

PENGUKURAN PERUBAHAN DISTRIBUSI FLUKS NEUTRON TERAS SILISIDA RSG-GAS

Amir Hamzah

ABSTRAK

PENGUKURAN PERUBAHAN DISTRIBUSI FLUKS NEUTRON TERAS SILISIDA RSG-GAS.

Dalam rangka konversi teras RSG GAS dari bahan bakar oksida menjadi silisida U_3Si_2-Al (Uranium terdepleksi) maka dilakukan pengukuran perubahan reaktivitas dan depresi fluks neutron saat penyisipan elemen bakar silisida tersebut. Pengukuran perubahan reaktivitas telah dilakukan pada tahun lalu dengan metoda kalibrasi batang kendali.¹⁾ Pada tahun ini dilakukan pengukuran distribusi fluks neutron yang dilakukan dengan metoda aktivasi keping pada posisi elemen bakar A-6, C-6, F-7, H-7, E-3, E-5, D-8 dan D-10 serta posisi iradiasi B-6, G-7, E-4, E-6, D-7 dan D-9, pada daya reaktor 100 kW. Hasil pengukuran distribusi fluks neutron termal rerata aksial di posisi elemen bakar berkisar antara $2,47E12$ dan $3,55E12$ $n/cm^2/det$ sedangkan di posisi iradiasi berkisar antara $6,67E12$ dan $8,18E12$ $n/cm^2/det$ pada daya 100 kW.

ABSTRACT

NEUTRON FLUX DISTRIBUTION CHANGE MEASUREMENTS IN THE RSG-GAS SILICIDE CORE.

In order to convert the RSG-GAS core fuel element from oxide to silicide, accordingly the reactivity change and neutron flux depression is needed to measure. Reactivity change measurement using control rod calibration method was done last year. Using foil activation method did continuing those measurements, therefore in this year neutron flux distribution were done. The positions of measurement are at the fuel elements of A-6, C-6, F-7, H-7, E-3, E-5, D-8 and D-10 and in irradiation position of B-6, G-7, E-4, E-6, D-7 and D-9 at 100 kW reactor power. The averages of measurement results are between $2,47E12$ and $3,55E12$ $n/cm^2/s$ at the fuel elements positions, and for the irradiation positions are between $6,67E12$ and $8,18E12$ $n/cm^2/s$ at that power.

PENDAHULUAN

Elemen bakar dispersi U_3Si_2-Al dengan tingkat muat $2,96$ gr U/cm^3 pengayaan $19,75\%$ U^{235} berhasil diproduksi di Pusbang Teknologi Bahan Bakar Nuklir dan Daur Ulang (Pusbang TBDU), dan telah diiradiasi di RSG-GAS hingga fraksi bakar sekitar 50% . Unjuk kerja elemen bakar selama iradiasi dan hasil uji pasca iradiasi cukup memuaskan sehingga mendorong penelitian lanjut untuk pengembangan ke tingkat muat Uranium yang lebih tinggi agar reaktivitas teras reaktor dapat ditingkatkan hingga menyamai penggunaan bahan bakar dengan pengayaan tinggi ($>90\%$ U^{235}).

Elemen bakar U_3Si_2-Al adalah suatu elemen bakar alternatif yang diharapkan dapat menggantikan elemen bakar U_3O_8-Al di masa mendatang karena beberapa faktor keunggulan yang dimiliki oleh U_3Si_2-Al . Faktor keunggulan tersebut antara lain, densitas U_3Si_2-Al yang lebih besar dari pada U_3O_8-Al sehingga menghasilkan angka muat uranium yang lebih tinggi pada

volume muatan yang sama. Di samping itu U_3Si_2-Al lebih stabil dibandingkan dengan U_3O_8-Al .

Pengoperasian RSG-GAS dibatasi oleh kriteria keselamatan tertentu, dengan demikian penyisipan elemen bakar silisida ke dalam teras RSG-GAS perlu ditinjau dari aspek keselamatan secara eksperimen. Eksperimen yang dilakukan meliputi pengukuran gangguan reaktivitas dan depresi fluks saat penyisipan elemen bakar uji tersebut untuk memastikan keselamatan operasi reaktor.

Pada makalah ini disajikan hasil penelitian mengenai pengukuran distribusi fluks neutron termal teras ke-38 RSG GAS. Di samping itu juga dilakukan pengukuran spektrum neutron di posisi iradiasi IP dan CIP.

TEORI^{2,3,4)}

Berdasarkan hasil pengukuran aktivitas keping emas yang digunakan, besarnya fluks neutron termal pada kondisi awal dan pada kondisi setelah penyisipan elemen bakar uji silisida ditentukan dengan persamaan :

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

dengan :

- BA = berat atom emas,
- A_{bare} = aktivitas keping terbuka,
- A_{cd} = aktivitas keping terbungkus cadmium,
- m = massa keping emas,
- N₀ = bilangan avogadro,
- σ_{th} = tampang lintang aktivasi unsur emas,
- G_{th} = faktor perisai diri termal keping emas,
- λ = konstanta peluruhan isotop Au¹⁹⁸,
- t_i = waktu iradiasi keping emas.

Pengukuran spektrum neutron dilakukan dengan menggunakan paket program SAND-II berdasarkan hasil pengukuran aktivitas keping-keping yang digunakan. Prinsip dasar dari program SAND-II adalah memodifikasi spektrum masukan yang berasal dari hasil perhitungan dengan kriteria perbandingan aktivitas perhitungan yang paling mendekati nilai aktivitas hasil pengukuran yang dirumuskan sebagai :

$$A = \sum_i \sigma_i \phi_i \dots\dots\dots(2)$$

dengan σ_i adalah tampang lintang aktivasi dan φ_i adalah fluks neutron kelompok ke-i.

PELAKSANAAN

Pengukuran distribusi fluks neutron termal dan spektrum neutron dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

- a. Peletakan keping-keping pada pemegang keping yang berisi delapan buah keping untuk tiap posisi pengukuran di elemen bakar maupun di posisi iradiasi. Empat dari keping tersebut dibungkus dengan Cd dan yang lainnya dibungkus dengan Al kemudian disusun secara berselang-seling.
- b. Penyisipan pemegang keping ke sela-sela pelat elemen bakar dan di posisi iradiasi.
- c. Iradiasi keping-keping emas pada posisi elemen bakar oksida A-6, B-6, C-6, F-7, G-7, H-7, E-3, E-4, E-5, E-6, D-7, D-8, D-9 dan
- d. d-10 dengan daya reaktor 100 kW selama 30 menit tanpa menghidupkan pompa primer.
- e. Pengukuran aktivitas keping-keping yang telah diiradiasi pada posisi-posisi di atas dan penentuan distribusi fluks neutron termal.
- f. Pengukuran spektrum neutron dilakukan dengan menggunakan paket program SAND-II berdasarkan hasil pengukuran aktivitas keping-keping yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi atomis elemen bakar silisida dan oksida 250 gram adalah sebagai berikut dalam satuan (atom/(barn.cm)) : ⁵⁾

U₃Si₂-Al		U₃O₈-Al	
U-235	: 1,50025E-3	U-235	: 1,50025E-3
U-238	: 6,01895E-3	U-238	: 6,01895E-3
Si-28	: 5,01267E-3	O-16	: 2,00507E-2
Al-27	: 4,30311E-2	Al-27	: 3,12531E-2

Pada tabel komposisi atom elemen bakar silisida dan oksida di atas terlihat bahwa komposisi Si-28 lebih kecil dibandingkan dengan komposisi O-16 dengan demikian dapat dipahami bahwa reaktivitas elemen bakar silisida akan menjadi lebih positif dibandingkan dengan elemen bakar oksida.

Hasil pengukuran distribusi fluks neutron pada seluruh posisi elemen bakar A-6, C-6, F-7, H-7, E-3, E-5, D-8 dan D-10 serta posisi iradiasi B-6, G-7, E-4, E-6, D-7 dan D-9 pada daya reaktor 100 kW diplot pada Gambar 1.a. dan 1.b. Sedangkan hasil pengukuran fluks neutron termal merata aksial pada semua posisi di atas dipetakan pada Gambar 2. Terlihat pada Gambar 3 bahwa fluks neutron termal merata aksial pada posisi elemen bakar berkisar antara 2,47E12 dan 3,55E12 n/cm²/det serta pada posisi iradiasi berkisar antara 6,67E12 dan 8,18E12 n/cm²/det pada daya 100 kW. Besarnya fluks neutron termal di posisi iradiasi hampir 3 kali lipat dibandingkan pada posisi elemen bakar.

Hasil pengukuran spektrum neutron di posisi iradiasi IP dan CIP diplot pada Gambar 2. Pada gambar spektrum neutron tersebut terlihat lonjakan yang jelas pada daerah epitermal terhadap bentuk spektrum awal. Hal itu disebabkan oleh data spektrum neutron masukan program SAND-II berasal dari hasil perhitungan reaktor penelitian di Petten, Belanda. Data tersebut digunakan karena ketiada tersediaan data hasil perhitungan spektrum neutron di RSG-GAS dengan jumlah kelompok sebanyak 640 kelompok. ⁶⁾

Disamping itu, pada daerah epitermal juga timbul puncak-puncak resonansi yang berasal dari adanya penyerapan neutron oleh keping-keping yang digunakan pada pengukuran ini. Hal itu akan dapat diatasi dengan penggunaan keping yang berupa keping alloy dengan aluminium atau penerapan koreksi perisai diri. ⁷⁾ Hal itu belum dapat dilakukan di sini karena memerlukan usaha yang lebih keras lagi dan akan dilakukan pada saat yang akan datang.

KESIMPULAN DAN SARAN

- Distribusi fluks neutron termal pada teras ke 38 yaitu teras berbahan bakar campuran tersebut masih berada pada harga yang cukup untuk keperluan operasi reaktor yang akan dimanfaatkan untuk berbagai keperluan. Pengukuran distribusi fluks neutron ini masih perlu diukur pada teras-teras transisi berikutnya dalam rangka ketersediaan data fluks neutron untuk berbagai keperluan.
- Spektrum neutron terukur di posisi iradiasi IP dan CIP masih perlu disempurnakan untuk menghilangkan adanya puncak-puncak resonansi pada daerah epitermal sebagai akibat serapan neutron oleh keping-keping yang digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penelitian ini. Khususnya kepada Sdr. Jaka Iman yang telah membantu secara teknis penelitian, demikian pula kepada Supervisor dan Operator reaktor yang sangat membantu dalam penyisipan keping-keping emas dan pengoperasian reaktor. Demikian pula kepada teman-teman peneliti di BPTR-P2TRR Batan yang dengan sangat antusias mendukung keberhasilan penelitian ini.

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). K.H. BECKURTS and K. WIRTZ, Neutron Physics, Springer-Verlag, New York, 1964.
- 3). IAEA TECH. REP., SERIES NO. 107, *Neutron Fluence Measurement*, 1970.
- 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.
- 5). LIEM PENG HONG dkk., Pengembangan dan Penyusunan Paket Program Komputer Teruji Manajemen Bahan Bakar Teras Reaktor Nuklir, Dokumentasi Riset Terpilih, Serpong, 1998.
- 6). ORNL, *Neutron Flux Spectra Determination By Multiple Foil Activation Iterative Method*, SAND II, RSIC Computer Code Collection, CCC-112, AFWL-TR 67-41, Vol. I-IV, BNWL-855.
- 7). AMIR HAMZAH, Pengukuran Fluks dan Spektrum Neutron di Fasilitas Dopping Silikon RSG-GAS, Prosiding Seminal keempat Teknologi dan Keselamatan PLTN serta Fasilitas Nuklir, Jakarta 10 – 11 Desember 1996.

DISKUSI

Penanya : (Mochamad Imron)

Mengapa pada insersi 19 elemen silisida justru reaktor kritis lebih lama ?

Jawaban : (Amir Hamzah)

Selain komposisi EB, posisi loading EB juga sangat mempengaruhi besarnya reaktivitas EB tersebut. Mungkin perbedaan jumlah insersi tersebut salah satunya adalah adanya perbedaan posisi resersi EB.

Penanya : (Endiah Puji Hastuti)

1. Untuk keperluan ansys keselamatan diperlukan distribusi puncak daya aksial di posisi terpanas, apakah penempatan keping untuk pengukuran telah diperhitungkan untuk memenuhi keperluan tersebut ?
2. Pengukuran yang dilakukan baru pada teras transisi, maka agar direncanakan pengukuran distribusi daya radial/aksial pada teras silisida “penuh”.

Jawaban : (Amir Hamzah)

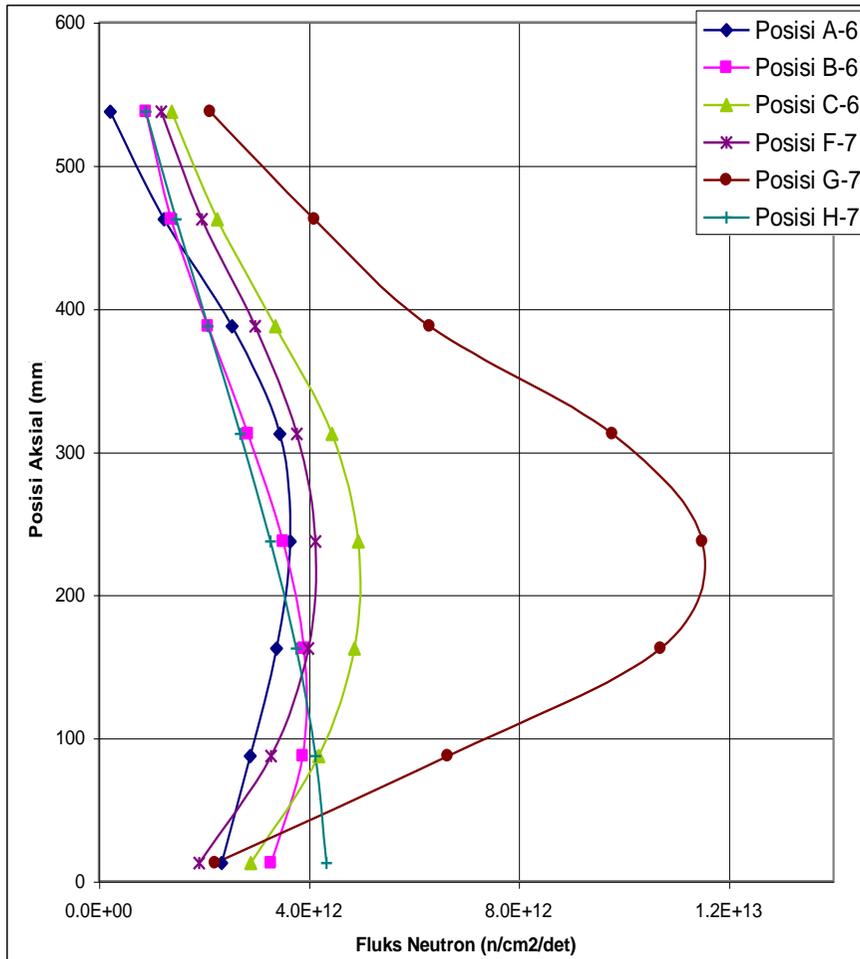
1. Ya, yaitu pada sekitar antara plat ke 9 s/d 12
2. Insya Allah akan dilakukan

Penanya : (N. Nababan)

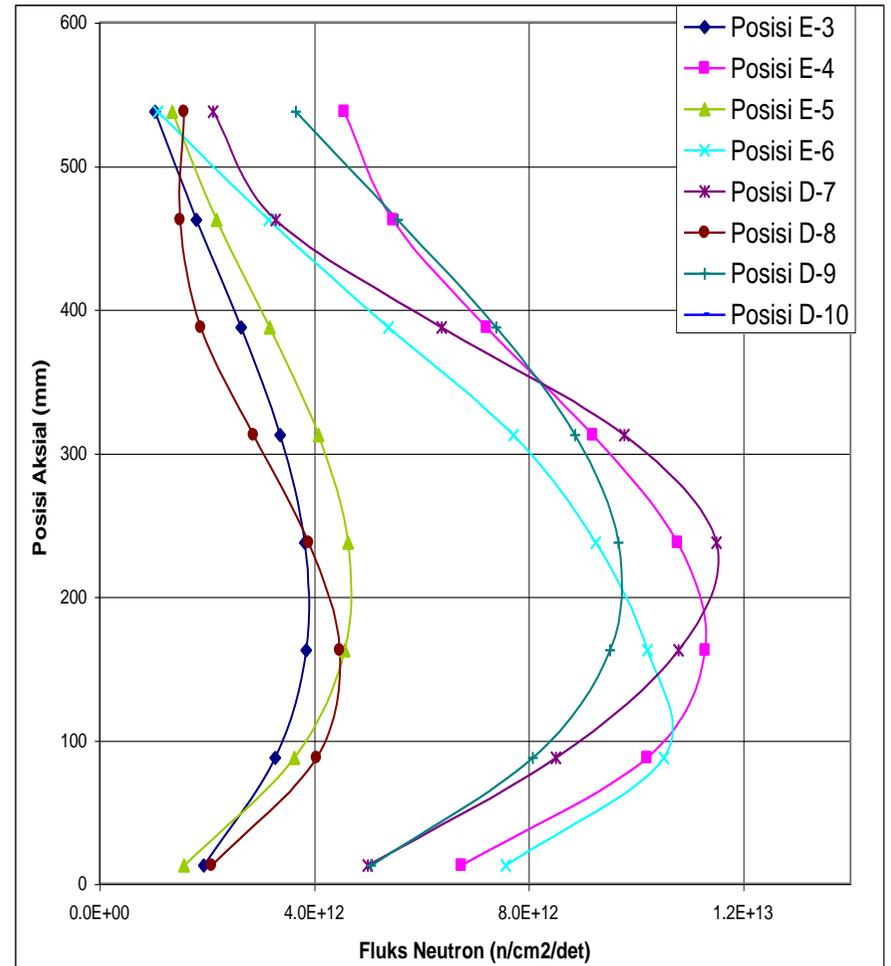
Bagaimana pengaruh spesifikasi keping emas terhadap hasil pengukuran ?, Bila ada pengaruhnya sejauh mana ?

Jawaban : (Amir Hamzah)

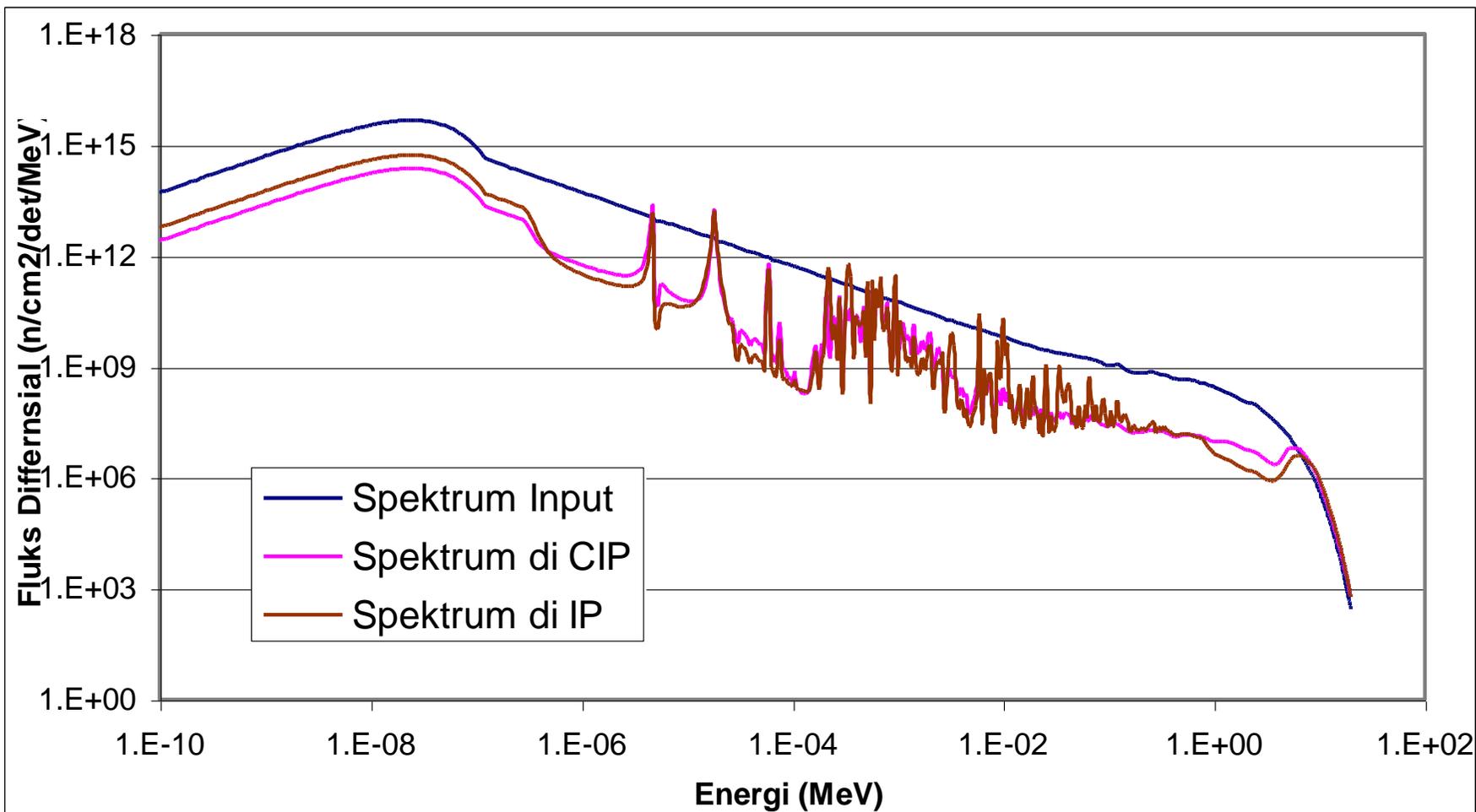
Pengaruh spesifikasi keping sangat besar terhadap pengukuran. Pada penelitian ini digunakan keping dengan spesifikasi internasional dan diperoleh dari *Reactor Experiment*.



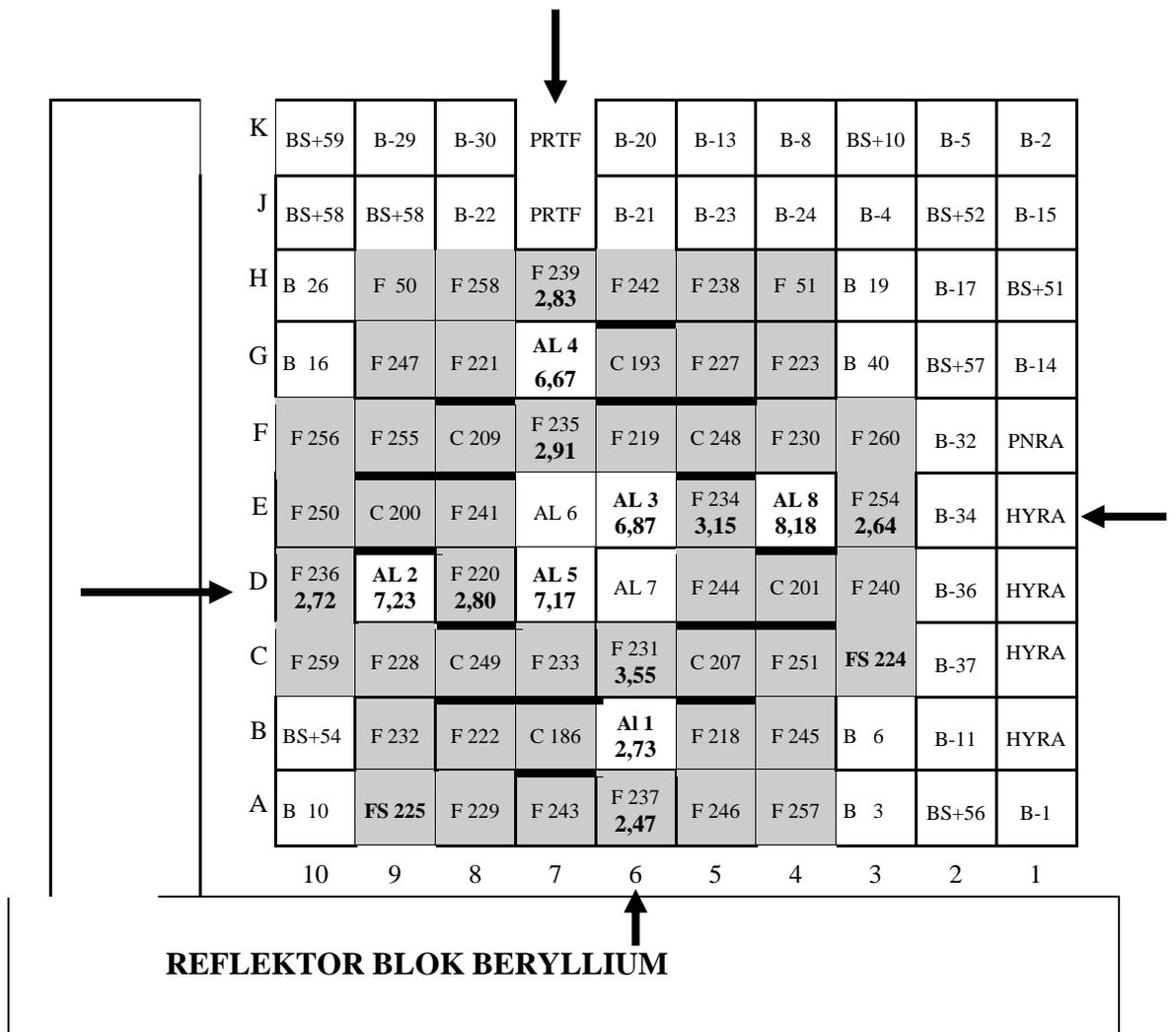
Gambar 1.a. Distribusi Fluks Neutron Termal Teras 38 RSG GAS



Gambar 1.b. Distribusi Fluks Neutron Termal Teras 38 RSG GAS



Gambar 2. Spektrum Neutron di CIP dan di IP Teras 38 RSG GAS



Keterangan :

- F xxx = Elemen Bakar Oksida,
- FS xxx = Elemen Bakar Silisida,
- y,yy = Fluks neutron termal rerata aksial ($\times 10^{12}$ n/cm²/det; P = 100 Kw),
- C xxx = Elemen bakar kontrol,
- B xx = Elemen Beryllium,
- BS+xx = Elemen Beryllium Stopper dengan sumbat,
- Al x = Alumminium Stopper tanpa sumbat,
- NS = Sumber Neutron.

Gambar 3. Konfigurasi teras tiga puluh delapan dengan hasil pengukuran fluks neutron termal rerata aksial.