

ANALISIS FRAKSI BAKAR ELEMEN BAKAR SILISIDA (RISIE2) SECARA PENGUKURAN $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$

Siti Amini*, Lukman Hakim*, Antonio Gogo*, Hudi Hastowo**, Amir Hamzah**
J. Sitorus Pane**

*) Pusat Elemen Bakar Nuklir - Badan Tenaga Atom Nasional

***) Pusat Reaktor Serba Guna - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

ANALISIS FRAKSI BAKAR ELEMEN BAKAR SILISIDA (RISIE2) SECARA PENGUKURAN $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$. Penentuan fraksi bakar elemen bakar nuklir jenis uranium silisida (RISIE2) hasil pabrikasi Pusat Elemen Bakar Nuklir telah dilakukan dengan metode uji tak merusak (spektrometri- γ) berdasarkan angka banding isotop $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$. Pengujian diterapkan terhadap perangkat elemen bakar bekas (utuh) maupun kepada beberapa pelat penyusunnya, yaitu pelat nomor 12 dan 20. Hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan nilai fraksi bakar yang signifikan. Nilai fraksi bakar perangkat elemen bakar yang dihitung berdasarkan pengukuran rerata pelat menunjukkan nilai lebih tinggi, dengan faktor koreksi 1,32 dibandingkan dengan pengukuran langsung pada perangkat elemen bakar. Nilai fraksi bakar perangkat elemen bakar maksimum dengan pengukuran langsung adalah 37,00 %. Sedangkan nilai fraksi bakar perangkat elemen bakar yang didasarkan pada perhitungan nilai rerata fraksi bakar pelat adalah 48,96 %, di mana pada tingkat kepercayaan 95%, sesuai dengan perhitungan yang dihasilkan melalui program IAFUEL yang dilakukan di PRSG G.A. Siwabessy, yaitu 50,29 %.

ABSTRACT

BURN-UP ANALYSIS OF URANIUM SILICIDE TYPE FUEL (RISIE2) BY $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ MEASUREMENT. Burn-up determination of silicide type fuel produced by Indonesian Nuclear Fuel Element Centre (PEBN) have been carried out using non destructive method analysis (γ - spectrometry) by measurement of $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ ratios. The analysis have been applied to the whole fuel element bundle as well as plates i.e. plate numbers of 12 and 20. The results revealed there were significant differences. Calculated burn-up of a fuel element obtained from two plates maximum burn-up average showed higher than that of an element using a direct measurement, with correction factor of 1.32. The fuel element maximum burn-up measured was 37.00 %. Whereas the calculated fuel element average burn-up of 48.96 % using two plates measurement was in agreement within 95% confidence limits, with the fuel element maximum of 50.29 % resulted by the calculation using IAFUEL program at G.A. Siwabessy Multi Purposed Reactor Centre (PRSG).

PENDAHULUAN

Berbagai pengukuran untuk penentuan fraksi bakar elemen bakar nuklir secara tidak merusak maupun merusak telah dilakukan [1,2,3]. Cara spektroskopi- γ dapat mengukur unsur produksi γ yang spesifik dan langsung mengenai sasaran untuk mengukur fraksi bakar. Juga distribusi fraksi bakar dalam elemen bakar baik secara longitudinal maupun transversal pun dapat diketahui [4]. Pada elemen bakar bekas (yang telah diradiasi), dipancarkan aktivitas γ dari berbagai isotop sebagai hasil dari proses fisi ^{235}U maupun reaksi anak luruhnya. Salah satu cara pengukuran fraksi bakar diantaranya adalah menentukan angka banding aktivitas jenis isotop ^{134}Cs sebagai ha-

il reaksi (n, γ) dengan aktivitas jenis isotop ^{137}Cs dari hasil fisi ^{235}U . ^{134}Cs berasal dari ^{133}Cs sebagai hasil peluruhan ^{133}I (hasil fisi ^{235}U = 6,8%) melalui ^{133}Xe , sedangkan hasil fisi ^{137}Cs untuk ^{235}U adalah 6,3%. Isotop-isotop tersebut dipilih karena mempunyai umur paruh panjang serta tidak tergantung kepada parameter lain yang terpisah dari spektrum neutron. Nilai angka banding aktivitas $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ akan sebanding dengan fluks neutron yang teriradiasi atau fraksi bakar isotop ^{235}U [4,5]. Angka banding keaktifan jenis isotop-isotop penentu fraksi bakar, dapat disederhanakan sebagai berikut:

$$\frac{A_{i1j1}}{A_{i2j2}} = \frac{P_{j1}}{P_{j2}} \frac{B_{i2j2}}{B_{i1j1}} \quad (1)$$

$A_{i,j}$ = keaktifan jenis isotop- i (i_1 atau i_2), pada puncak energi- j (j_1 atau j_2), P_j = luas puncak terkoreksi dari isotop- i pada puncak energi- j (j_1 atau j_2), $B_{i,j}$ = *branching ratio* atau fraksi peluruhan isotop- i (i_1 atau i_2), pada puncak energi- j (j_1 atau j_2).

Dengan memperhatikan profil pembentukan ^{137}Cs dalam pelat elemen bakar di reaktor, maka analisis fraksi bakar dilakukan terhadap pelat No. 12 dan 20 dari sejumlah 21 pelat dalam satu perangkat elemen bakar. Hal tersebut dilakukan mengingat keterbatasan program dan operasionalnya. Perangkat elemen bakar bekas yang utuh pun sebelumnya diukur dengan γ -scanning. Analisis fraksi bakar relatif dihitung dari hasil pengukuran keaktifan $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ menggunakan γ -scanning untuk perangkat elemen bakar dan γ -spektrometer untuk pengukuran pelat.

Dari perbandingan hasil kedua metode tersebut, dengan anggapan bahwa kesalahan sistematis kedua pengukuran diabaikan, diharapkan tidak akan memberikan perbedaan hasil signifikan pada fraksi bakar antara perangkat elemen bakar dengan pelatnya. Bila ada perbedaanpun kemungkinan disebabkan oleh adanya beberapa faktor kesalahan eksperimental diantaranya adalah: sistem geometri, pengaruh perisai diri, riwayat iradiasi elemen bakar di reaktor, perubahan *yield* isotop-isotop penentu dan lain-lain [4]. Diduga pula bahwa karakteristik migrasi dari isotop-isotop sejenis itu harus sama atau identik. Hal ini dapat diketahui dari faktor angka banding keaktifan isotop pada puncak maksimum terhadap keaktifan rerata (F_p), di mana:

$$F_p = \frac{A_{i,\max}}{A_{i,r}} \quad (2)$$

$A_{i,\max}$ = keaktifan isotop pada puncak maksimum, $A_{i,r}$ = keaktifan rerata dari isotop. Fraksi bakar rerata pada elemen bakar secara eksperimen dapat dihitung dengan membandingkan nilai bakar rerata pada setiap pelat penyusunnya terhadap nilai F_p nya melalui persamaan:

$$F_p = \frac{\text{Fraksi bakar e.b (BU}_f\text{)}}{\text{fraksi bakar plat (BU}_p\text{)}} \quad (3)$$

Sasaran akhir dari perhitungan ini adalah perolehan data akurat nilai fraksi bakar yang diharapkan dapat dijadikan sebagai bahan ma-

sukan manajemen teras di PRSG berdasarkan perhitungan angka banding $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ [6].

BAHAN DAN PERALATAN

Bahan

Perangkat elemen bakar bekas jenis sili-sida (RISIE2) yang terdiri dari 21 pelat, 2 pelat diantaranya yang dianalisis adalah pelat ke-12 (IDA0036) dan ke-20 (IDA0045). Sumber radioisotop standar : ^{152}Eu , ^{60}Co untuk kalibrasi kanal energi pada MCA.

Peralatan

1. γ -scanning dengan detektor tipe HPGe intrinsik koaksial. HV operasi pada 2,5 kV, polarisasi positif MCA tipe Ca35+, efisiensi relatif dari ^{60}Co = 14.0 % dengan resolusi 0,76 keV/kanal.
2. γ -spektrometer dengan detektor tipe HPGe intrinsik koaksial. HV operasi pada 3 kV, polarisasi negatif, MCA tipe ORTEC 4080, efisiensi relatif dari ^{60}Co = 16.0 % dengan resolusi 0,28 keV/kanal, waktu mati detektor 3,3 %.

TATA KERJA

Pengukuran elemen bakar bekas RISIE2

1. Pada pulsa high analyzer (MCA) γ -scanning, kalibrasi kanal energi dilakukan dengan sumber radio isotop standar.
2. Perangkat elemen bakar bekas di dalam bilik panas ditempatkan pada γ -scanning equipment sedemikian sehingga tegak lurus terhadap kolimator dan detektor di luar bilik, kemudian dilakukan pencacahan spektrum- γ hingga energi 2 MeV. Puncak-puncak ^{137}Cs (661,6 keV) dan ^{134}Cs (604,7 dan 795,8 keV) diidentifikasi.
3. Diskriminator (LLD dan ULD) pada MCA diatur hingga diperoleh puncak ^{137}Cs dan ^{134}Cs saja dengan batas sekitar 4 kanal dari kaki puncak. MCA dapat mencacah puncak yang dipilih tersebut. Pada pengukuran ^{134}Cs dipilih hanya untuk 795,8 keV saja, karena puncak energi 604,7 keV tampak kurang baik.
4. Mode MCA diubah menjadi MCSR (Multi Channel Scaler), lama waktu pencacahan diatur melalui program mesin scanning sedemikian sehingga pencacahan memberikan 10.000 cacahan/kanal.
5. MCA dihubungkan dengan model I/O mesin scanning, dan program scanning dilakukan dengan langkah 5 mm sepanjang elemen bakar.

6. Semua data pengukuran diplot, kemudian juga nilai angka banding $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$.

Pengukuran pelat elemen bakar

1. MCA γ -spektrometer dikalibrasi dengan sumber radioisotop standar.
2. Perangkat elemen bakar dilepas rangkanya, untuk mengeluarkan pelat ke-12 dan ke-20. Pelat elemen bakar dipotong menjadi 2 bagian, panjang setiap potongan pelat 31 cm, lalu setiap potongan pelat ditempatkan pada adaptor pemegang elemen bakar di bilik panas, dan di depan kolimator pada posisi tegak lurus terhadap detektor di luar bilik, kemudian spektrum- γ nya ditentukan.
3. Pencacahan dilakukan pada setiap posisi pelat mulai dari sisi 5 ± 2 cm dan bergeser dengan arah aksial dengan jarak 5 ± 2 cm. Waktu pencacahan diatur pada *real time* 1800 detik. Puncak-puncak ^{137}Cs (661,6 keV) dan ^{134}Cs (604,7 dan 795,8 keV) diidentifikasi, dan dihitung luas puncak bersih (dikoreksi dengan puncak latar).

Perhitungan

Data spektrum- γ isotop Cs :

^{134}Cs $t_{1/2} = 2,07$ tahun, $E_{\gamma 1} : 604,7$ keV ($I_{\gamma} = 97,6\%$); $E_{\gamma 2} : 795,8$ keV ($I_{\gamma} = 85,4\%$).

^{137}Cs $t_{1/2} = 30,17$ tahun, $E_{\gamma} : 661,6$ keV ($I_{\gamma} = 85,1\%$). Fraksi bakar pelat ($BU(p)$) didapat melalui 2 cara perbandingan $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ dikalikan dengan faktor koreksi B_{ij} ; atau faktor intensitas (I_j) yaitu:

A : menggunakan isotop ^{134}Cs , $E_{\gamma}^1 : B_{ij} = 85,1/97,6 = 0,87$

B : menggunakan isotop ^{134}Cs , $E_{\gamma}^2 : B_{ij} = 85,1/85,4 \approx 1,0$ atau tanpa koreksi B_{ij} .

Fraksi bakar hitungan (BU_{hit}) dapat dihitung melalui perhitungan keaktifan maksimum serta reratanya dari ^{137}Cs pada masing-masing pelat elemen bakar, menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$BU_{(p)i} - \text{rerata} = \frac{BU_{(p)i} - \text{maks}}{F_p} \quad (4)$$

$$BU_{hit} - \text{maks} = \frac{\text{rerata } A_{(p)i}^p - \text{maks}}{A_{(p)i} - \text{maks}} BU_{(p)i} - \text{maks} \quad (5)$$

$$BU_{hit} - \text{rerata} = \frac{\text{rerata } A_{(p)i}^p - \text{rerata}}{A_{(p)i} - \text{rerata}} \times$$

$$BU_{(p)i} - \text{rerata} \quad (6)$$

$BU_{(p)i}$:Fraksi bakar dari pengukuran pelat ke-i, adapun n adalah no pelat ke-n dalam perangkat elemen bakar.

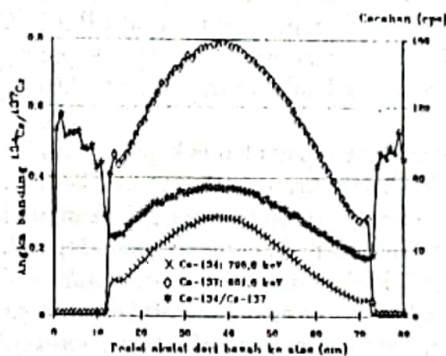
$A_{(p)i}$:Cacahan ^{137}Cs pada pengukuran pelat ke-i, -maks. dan - rerata masing-masing menunjukkan nilai maksimum dan reratanya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

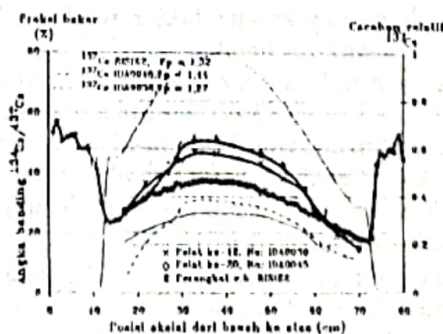
Pengukuran fraksi bakar pelat dengan elemen bakar

Hasil pengukuran keaktifan isotop pada elemen bakar RISIE2 dan dibandingkan dengan hasil pengukuran pelat penyusunnya (pelat ke 12 dan 20) beserta nilai fraksi bakar yang didapat, ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.

Dari Gambar1, diperlihatkan nilai BU_{maks} adalah 37,00%, dengan $BU_{rerata} = 29,87\%$. Berdasarkan hasil pengukuran pelat yang dianggap



Gambar 1. γ -scanning perangkat elemen bakar RISIE2



Gambar 2. Fraksi bakar dan cacahan relatif ^{137}Cs perangkat e.b RISIE2 serta pelat ke 12 dan 20
 $E_{\gamma} \text{ } ^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs} = 795,8/661,6(\text{keV})$

mewakili perangkat elemen bakar pada Tabel 1 dapat dihitung nilai $BU_{(p)i}$ -rerata dan rerata $BU_{(p)i}$ -maksimumnya. Dari hasil perbandingan secara statistik (uji- $t_{0,05,2}$) ternyata cara-A ber-

Tabel 1. Pengukuran keaktifan isotop Cs dan fraksi bakar pelat dan elemen bakar RISIE2

A ^{137}Cs (cps)			BU _{(p)l} - maks(%), cara		Faktor puncak		BU _{maks} RISIE2
Pelat	Maks	Rerata	A	B	^{134}Cs	^{137}Cs	data RF dan GR**
i = 12	52,91	41,52	61,60/53,65*	46,90	1,58 ^A 1,58 ^B	1,27	FR: 50,29%
i=20	60,67	42,27	65,00/56,65*	50,82	1,80 ^A 1,58 ^B	1,44	GR: 37,00%
e.b rerata	56,79	41,90	63,30 ± 2,40/ 55,15* ± 2,12	48,86 ± 2,77	1,50	1,32	

Keterangan:

- * Hasil terkoreksi dengan faktor $B_{ij} = 0,87$
- ** FR = dari fisika reaktor; GR = dari γ -scanning di reaktor
- A Berdasarkan pengukuran cara A (^{134}Cs : 604,7 keV)
- B Berdasarkan pengukuran cara B (^{134}Cs : 795,8);
Koefisien variansi pada batas kepercayaan 95% (nilai $t_{0,05} = 2,92$) untuk pengukuran di atas tidak lebih besar dari pada 2,07

beda dari cara-B pada batas kepercayaan 95 %. Batas koefisien variansi atau standar kesalahan pada kepercayaan 95 % yang diijinkan adalah 2,07 sedangkan pada pengukuran didapat 2,12 dan 2,77. Perbedaan tersebut disebabkan oleh adanya kesalahan eksperimental dimana pada cara-A, intensitas relatif (I_j) lebih kuat jika dibandingkan dengan cara-B, sehingga nilai sebaran kesalahan pencacahan pada cara-A pun akan relatif lebih kecil daripada cara-B. Masalah pemilihan puncak ^{134}Cs 604,7 keV pada pengukuran dengan γ - scanning di PRSG mengalami kesulitan karena faktor resolusi alat. Namun demikian hasil rerata BU_{(p)l}-maksimum yang didapat dari pengukuran dengan cara B (^{134}Cs = 795,8 keV) yaitu 48,86 % menunjukkan ketepatan yang lebih baik daripada hasil cara A (^{134}Cs =604,7 keV) terhadap nilai BU RISIE yang dihitung melalui perhitungan netronik dengan program IAFUEL.

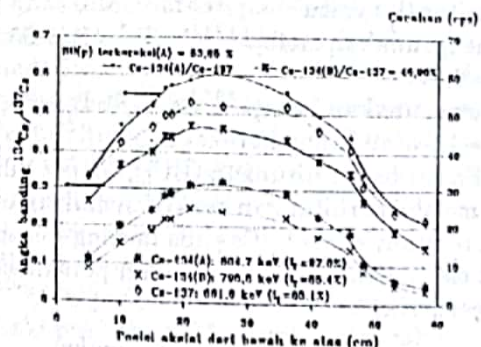
Faktor puncak (Fp) ^{134}Cs pada kedua puncak yang diamati, tidak berbeda nilainya untuk setiap pelat. Walaupun terdapat sedikit perbedaan Fp ^{134}Cs antara pelat-12 dengan 20 (Tabel-1) yang diamati melalui pengukuran cara A, di mana nilai Fp ^{137}Cs juga berbeda. Hal tersebut menunjukkan adanya perbedaan akumulasi pembentukan isotop-isotop radioaktif (^{137}Cs) hasil fisi yang merupakan ketergantungan terhadap fluks neutron.

Hubungan fraksi bakar pelat dengan elemen bakar

Hasil pengukuran keaktifan ^{137}Cs dan angka banding $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ (fraksi bakar pelat) me-

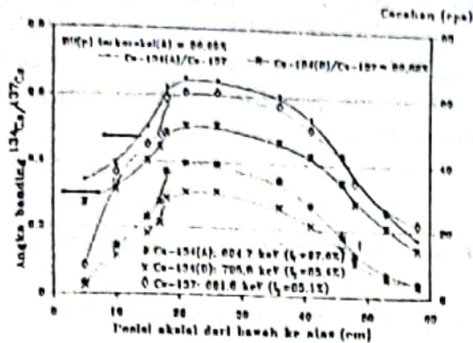
lalui cara-A dan B ditunjukkan pada Gambar 3 untuk pelat ke-12 (IDA 0036) dan Gambar 4 untuk pelat ke-20 (IDA 0045). Kedua hasil fraksi bakar tersebut menunjukkan penampilan yang sama, di mana distribusi hasil fisi maksimum berkisar pada posisi 21-26 cm dari bawah.

Jika ditinjau dari posisi radial elemen bakar, nilai BU_{(p)20}-maks lebih besar dari



Gambar 3. Keaktifan (γ) isotop Cs pada pelat elemen bakar RISIE2; Pelat ke-12 (ident. no.: IDA0036)

BU_{(p)12}-maks. Juga hasil fraksi bakar pada pelat pinggir (pelat ke-20) lebih besar 1,2 kali daripada nilai fraksi bakar rerata satu perangkat elemen bakar nuklir. Hal tersebut sesuai dengan teori fisika reaktor, yaitu dikarenakan adanya suatu kondisi di mana pada bagian di luar perangkat elemen bakar



Gambar 4. Keaktifan (γ) isotop Cs pada pelat elemen bakar risie2; Pelat ke-12 (ident. no.: IDA0036)

tersebut terdapat kenaikan fluks neutron (moderasi lebih baik), sehingga neutron termal di bagian luar perangkat elemen bakar akan lebih banyak dibandingkan terhadap neutron cepatnya, dan sudah barang tentu fraksi bakar pelat di bagian luar perangkat elemen bakar akan lebih tinggi [7].

Berdasarkan data pengukuran cacahan ^{137}Cs dan angka banding $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ (cara-A: $E_1 = 606,7 \text{ keV}$ dan cara-B: $E_2 = 795,8 \text{ keV}$) pada pelat, didapat BU_{hit} seperti yang tertera pada Tabel 2. Jika hasil perhitungan korelasi antara pelat perangkat elemen bakar dibandingkan dengan hasil pengukuran (GR) perangkat elemen bakar (dengan 21 pelat) pada Tabel-1, maka terlihat adanya perbedaan yang signifikan. Pada Tabel-2 cara-B, ditunjukkan rerata BU_{hit} maks. = $48,96 \pm 2,18 \%$, sedangkan pada pengukuran (Tabel 1) didapat $\text{BU}_{\text{maks}} \text{ RISIE2} = 37,00 \%$ dari γ -scanning, dan $\text{BU} \text{ RISIE2} =$

50,29 % dari perhitungan netronik dengan paket program IAFUEL. Hasil BU_{hit} dari pengukuran pelat elemen bakar tidak berbeda secara signifikan dengan hasil perhitungan data neutron di PRSG, tetapi terhadap hasil pengukuran γ -scanning tampak adanya hubungan dengan faktor koreksi = 1,32. Hipotesa nol ternyata tidak terbukti pada batas kepercayaan 95 %, hal ini dimungkinkan selain jelas dari adanya perbedaan cara pengukuran, dan pengambilan data pelat yang belum memenuhi sebaran statistik, juga adanya pengaruh perbedaan distribusi isotop pada masing-masing pelat elemen bakar yang disebabkan oleh adanya perubahan fluks neutron pada arah radial. Beberapa faktor lain yang belum dipertimbangkan pada perhitungan ini adalah faktor geometri dan perisai diri. Adanya data fraksi bakar mutlak (dari hasil cara merusak) diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih akurat untuk perhitungan fisika reaktor.

KESIMPULAN

Perbandingan hasil analisis fraksi bakar RISIE2 dengan cara pengukuran angka banding $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ dari perangkat elemen bakar serta dari pelat penyusunnya menunjukkan penurunan dengan faktor koreksi = 1,3.

Pemilihan puncak ^{134}Cs pada energi 795,8 keV dan puncak ^{137}Cs pada 661,6 keV menunjukkan hasil pengukuran fraksi bakar yang lebih tepat (mendekati hasil dari perhitungan data fisika reaktor), walaupun ketelitiannya kurang jika dibandingkan dengan cara $^{134}\text{Cs} (604,7\text{keV}) / ^{137}\text{Cs}$.

Demikian pula, nilai fraksi bakar pada pelat ke-20 lebih besar 1,2 kali daripada nilai pelat ke-12 adalah sesuai dengan teori fisika reaktor.

Tabel 2. Hasil perhitungan fraksi bakar pelat dan elemen bakar berdasarkan hubungan $A_{^{137}\text{Cs}}$ -maks

Cara perhitungan	$\text{BU}_{(p)i}$ - rerata pelat ke-i (%)	BU_{hit} - maks RISIE2 (%)	BU_{hit} - rerata RISIE2 (%)
i = 12	42,24	57,58	42,63
i = 20	39,34	53,03	38,99
rerata BU_{hit}	-	$55,31 \pm 3,22$	$40,81 \pm 2,76$
i = 12	36,93	50,34	37,27
i = 20	35,29	47,55	34,98
rerata BU_{hit}	-	$48,96 \pm 2,18$	$36,13 \pm 1,62$

Catatan: Berdasarkan perhitungan statistik uji-F, cara A rerata berbeda dari B dengan nilai $F_{\text{hit}} = 2,92$ untuk rerata BU_{hit} -maks, dan nilai $F_{\text{hit}} = 3,13$ untuk rerata BU_{hit} -rerata. Nilai $F_{\text{hit}} >$ nilai F_{tab} ; 0,05; 12,12; yaitu 2,60 pada batas kepercayaan 95%.

Evaluasi data-data lebih lanjut sangat diperlukan untuk memperoleh perhitungan korelasi pelat perangkat elemen bakar secara akurat.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kami sampaikan terimakasih kepada seluruh staf dan teknisi di PEBN dan PRSG, serta semua pihak yang berpartisipasi dalam pelaksanaan kegiatan penelitian elemen bakar dan penyusunan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Maeck, W.J., A Review of fission product nuclear data requirement for investigation of irradiated nuclear fuel, ICP- 1160, Idaho (1978).
2. Maeck, W.J., Panel on fission product nuclear data, IAEA- 169, Bologna, Italy (1973).
3. Copeland, G.J., Hobbs, R.W., Hofman, G.L. and Snelgrove, J.L., Performance of low enriched U_3Si_2 -Al dispersion fuel elements in the Oak Ridge Research Reactor, ANL/RERTR/TM-10, Illinois (1987).
4. IAEA, Determination of research reactor fuel burnup, IAEA- TECDOC-633, Vienna (1992).
5. Hanna, G.L., Gamma ray measurements of spent HIFAR fuel elements for safeguards verification, Parts I and II, Australian Safeguards Office, ASO/R2 and ASO/R3 (1978).
6. Sitorus Pane, J., Pengukuran burn-up elemen bakar bekas dengan metoda perbandingan aktivitas $^{134}Cs/^{137}Cs$, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta (1989).
7. Hastowo, H., Komunikasi pribadi (1994).

DISKUSI

P. Ilham Y. :

1. Dapatkah dijelaskan mengapa angka banding aktivitas $^{134}Cs/^{137}Cs$ sebanding dengan BU ?
2. Adakah alasan khusus sehingga tidak semua plat eb. dalam *bundle* yang diukur dalam penelitian ini ?

Siti Amini :

1. Fraksi bakar (BU) setara dengan fluks neutron yang dihasilkan dari hasil belah isotop ^{235}U (sebagai bahan bakarnya). Isotop ^{137}Cs itupun merupakan hasil belah sedangkan isotop ^{134}Cs merupakan hasil reaksi pengaktifan neutron dari isotop ^{133}Cs yang merupakan hasil peluruhan isotop ^{133}I melalui ^{133}Xe sebagai hasil belah ^{235}U juga.
2. Alasannya hanya dari segi teknis pengoperasian saja, kami (IRM) belum mampu membongkar semua pelat pada saat tersebut.

Suwarno NS:

Disebutkan bahwa $^{134}Cs/^{137}Cs =$ fraksi bakar. Angka banding itu menyatakan angka banding aktivitas atau cacahan? Dalam percobaan data yang diperoleh ialah angka banding cacahan, sedangkan efisiensi keduanya barangkali berbeda. Jadi A_{134}/A_{137} tidak sama dengan C_{134}/C_{137} .

Siti Amini:

Dalam hal ini yang sebenarnya diukur adalah cacahan $^{134}Cs/^{137}Cs$ bukan keaktifan. Karena $E_{\gamma}^{134}Cs = 604$ atau 795 keV, dan $E_{\gamma}^{137}Cs = 661$ keV maka faktor efisiensi detektor pada daerah pengukuran energi $604 - 795$ keV tidak begitu berbeda, jadi efisiensi detektor dapat diabaikan.