

## PENENTUAN FRAKSI BAKAR ELEMEN BAKAR BEKAS TIPE MTR PENGAYAAN RENDAH DENGAN METODA PERBANDINGAN AKTIVITAS $Cs^{134}/Cs^{137}$

H. Hastowo, Y.S. Pane, A. Hamzah, P.H Liem, Setyanto, H. Sudirdjo, A. Mardha, S. Sudjalmo, S. Amini, H. Nasution, L. Hakim

### ABSTRAK

#### PENENTUAN FRAKSI BAKAR ELEMEN BAKAR BEKAS TIPE MTR PENGAYAAN RENDAH DENGAN METODA PERBANDINGAN AKTIVITAS $Cs^{134}/Cs^{137}$

Kegiatan penelitian Penentuan Fraksi Bakar Elemen Bakar Tipe MTR Pengayaan Rendah untuk tahun kedua lebih banyak dilakukan di Instalasi RMI PEBN BATAN terutama untuk melakukan pengukuran distribusi aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  yang terdapat pada plat elemen bakar. Tiga buah plat elemen bakar yang diperoleh dari perangkat elemen bakar oksida RI-E-02, yaitu plat no. 2, 6, dan 11, telah diukur distribusi aksialnya. Distribusi aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  yang diperoleh dari pengukuran plat EB dapat dikatakan sesuai dengan hasil yang dilakukan sebelumnya di RSG-GAS untuk perangkat elemen bakar. Kegiatan lain yang dilakukan adalah persiapan untuk melakukan uji merusak pada ketiga plat tersebut di atas. Untuk keperluan tersebut telah dilakukan beberapa kegiatan analisis lanjutan terhadap hasil pengukuran untuk menentukan posisi aksial plat elemen bakar yang akan dijadikan cuplikan. Dalam kaitannya dengan penyiapan fasilitas untuk uji merusak, telah dilakukan penyempurnaan peralatan yang akan digunakan serta penyiapan perizinan.

### ABSTRACT

In the second year of the research activities on determination of the burn-up level for the LEU MTR type fuel element were concentrated in the Radiometallurgy Laboratory of Center for Fuel Element Development, especially to determine the  $Cs^{134}/Cs^{137}$  activity distributions along with fuel plates. Three fuel plates disassembled from the RI-E-02 fuel element, i.e plates # 2, 6 and 11, were measured those axial distributions. The  $Cs^{134}/Cs^{137}$  axial distribution gathered from the fuel plates measurements were identic with the measurement result of the Fuel Element previously done at the RSG-GAS's hot-cell. The other activities were done to prepare destructive test for those 3 fuel plates. For that purposes, the  $\gamma$ -spectrum analysis have done to determine exact axial location of the fuel plate to be taken as a destructive sample. In respect on preparation of the destructive test facility, improvement on equipments as well as preparation on the licensing aspect had been done.

## TEORI

Penentuan fraksi bakar elemen bakar dengan menggunakan metoda perbandingan aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  telah banyak dilakukan untuk elemen bakar reaktor yang berbentuk batang (*fuel rod*) seperti elemen bakar reaktor TRIGA<sup>1)</sup> dan beberapa jenis reaktor riset lainnya<sup>2)</sup> serta reaktor daya. Penentuan dengan metoda ini memberikan kesalahan standar berkisar 1 - 8,5 %. Menurut Pane<sup>3)</sup>, untuk elemen bakar tipe MTR (elemen bakar jenis plat) dengan uranium perkayaan tinggi (HEU) Beets dkk telah melakukan pengukuran terhadap perangkat elemen bakar dengan jumlah plat sebesar 21 buah dan memperoleh kesalahan relatif sebesar 9 %.

Los Alamos National Laboratory (LANL) telah menemukan suatu metoda penentuan fraksi bakar dengan menggunakan teknik pengukuran kurva kalibrasi standar aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$ . Penentuan fraksi bakar dengan teknik ini bersifat relatif, yaitu dengan membandingkan profil distribusi aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  dari elemen bakar yang akan diukur dengan kurva kalibrasi. Kurva kalibrasi merupakan suatu data distribusi aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  dibanding dengan harga distribusi burn-up yang sesungguhnya/absolut terdapat dalam plat/perangkat elemen bakar. Penentuan fraksi bakar absolut biasanya dilakukan dengan bantuan analisis merusak (*destructive assay*) pada bagian yang dianggap mewakili posisi yang dicuplik.

Teknik penentuan fraksi bakar dengan metoda kalibrasi standar aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  akan dilakukan di reaktor RSG-GAS. Namun untuk keperluan tersebut perlu dibuat suatu kurva kalibrasi standar, khususnya untuk elemen bakar jenis MTR dengan kandungan uranium perkayaan rendah (LEU). Pembuatan kurva kalibrasi standar dilakukan dengan melakukan pengukuran distribusi aksial aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  dari perangkat EB dengan fasilitas *gamma-scanning* yang terdapat pada *hot-cell* di reaktor RSG-GAS. Selanjutnya ditentukan distribusi aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  absolut pada EB tersebut dengan analisis merusak. Data hasil *gamma scanning* digabung dengan hasil analisis merusak tersebut merupakan suatu kurva kalibrasi untuk elemen bakar jenis oksida perkayaan rendah untuk reaktor MTR.

Kegiatan penelitian untuk penentuan fraksi bakar elemen bakar jenis MTR perkayaan rendah serta pembuatan kurva kalibrasi standar untuk jenis elemen bakar tersebut telah dilakukan sejak tahun anggaran 1994/1995. Pane<sup>3)</sup> telah melaporkan kegiatan penelitian tahun pertama berupa tinjauan teoritis dari penentuan fraksi bakar dengan metoda tersebut serta melaporkan hasil pengukuran distribusi

aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  dari perangkat elemen bakar. Pengukuran distribusi aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  pada perangkat elemen bakar tersebut dilakukan di fasilitas hot-cell yang berada di reaktor RSG-GAS. Tulisan ini akan melaporkan kegiatan lanjutan dari penelitian tersebut. Kegiatan yang dilakukan pada tahun anggaran 1995/1996 menitik beratkan pada persiapan uji merusak di Laboratorium Radio Metalurgi, yang berupa pengukuran distribusi aksial aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  pada beberapa plat elemen bakar yang diambil dari perangkat EB RI-E01 serta melengkapi fasilitas uji merusak sehingga dapat diperoleh ijin pengujian merusak.

#### Pengukuran distribusi aktivitas- $\gamma$ pada plat EB

Pengukuran distribusi aksial nilai banding aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  dilakukan pada plat elemen bakar No. 2, 6, dan 11. Plat-plat tersebut diambil dari perangkat elemen bakar RI-E01 yang telah diiradiasi selama 2 tahun dan memberikan tingkat fraksi bakar terhitung sebesar 51,04 %. Pengukuran distribusi aksial nilai banding aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  untuk perangkat elemen bakar RIE-01 telah dilakukan dan dilaporkan oleh Pane<sup>69</sup>. Kegiatan ini dilakukan di hot-cell RMI, setelah perangkat tersebut ditunda/disimpan di tempat penyimpanan EB bekas di RSG-GAS selama ~ 11 bulan.

Untuk mendapatkan gambaran tentang penyebaran distribusi fraksi bakar secara aksial, maka perlu dilakukan pengukuran fraksi bakar pada beberapa plat di dalam perangkat. Beberapa kendala yang ada menyebabkan pengukuran hanya dapat dilakukan pada tiga buah plat saja. Dengan asumsi bahwa distribusi fluks neutron kearah aksial berbentuk simetris, maka ketiga plat yang diharapkan dapat diukur adalah : plat paling luar, plat di tengah-tengah dan plat lain diantara kedua plat tersebut. Namun karena terdapat kesulitan dalam proses pelepasan plat paling luar dari perangkat EB, maka plat paling pinggir (plat no. 1) terpaksa digantikan oleh plat no. 2.

Hasil pengukuran yang diperoleh akan digunakan untuk menentukan lokasi/titik pada plat yang akan diambil sebagai cuplikan uji merusak. Pada setiap lokasi plat yang diambil sebagai cuplikan, ditentukan sejumlah tertentu cuplikan untuk memenuhi statistika pengukuran.

#### Metoda Pengukuran<sup>69</sup>

Pengukuran distribusi aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  dilakukan dengan menggunakan spektrometer  $\gamma$  yang

dilengkapi dengan analisator saluran ganda (*multi channel analyzer*). Spesifikasi dari sistem spektrometer- $\gamma$  yang digunakan secara lebih rinci adalah sebagai berikut :

- Detektor : HPGe, intrinsik koaksial.
- Bias voltage : 3 kV, polarisasi negatif
- MCA : ORTEC 4080
- Kolimator : 1 mm, dari bahan timbal
- Pengaturan posisi axial : dilakukan dengan merubah posisi manipulator pemegang plat terhadap posisi detektor yang dibuat tetap
- Waktu pengukuran : diatur pada *real time* 1000 detik
- Kalibrasi : Sistem pengukuran spektrometer- $\gamma$  sebelum digunakan dikalibrasi dengan menggunakan radioisotop standar.

Data distribusi aktivitas secara aksial diperoleh dengan pengaturan posisi aksial dari plat terhadap posisi detektor yang dibuat tetap. Pengaturan ini dilakukan dengan interval jarak ( $5 \pm 2$ ) cm sepanjang plat yang diukur. Hal ini sedikit berbeda dengan pengukuran serupa terhadap perangkat elemen bakar yang dilakukan di hot-cell RSG-GAS, dimana di tempat tersebut peralatan scanning dapat digunakan dengan interval jarak yang lebih halus.

Untuk menentukan aktivitas isotop  $Cs^{137}$  digunakan puncak- $\gamma$  (*peak*) dari tenaga 661,6 keV dengan fraksi (*yield*)  $\gamma$  sebesar 85,4 %. Sedangkan untuk aktivitas isotop  $Cs^{134}$  digunakan acuan puncak dari tenaga 661,6 keV dengan fraksi- $\gamma$  sebesar 85,1 %. Puncak-puncak  $Cs^{134}$  dan  $Cs^{137}$  diidentifikasi dan dihitung luas puncak bersih, yaitu dikurangi dengan luas latar. Waktu tunda antara pengeluaran perangkat EB dari teras sampai dengan pengukuran aktivitas  $\gamma$  pada plat EB tersebut sekitar 14 bulan.

#### Hasil yang diperoleh

Hasil pengukuran distribusi aksial angka banding aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$  pada plat EB No. 2, 6 dan 11 dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 1, 2, dan 3. Dibandingkan dengan data serupa untuk perangkat elemen bakar, dari segi pola distribusi aksial kedua data memberikan suatu bentuk yang serupa seperti ditunjukkan oleh Gambar 4. Nasution dkk<sup>24</sup> telah melakukan analisis lebih lanjut

terhadap kedua hasil pengukuran tersebut dan melaporkan bahwa sebaran fraksi bakar pada plat bervariasi antara ketinggian 15 - 45 cm dari bawah plat untuk plat no. 11, sampai dengan 20 - 27 cm untuk plat no. 2. Sedangkan sebaran fraksi bakar untuk perangkat elemen bakar utuh terdapat pada ketinggian antara 20 - 35 cm.

Sebaran fraksi bakar ke arah aksial semestinya dapat ditunjukkan dengan hasil pengukuran aktivitas-g radionuklida  $Cs^{134}/Cs^{137}$ . Amin<sup>64</sup> melaporkan bahwa dari hasil pengukuran cacahan isotop Cs terlihat distribusi aktivitas serta faktor puncak  $Cs^{137}$  untuk masing-masing plat berbeda, Tabel 1. Besarnya faktor puncak untuk plat no. 2 dan 6 dapat dimengerti dan sesuai dengan teori, yaitu pada bagian plat di sisi luar perangkat terdapat fluks neutron yang lebih besar sehingga terdapat fraksi puncak  $Cs^{137}$  yang lebih besar. Namun hal ini tidak cocok untuk diaplikasikan pada plat no. 11. Sampai saat ini didapat dugaan bahwa pengukuran belum memenuhi statistika yang benar sehingga terdapat penyimpangan hasil. Hasil pengukuran absolut akan sangat menentukan hasil yang diperoleh.

Dengan mengetahui pola distribusi aksial dari aktivitas yang terdapat dalam ketiga plat tersebut, maka dapat ditentukan posisi pengambilan cuplikan yang kiranya paling optimum. Dengan memperhatikan pengaruh geometri teras di bagian atas dan bawah bagian aktifnya, serta posisi dari batang kendali selama kondisi operasi normal, maka telah ditentukan bahwa titik-titik yang akan diambil sebagai cuplikan pada ketiga plat tersebut adalah sebagai berikut :

- titik 10 cm dari bagian bawah panjang aktif plat EB
- titik di tengah-tengah plat EB
- titik 13,5 cm dari bagian atas panjang aktif EB

#### Rencana Tindak-lanjut

Sesuai dengan rencana dari kegiatan penelitian untuk penentuan fraksi bakar jenis MTR perkayaan rendah, maka untuk kegiatan tahun berikutnya akan dilakukan analisis kimia dari cuplikan yang telah diambil. Analisis kimia ini diperlukan untuk menentukan fraksi bakar absolut. Selanjutnya dengan diketahuinya harga absolut dari masing-masing titik pada plat EB no. 2, 6 dan 11, maka langkah berikutnya adalah menentukan korelasi antara harga pengukuran nisbah aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$ . Dari data yang telah diketahui akan dibuat kurva kalibrasi burn-up untuk perangkat elemen bakar jenis MTR perkayaan rendah, khususnya dispersi  $U_3O_8-Al$ .

## KESIMPULAN

Kegiatan penelitian penentuan fraksi bakar elemen bakar jenis MTR perkayaan rendah dengan menggunakan metoda perbandingan  $Cs^{134}/Cs^{137}$  sampai dengan tahun kedua telah berjalan lancar sesuai dengan jadwal. Kegiatan dalam tahun kedua ditekankan pada persiapan analisis merusak, yaitu pengukuran distribusi  $Cs^{134}/Cs^{137}$  pada beberapa buah plat elemen bakar. Hasil yang diperoleh serupa dengan hasil pengukuran untuk perangkat elemen bakar secara keseluruhan. Dari hasil pengukuran distribusi  $Cs^{134}/Cs^{137}$  untuk plat tersebut kemudian ditentukan titik-titik pada plat elemen bakar sebagai cuplikan yang akan diuji secara kimiawi untuk menentukan fraksi bakar absolut.

## DAFTAR PUSTAKA

- /1/ Anonim, "Determination of Research Reactor Fuel Burn-up", IAEA-TECDOC-633, IAEA, Vienna, January 1992.
- /2/ L.K. Pan and C.S. Tsao, "Estimation of Burn-up in Taiwan Research Reactor Fuel Pins by Using Non-destructive Techniques", Nuclear Technology, Vol. 102 No. 3, June 1993, pp 313-322.
- /3/ Y.S. Pane dkk., "Pengukuran Burn-up Elemen Bakar Bekas Dengan Metoda Perbandingan Aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$ ", Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 1989.
- /4/ Y.S. Pane dkk., "Penentuan Fraksi Bakar Elemen Bakar Jenis MTR Pengayaan Rendah Dengan Metoda Perbandingan Aktivitas  $Cs^{134}/Cs^{137}$ , Analisis Spektrum Gamma  $Cs^{134}/Cs^{137}$  Elemen Bakar Bekas", Hasil-hasil Penelitian 1994-1995 ISSN 0845-5278, PRSG-BATAN, 1995, pp. 70-85.
- /5/ S. Amini dkk., "Penentuan Fraksi Bakar Perangkat dan Plat Elemen Bakar Uranium-oksida (RIE-01) Secara Pengukuran Nilai Banding  $Cs^{134}/Cs^{137}$ ", makalah diajukan dalam Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan & Teknologi Nuklir di PPNY BATAN, Yogyakarta, April 1996.
- /6/ H. Nasution dkk., "Pemeriksaan Pascairadiasi Elemen Bakar Dispersi  $U_3O_8$ -Al Type Pelat", makalah diajukan dalam Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan & Teknologi Nuklir di PPNY BATAN, Yogyakarta, April 1996.

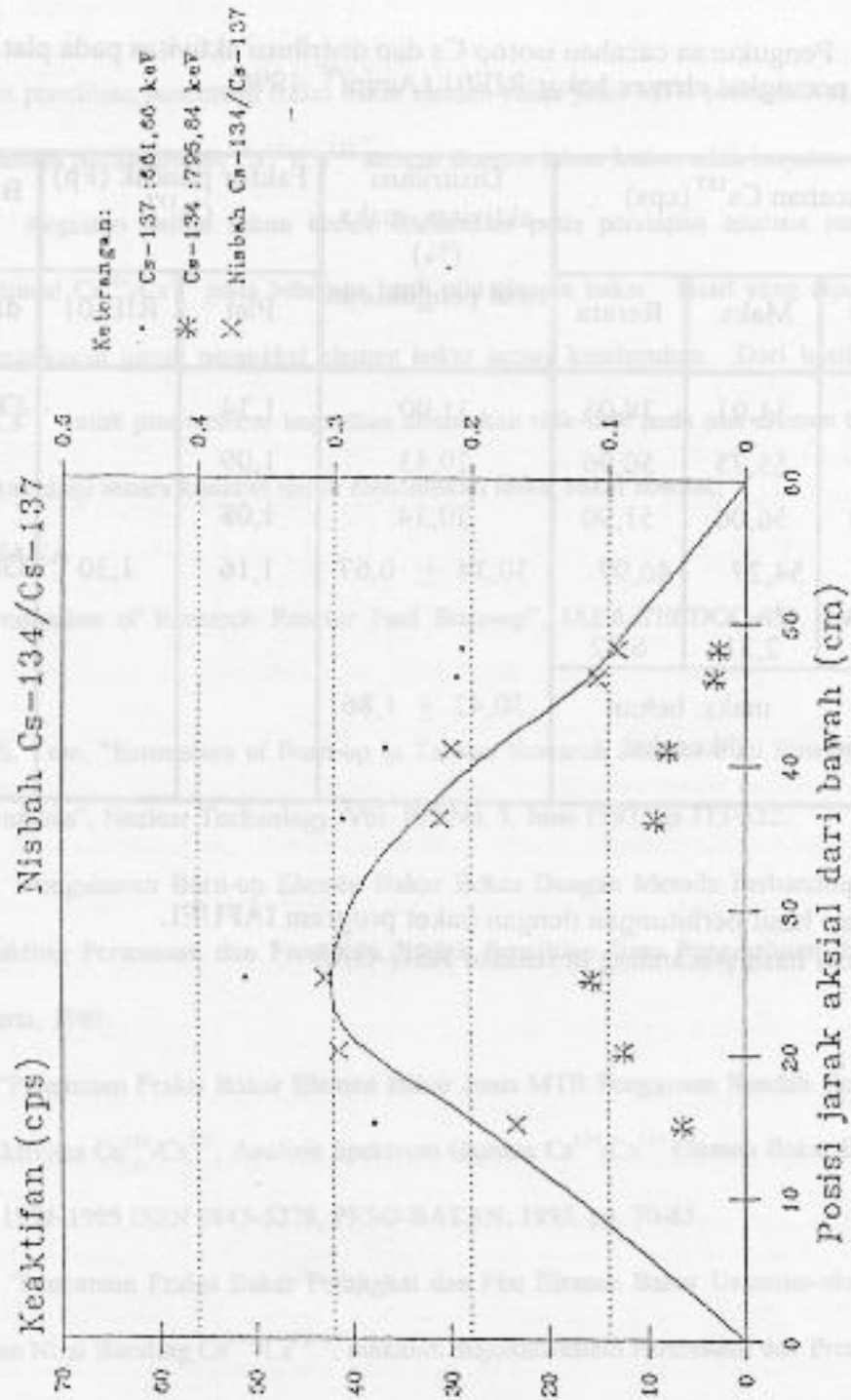
Tabel 1. Pengukuran cacahan isotop Cs dan distribusi aktivitas pada plat serta BU perangkat elemen bakar RIE01 (Amini<sup>5/</sup>, 1996)

Cacahan Cs <sup>137</sup> (cps)			Distribusi aktivitas, maks (%) hasil pengukuran	Faktor puncak (Fp) Cs <sup>137</sup>		BU <sub>maks</sub> RIE-01 data FR dan GR
Plat #	Maks.	Rerata		Plat	RIE-01	
I = 2	51,01	38,05	31,00	1,34		FR: 51,04 %  GR: 42,00 %
I = 6	55,75	50,96	29,43	1,09		
I = 11	56,06	51,90	30,34	1,08		
Nilai rerata	54,27 ± 2,31	46,97 ± 6,32	30,34 ± 0,67	1,16	1,30	
BUf hitungan	maks. belum dikoreksi		30,42 ± 1,86			

Catatan :

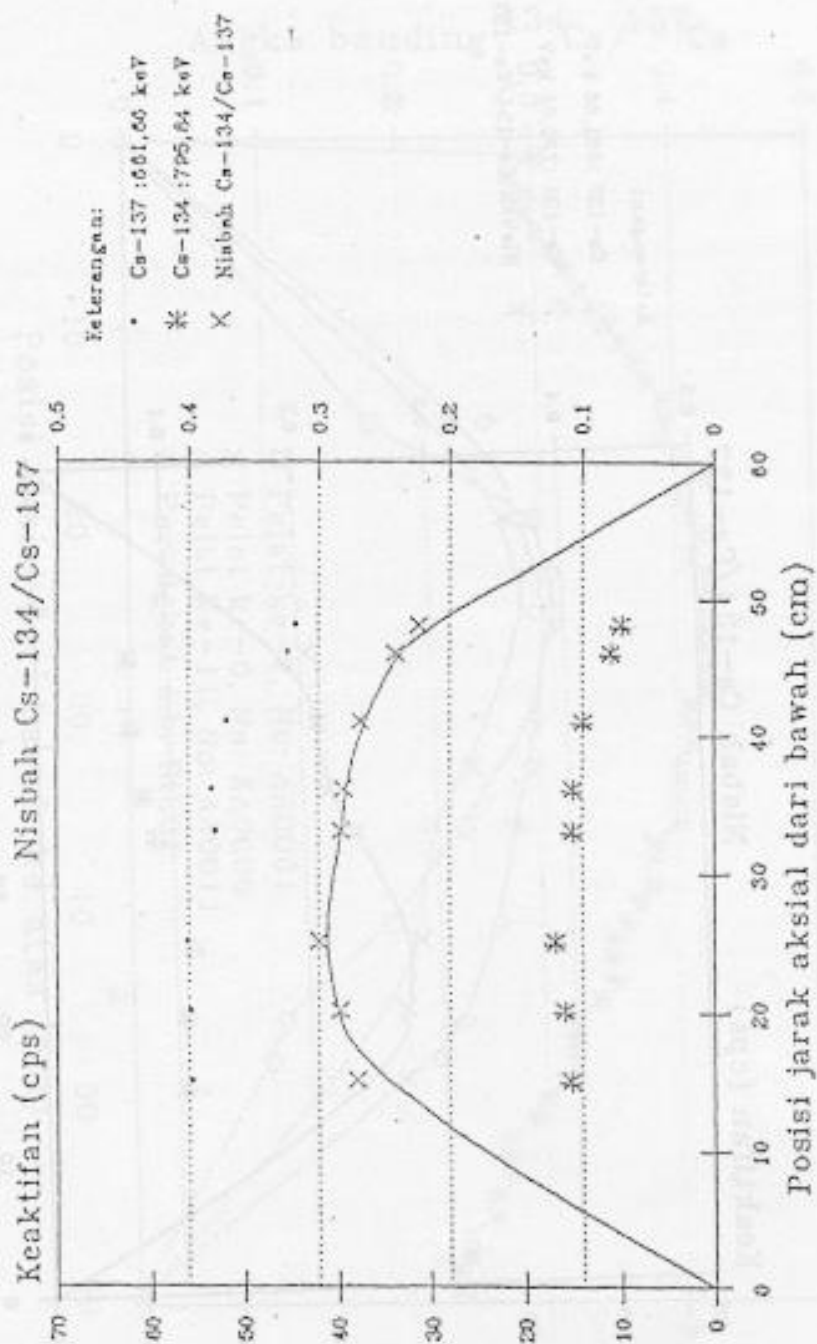
FR = dari hasil perhitungan dengan paket program IAFUEL

GR = dari hasil  $\gamma$ -scanning di reaktor RSG-GAS

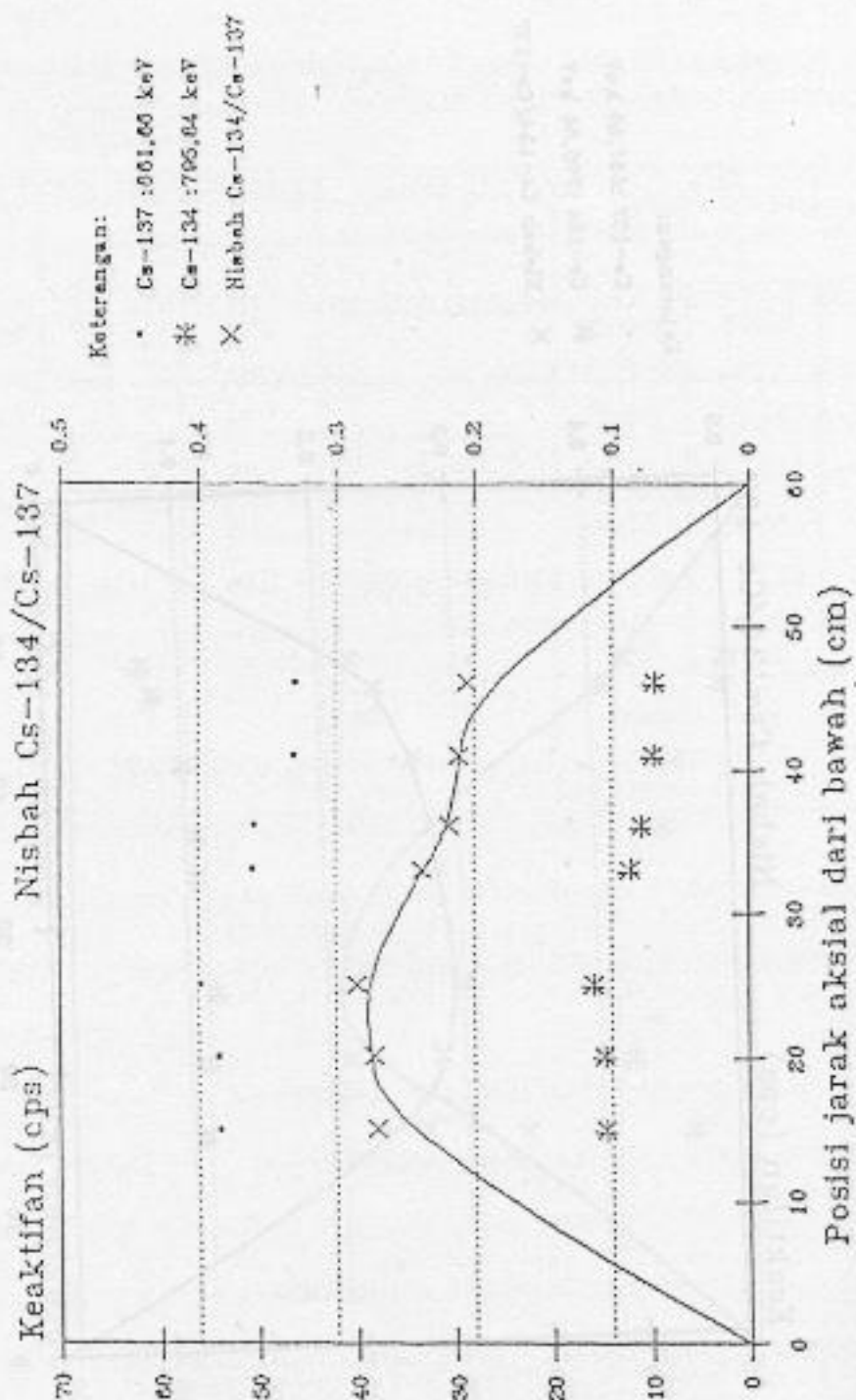


Gambar 1. Hasil  $\gamma$ -scanning plat No. 2 dari RIE-01 (#plat AA0001)

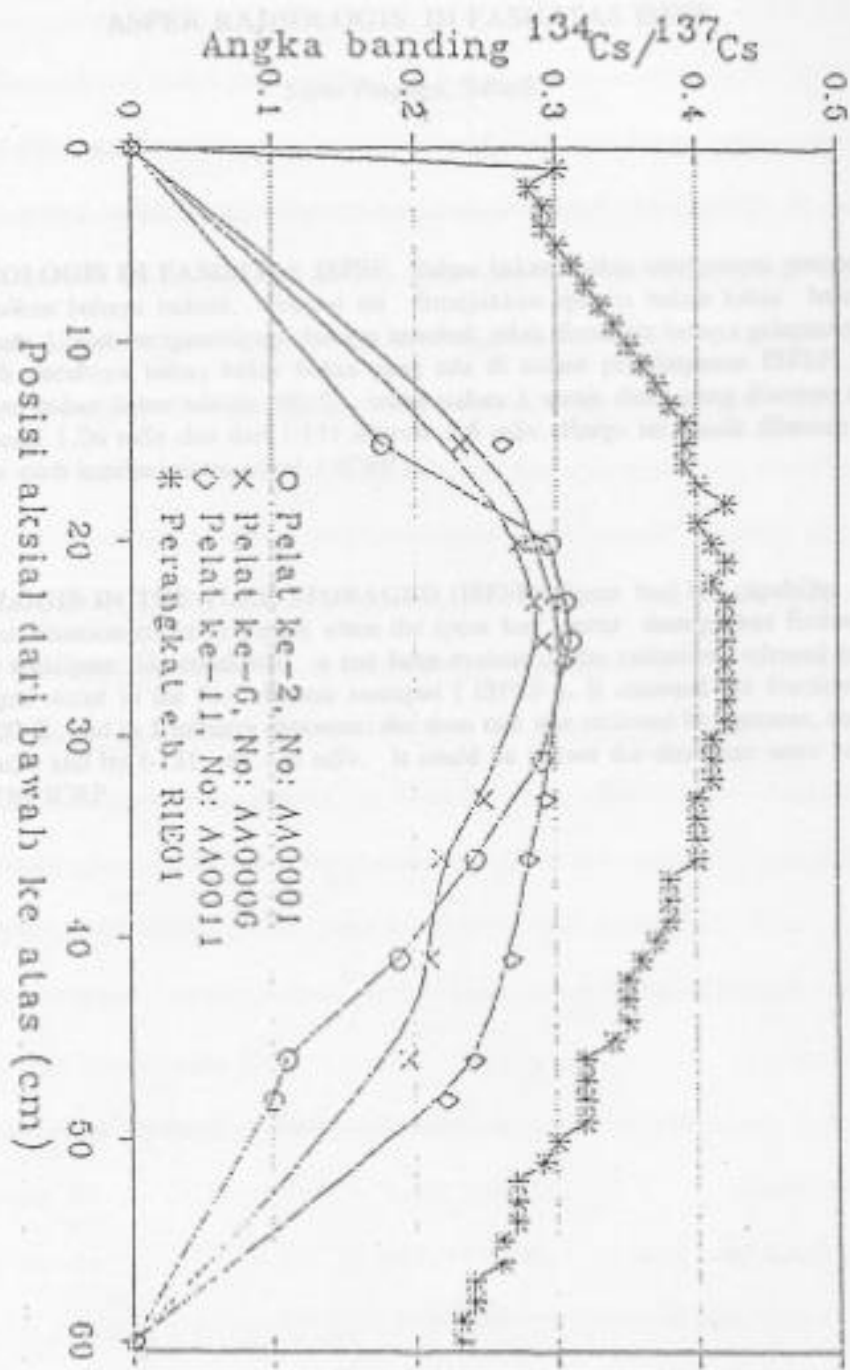




Gambar 2. Hasil  $\gamma$ -scanning plat No. 6 dari RIE-01 (#plat AA0006)



Gambar 3. Hasil  $\gamma$ -scanning plat No. 11 dari RIE-01 (#plat AA0011)



Gambar 4. Fraksi bakar perangkat elemen bakar RIE-01 serta plat no. 2, 6 dan 11

$$E\gamma \text{ Cs}^{134}/\text{Cs}^{137} = 795,8/616,6 \text{ (keV)}$$