaktor. Fluks neutron, yaitu jumlah neutron yang melewati satu satuan luas per satuan waktu (n/cm<sup>2</sup>.s), berpengaruh langsung terhadap laju reaksi nuklir, tingkat aktivasi bahan, dan efisiensi operasi reaktor.

Reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy (RSG-GAS) sebagai reaktor riset berjenis *Material Testing Reactor* (MTR) memiliki berbagai fasilitas iradiasi untuk penelitian, produksi radioisotop, dan pengujian material. Salah satu fasilitas yang paling banyak dimanfaatkan adalah *Central Irradiation Position* (CIP), yang memiliki nilai fluks neutron paling tinggi sehingga dapat digunakan untuk iradiasi sampel radioisotop dalam bidang medis maupun industri.

Data fluks neutron yang akurat sangat penting, menjadi dasar dalam perhitungan aktivitas hasil iradiasi, evaluasi keselamatan, serta optimalisasi pemanfaatan fasilitas. Namun, perubahan konfigurasi teras, burnup bahan bakar, dan kondisi operasi reaktor dapat mengakibatkan variasi fluks neutron, sehingga pengukuran ulang perlu dilakukan secara berkala untuk memastikan kesesuaiannya dengan kondisi teras terbaru.

Pada teras 109, reaktor telah menghasilkan total energi sebesar 102,8182 MWd sebelum percobaan, yang berpotensi memengaruhi nilai fluks neutron di posisi CIP. Oleh karena itu, dilakukan pengukuran fluks neutron termal dan epitermal di posisi D-6 dan E-7 menggunakan metode aktivasi keping Au-Al karena memiliki sensitivitas tinggi terhadap berbagai spektrum neutron. Hasil pengukuran ini diharapkan dapat menggambarkan karakteristik nilai fluks neutron pada teras 109, sekaligus menjadi pembandingan terhadap data sebelumnya dan acuan bagi pemanfaatan fasilitas CIP pada eksperimen berikutnya.

### Keterkaitan Penelitian dengan Rujukan Sebelumnya

Berbagai penelitian sebelumnya telah melakukan pengukuran fluks neutron di Fasilitas RSG-GAS menggunakan metode aktivasi Au-Al pada konfigurasi teras yang berbeda. Studi-studi tersebut menunjukkan bahwa perubahan konfigurasi teras dan burnup bahan bakar berpengaruh signifikan terhadap distribusi fluks neutron, sehingga data fluks perlu diperbarui secara berkala.

Penelitian ini melanjutkan dan memperbarui rujukan sebelumnya dengan melakukan pengukuran pada teras 109 yang memiliki kondisi operasi dan total energi terbangkitkan berbeda dari teras-teras sebelumnya. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya menjadi pembandingan

terhadap data terdahulu, tetapi juga menyediakan referensi terbaru untuk pemanfaatan fasilitas CIP RSG GAS.

### Studi Pustaka Neutron Termal

Neutron termal ialah neutron yang memiliki energi di bawah 0,5 eV. Untuk memperoleh aktivitas yang murni berasal dari neutron termal, sebagian keping aktivasi dibungkus menggunakan cadmium. Penggunaan cadmium sebagai pembungkus berdasarkan sifatnya yang memilikiampang lintang penyerapan yang sangat besar terhadap neutron termal, sementara kontribusi penyerapan cadmium terhadap neutron epitermal dapat diabaikan. Pada ketebalan tertentu ( $\pm 0,75$  mm), cadmium berfungsi sebagai filter yang menyerap seluruh neutron dengan energi di bawah batas cut-off ( $< 0,5$  eV) selama proses iradiasi. Sebaliknya, neutron dengan energi lebih tinggi hampir seluruhnya mampu menembus cadmium tanpa mengalami penyerapan.

### Metode

Pengukuran fluks neutron termal dan epitermal dilakukan pada teas 109 dengan metode aktivasi keping Au-Al. Keping Au-Al dengan fraksi emas (Au) sebesar 0.1 % wtAu, berdiameter 1.25 cm dan tebal 0.1 mm. Sebanyak 16 buah keping diletakkan pada lempengan alumunium (*stinger*) setebal 1.5 mm dengan panjang 600 mm (Tabel 1). Keping emas diletakkan pada stinger sehingga dapat terukur fluks neutron dari arah aksial teras dengan menggunakan pembungkus cadmium dan alumunium berdampingan (lihat gambar 1).

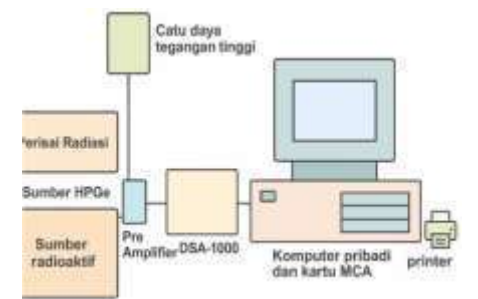
Reaktor dioperasikan dengan daya rendah 200 kW tanpa mengoperasikan pompa pendingin primer. Setelah daya stabil di 200 kW, *stinger* dimasukkan kedalam dua posisi CIP yaitu D-6 dan E-7 data posisi teras dapat dilihat di gambar 2. *Stinger* diiradiasi selama 30 menit, agar aktivitas yang didapatkan cukup untuk dicacah dalam detektor HPGe dengan sistem spektroskopi gamma (lihat gambar 3). Pada akhir iradiasi reaktor dimatikan dengan cara pancung (srcam) untuk menghindari koreksi aktivitas selama penurunan daya.

**Tabel 1. Data Keping Au Foil yang diiradiasi**

No	Daya Reaktor (kW)	Posisi Teras	Posisi Aksial (mm)	Massa (gr)	Pembungkus
19	200	E-7	2.75	0.0333	Cd
20			7.65	0.0299	Cd
21			12.60	0.0267	Cd
22			17.50	0.0307	Cd
23			22.45	0.0328	Cd
24			27.35	0.0262	Cd
25			32.85	0.0238	Cd
26			45.10	0.0220	Cd
27			57.35	0.0218	Cd
28			2.75	0.0255	Al
29			7.65	0.0235	Al
30			12.60	0.0252	Al
31			17.50	0.0326	Al
32			22.45	0.0246	Al
33			27.35	0.0262	Al
34			32.85	0.0232	Al
35			45.10	0.0277	Al
36			57.35	0.0240	Al



Gambar 1. Pemegang keping foil (stinger)



Gambar 2. Sistem spektrometri gamma

Tabel 2. Sistem Spektrometri Gamma

No	Daya Reaktor (kW)	Posisi Teras	Posisi Aksial (mm)	Massa (gr)	Pembungkusan
1	200	D-6	2.75	0.0304	Cd
2			7.65	0.0269	Cd
3			12.60	0.0301	Cd
4			17.50	0.0305	Cd
5			22.45	0.0331	Cd
6			27.35	0.0332	Cd
7			32.85	0.0301	Cd
8			45.10	0.0302	Cd
9			57.35	0.0280	Cd
10			2.75	0.0330	Al
11			7.65	0.0267	Al
12			12.60	0.0334	Al
13			17.50	0.0334	Al
14			22.45	0.0375	Al
15			27.35	0.0336	Al
16			32.85	0.0245	Al
17			45.10	0.0286	Al
18			57.35	0.0302	Al

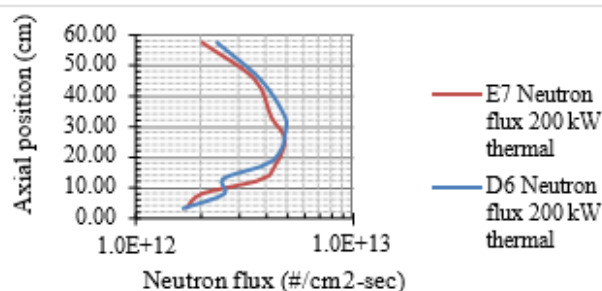
### Hasil dan Pembahasan

Hasil pengukuran aktivasi keping Au-Al, untuk fluks neutron termal dan epitermal dapat dilihat pada tabel 3. Material alumunium memiliki tampang lintang serapan neutron termal yang kecil, maka keping yang dibungkus dengan alumunium dianggap keping terbuka. Sedangkan keping yang dibungkus dengan cadnium diletakan disamping keping yang terbungkus alumunium. Keping cadnium ini digunakan untuk mendapatkan nilai aktivitas diantara dua keping yang dibungkus cadmium dilakukan interpolasi dengan kurva penyokong berdasarkan pendekatan persamaan polinomial.

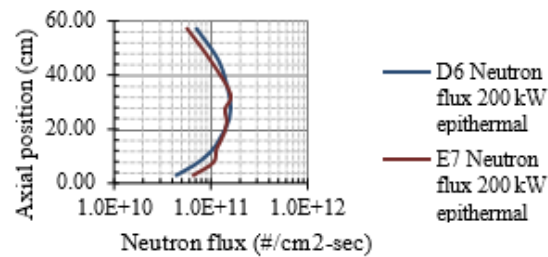
Hasil pengukuran fluks neutron aksial pada fasilitas CIP didapatkan fluks neutron rerata sebagai berikut. Fluks neutron rerata termal diposisi D-6 sebesar  $3.208\text{E}+12$  dan posisi E-7 sebesar  $3.281\text{E}+12$ . Sedangkan untuk fluks neutron rerata epitermal D-6 sebesar  $1.034\text{E}+11$  dan E-7 sebesar  $1.135\text{E}+11$ . Nilai ini tidak melebihi dari batas keselamatan pengoperasian fasilitas CIP sehingga hasil ini dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan iradiasi radioisotop atau litbang yang lainnya.

**Tabel 3. Hasil pengukuran fluks neutron D-6 dan E-7**

Teras	Posisi Aksial (mm)	Specific activity (Bq/gr)				Neutron flux 200 kW	
		AuAl+Cd		AuAl+Al		thermal	epithermal
D-6	2.75	1	1.78E+09	10	5.54E+09	2.36E+12	7.05E+10
	7.65	2	3.09E+09	11	9.13E+09	3.80E+12	1.22E+11
	12.6	3	3.94E+09	12	1.18E+10	4.96E+12	1.55E+11
	17.5	4	4.10E+09	13	1.20E+10	4.96E+12	1.62E+11
	22.45	5	3.88E+09	14	1.15E+10	4.79E+12	1.53E+11
	27.35	6	3.29E+09	15	9.87E+09	4.14E+12	1.30E+11
	32.85	7	2.69E+09	16	6.73E+09	2.54E+12	1.06E+11
	45.1	8	1.89E+09	17	5.99E+09	2.58E+12	7.47E+10
	57.35	9	1.09E+09	18	3.69E+09	1.63E+12	4.32E+10
D-6	2.75	19	1.47E+09	28	4.68E+09	2.02E+12	5.80E+10
	7.65	20	2.64E+09	29	8.31E+09	3.57E+12	1.04E+11
	12.6	21	4.23E+09	30	1.10E+10	4.24E+12	1.67E+11
	17.5	22	3.71E+09	31	1.14E+10	4.82E+12	1.46E+11
	22.45	23	3.87E+09	32	1.16E+10	4.86E+12	1.53E+11
	27.35	24	3.55E+09	33	1.07E+10	4.47E+12	1.40E+11
	32.85	25	3.02E+09	34	9.32E+09	3.96E+12	1.19E+11
	45.1	26	2.80E+09	35	6.02E+09	2.03E+12	1.11E+11
	57.35	27	1.69E+09	36	4.42E+09	1.72E+12	6.69E+10



Grafik 1. Fluks neutron termal di posisi CIP RSG GAS



Grafik 2. Fluks neutron epitermal di posisi CIP RSG GAS

### Kesimpulan

Dari hasil pengukuran fluks neutron termal dan epitermal diposisi D-6 dan E-7 pada teras 109 ini dapat disimpulkan bahwa pada jarak aksial fluks rerata pada posisi D-6 sebesar termal  $3.208\text{E}+12$  dan epitermal  $1.034\text{E}+11$ , sedangkan untuk posisi E-7 fluks termal sebesar  $3.281\text{E}+12$  dan epitermal  $1.135\text{E}+11$ . Hal ini dapat dilihat pada grafik di atas bahwa pada posisi di tengah mempunyai distribusi fluks neutron yang lebih besar karena sebagian neutron diserap oleh batang kendali. Dengan demikian fasilitas iradiasi CIP dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan iradiasi sampel radioisotop dalam bidang medis dan penelitian industri nuklir.

### Daftar Pustaka

- [1] Kuntoro, I., Pinem, S., & Sembiring, T. M. (2023). Pengenalan Ilmu Fisika dalam Operasi Reaktor Nuklir. Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).
- [2] Iman, J. (2017). Distribusi fluks neutron termal daya 2 MW pada posisi iradiasi B- 6, D-9 dan G-7 RSG-GAS. Jurnal Forum Nuklir.
- [3] Ratnawati, E., Iman, J., & Ali, H. (2016). Evaluasi fluks neutron thermal dan epithermal di fasilitas sistem rabbit RSG-GAS teras 89. Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir.
- [4] Iman, J., Hartaman, S., & Sihombing, E. (2015). Evaluasi fluks neutron termal di fasilitas PRTF RSG-GAS. Prosiding Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir.
- [5] SOP Pengukuran fluks neutron di plat elemen bakar posisi iradiasi pusat (CIP) RSG-GAS, Laporan Teknis Nomer T.002 – P.002 / II.6.5 / IRSG 1.3-IV / RN 00 01 / 2024 BRIN.