
PENENTUAN KANDUNGAN ISOTOP ^{235}U DALAM PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ TMU $2,96 \text{ gU/cm}^3$ UNTUK PERHITUNGAN *BURN-UP*

Boybul, Yanlinastuti, Sutri Indaryati, Iis Haryati, Arif Nugroho

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, 15314
e-mail: boybul@yahoo.com

(Naskah diterima : 18-082015, Naskah direvisi: 14-09-2015, Naskah disetujui: 21-09-2015)

ABSTRAK

PENENTUAN KANDUNGAN ISOTOP ^{235}U DALAM PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ TMU $2,96 \text{ gU/cm}^3$ UNTUK PERHITUNGAN *BURN-UP*. Pemisahan ^{235}U telah dilakukan di dalam larutan pada bagian atas dari PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ tingkat muat uranium (TMU) $2,96 \text{ gU/cm}^3$. PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ bagian atas dipotong menjadi tiga bagian (Triplo) dengan kode T_1 , T_2 dan T_3 . Berat masing-masing PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ dengan kode $T_1 = 0,095 \text{ g}$, $T_2 = 0,086 \text{ g}$ dan $T_3 = 0,087 \text{ g}$ kemudian dilarutkan menggunakan HCl dan HNO_3 di dalam *hotcell*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan isotop ^{235}U dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dan selanjutnya digunakan untuk perhitungan *burn-up*. Pemisahan isotop ^{235}U dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ dilakukan dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex 1x8. Larutan dipipet sebanyak $100 \mu\text{L}$, kemudian dimasukkan ke dalam kolom yang berisi resin Dowex dengan berat $1,2 \text{ g}$. Hasil efluen U di dalam kolom dielusi menggunakan HCl $0,1 \text{ M}$, kemudian dikisatkan dan dikenakan proses elektrodiposisi dan selanjutnya dianalisis menggunakan spektrometer- α . Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan isotop ^{235}U diperoleh sebesar $T_1 = 0,03665 \text{ g/g PEB}$, $T_2 = 0,003468 \text{ g/g PEB}$ dan $T_3 = 0,03208 \text{ g/g PEB}$ dengan *recovery* pemisahan $63,71\%$. Kandungan isotop ^{235}U yang diperoleh dari hasil pemisahan digunakan untuk perhitungan *burn-up*. Hasil perhitungan *burn-up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ bagian atas (T_1 , T_2 dan T_3) diperoleh masing-masing sebesar $43,31 \%$, $45,41 \%$ dan $49,48 \%$ atau dengan *burn-up* rerata sebesar $45,75 \%$. Data ini lebih kecil dibandingkan dengan data *burn-up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ potongan bagian tengah sebesar $50,69 \%$ yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya. Namun data ini belum dapat digunakan sebagai masukan kepada reaktor, karena harus dilengkapi dengan data *burn-up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ potongan bagian bawah. Oleh karena itu pada penelitian selanjutnya akan dilakukan perhitungan *burn-up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ potongan bagian bawah.

Kata kunci: PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi, *top*, ^{235}U , penukar anion dan *burn-up*.

ABSTRACT

DETERMINATION OF CONTENT OF ISOTOPE ^{235}U IN PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ TMU 2.96 gU/cm^3 FOR THE CALCULATION OF BURN-UP. ^{235}U separation has been carried out in the solution of PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ with loading of uranium (TMU) 2.96 gU/cm^3 at the Top. Top of PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ cut into three sections (triplo) with code T_1 , T_2 and T_3 . Weight of each PEB code $T_1 = 0.095 \text{ g}$, $T_2 = 0.086 \text{ g}$ and $T_3 = 0.087 \text{ g}$ and dissolved using HCl and HNO_3 in hotcell. The purpose of this study was to determine the content of the isotope ^{235}U in the solution PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ post-irradiation and subsequently used for the calculation of burn-up. ^{235}U isotope separation in the solution PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ was conducted using an anion exchange column method using Dowex1x8 resin. Pipette solution of 100 mL, and then put into a column containing Dowex resin with a weight of 1.2 g. U effluent results in the column was eluted using 0.1 M HCl, then dried and conducted electro-deposition process and then analyzed using a spectrometer- α . The analysis showed that the content of the isotope ^{235}U obtained at $T_1 = 0.03665 \text{ g/g PEB}$, $T_2 = 0.003468 \text{ g/g PEB}$ and $T_3 = 0.03208 \text{ g/g PEB}$ with separation recovery of 63.71 %. The content of isotope ^{235}U obtained is used for the calculation of burn-up. burn-up calculation results of PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ of Top section (T_1 , T_2 and T_3) were obtained respectively by 43.31 %, 49.48 % and 45.41 % or burn-up an average of 45.75 %. This data is smaller than a data burn-up of PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ of middle section of 50.69 % conducted by previous researchers. However, this data can not be used as an input to the reactor, due to should be equipped with a data burn-up of PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ of bottom section. Therefore, in the next studies will be conducted calculation of burn-up PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ of bottom section.

Keywords: PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ post-irradiation, top, ^{235}U , anion exchanger and burn-up.

PENDAHULUAN

Peningkatan distribusi temperatur di dalam bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ rata-rata sebesar $120 \text{ }^\circ\text{C}$ menjadi $170 \text{ }^\circ\text{C}$, hal ini menyebabkan terjadinya *hot spot* pada posisi tertentu di dalam bahan bakar^[1]. Peningkatan distribusi temperatur disebabkan oleh radiasi yang berkorelasi dengan lamanya bahan bakar di dalam reaktor dengan *burn-up* tertentu sehingga kandungan hasil fisi dan unsur bermassa berat (*heavy element*, HE) dalam bahan bakar meningkat. Fenomena ini terjadi karena adanya reaksi fisi ^{235}U dengan neutron di dalam teras reaktor dengan *burn-up* tertentu. *burn-up* merupakan persentase atau fraksi atom fisis ^{235}U yang terbakar (%) yang dihasilkan dari proses reaksi fisi ^{235}U dengan neutron. Isotop hasil fisi dan HE umumnya sebagai pemancar radiasi α , β dan γ . Untuk mendapatkan kandungan isotop hasil fisi secara kuantitatif dan akurat terlebih dahulu harus dilakukan pemisahan secara radio-kimia. Pemisahan tersebut juga bertujuan agar hasil fisi dengan HE pada saat pengukuran tidak saling mempengaruhi atau saling mengganggu. Hasil pemisahan isotop hasil fisi (^{137}Cs) dengan HE (U, Pu), selanjutnya dapat dianalisis dengan menggunakan alat spektrometer- α ataupun spektrometer- γ ^[2].

PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ TMU $2,9 \text{ gU/cm}^3$ setelah diiradiasi di reaktor dengan *burn-up* tertentu, kemudian dikirim ke *hotcell* IRM-PTBBN-BATAN untuk dilakukan pengujian PIE, diantaranya adalah penentuan *burn-up* mutlak. Analisis *burn-up* mutlak dilakukan menggunakan metode merusak secara radiokimia dengan tujuan untuk membuktikan kandungan atom ^{235}U yang telah terbakar atau isotop ^{235}U sisa serta kandungan atom isotop hasil fisi yang terbentuk setelah bahan bakar tersebut mencapai *burn-up* sebesar $50,06 \%$ atau besaran yang telah ditetapkan melalui perhitungan program *Origen Code*^[3].

Di beberapa negara perhitungan *burn-up* secara radiokimia dilakukan oleh

para peneliti bahan bakar menggunakan beberapa isotop hasil fisi sebagai monitor *burn-up*. Di Korea analisis *burn-up* menggunakan isotop Nd, U dan Pu sebagai monitor *burn-up*, di Chili menggunakan isotop ^{95}Zr dan di India maupun Amerika menggunakan isotop Cs, U dan Pu sebagai monitor *burn-up*^[4]. Pada tulisan ini PTBBN-BATAN akan menggunakan isotop U untuk perhitungan *burn-up* bahan bakar PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi, hal ini sesuai dengan yang pernah dilakukan oleh peneliti sebelumnya yang didukung oleh ASTM^[5].

Metode yang dapat digunakan untuk memungut uranium dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi antara lain adalah metode ekstraksi menggunakan TBP/OK dan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex 1x8 mengikuti ASTM C 1001^[6,7]. Namun, pemisahan ^{235}U dengan menggunakan metode ekstraksi belum menunjukkan hasil yang baik karena masih diperoleh besar pemisahan ^{235}U yang kecil yaitu sebesar $28,03 \pm 5,33 \%$ ^[8]. Sementara itu, dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex 1x8 diperoleh besar pemisahan isotop ^{235}U sebesar $65,55 \pm 0,1 \%$ ^[9]. Pada penelitian ini untuk memisahkan unsur berat U dengan Pu digunakan metode kolom penukar anion dengan penambahan resin Dowex 1x8 sebanyak $1,2 \text{ gram}$ sesuai dengan metode ASTM C1411-01.

Sebelum melakukan pemisahan ^{235}U dengan ^{239}Pu dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi, terlebih dahulu dilakukan proses validasi metode pemisahan dengan menggunakan metode kolom penukar anion. Validasi metode pemisahan isotop ^{235}U dilakukan dengan menggunakan standar U_3O_8 dengan pengkayaan 20% yang mengandung isotop ($^{235}\text{U} = 19,11 \%$, $^{234}\text{U} = 0,123 \%$, $^{238}\text{U} = 79,85 \%$ dan $^{236}\text{U} = 0,210 \%$) dan untuk isotop ^{239}Pu dilakukan dengan menggunakan standar isotop ^{242}Pu . Setelah diperoleh metode yang valid dengan parameter pemisahan yang optimal, selanjutnya dilakukan pemisahan

dan analisis isotop ^{235}U dan ^{239}Pu di dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pascairadiasi. Kandungan isotop ^{235}U , selanjutnya digunakan untuk perhitungan *burn-up* bahan bakar PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi^[10].

METODOLOGI

a. Preparasi Sampel

Ruang lingkup penelitian diawali dengan melakukan penentuan *recovery* pemisahan ^{235}U dan ^{239}Pu menggunakan kolom penukar anoin, pemotongan sampel PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ bagian atas secara Triplo (T_1 , T_2 dan T_3), pelarutan menggunakan HCl 6 M dan HNO_3 M sehingga diperoleh larutan T_1 , T_2 dan T_3 masing-masing 25 mL. Untuk menghindari paparan radiasi dilakukan pencuplikan sampel larutan T_1 , T_2 dan T_3 sebanyak 1 mL dan diencerkan menjadi 10 mL. Untuk pemisahan hasil fisi ^{137}Cs dengan ^{235}U dalam larutan T_1 , T_2 dan T_3 volume umpan yang digunakan sebesar 150 μL . Pemisahan ^{137}Cs dalam sampel larutan T_1 , T_2 dan T_3 dilakukan menggunakan metode penukar kation dengan penambahan zeolit Lampung sebanyak 700 mg. Hasil pemisahan diperoleh ^{137}Cs dalam fasa padat dan ^{235}U , ^{239}Pu dalam fasa cair atau larutan, selanjutnya dilakukan pemisahan ^{235}U dalam larutan menggunakan metode kolom penukar anion dengan penambahan resin Dowex 1x8. Pemilihan resin Dowex 1x8 sebagai bahan penukar ion didasarkan kepada prosedur ASTM C1411-01 dan ASTM C1415-01. Efluen isotop ^{235}U yang keluar dari kolom dikenakan proses elektrodposisi untuk selanjutnya dilakukan pengukuran dengan spektrometer- α . Kandungan isotop ^{235}U digunakan untuk perhitungan *burn-up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ TMU 2,96 gU/cm^3 bagian atas^[15,16].

b. Perhitungan *burn-up* mutlak PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ TMU 2,96 gU/cm^3 pasca iradiasi.

Kandungan isotop-isotop di dalam 150 μL larutan bahan bakar PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ kemudian dikonversikan terhadap berat PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ dengan kode T_1 , T_2 dan T_3 atau di dalam 25 mL, sehingga diperoleh berat (jumlah) isotop U dalam berat tertentu di dalam sampel PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi^[19]. Dalam perhitungan *burn-up* bahan bakar yang harus diketahui adalah kandungan isotop ^{235}U mula-mula (U_0), ^{235}U sisa atau isotop ^{235}U yang terbakar dalam reaktor (U_i) menjadi isotop ^{137}Cs atau ^{239}Pu secara kuantitatif. Kandungan isotop ini, selanjutnya digunakan untuk perhitungan *burn-up* dengan rumusan^[18]:

$$BU = \frac{U_0 - U_i}{U_0} \times 100$$

dengan:

BU: *burn-up*

U_0 : Jumlah atom ^{235}U awal

U_i : Jumlah atom ^{235}U yang tersisa atau

U_i : Jumlah atom ^{235}U awal – jumlah atom ^{235}U yang terbakar menjadi ^{137}Cs dan ^{239}Pu

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. *Recovery* pemisahan standar ^{235}U dan ^{242}Pu

Hasil penentuan *recovery* pemisahan isotop ^{235}U dan ^{242}Pu dengan metode kolom penukar anion diperoleh kandungan isotop ^{242}Pu dalam 50 μL sebesar 0,00069 μg dengan aktivitas 0,1003 Bq, sedangkan nilai dari sertifikat kandungan isotop ^{242}Pu didalam 50 μL standar ^{242}Pu sebesar 0,00106 μg dengan aktivitas 0,154 Bq. Perbandingan kandungan antara isotop ^{242}Pu dari hasil pengukuran dengan isotop ^{242}Pu dari sertifikat diperoleh *recovery* pemisahan sebesar 65,11 %. Sementara itu, hasil *recovery* pemisahan isotop ^{235}U dengan metode kolom penukar anion diperoleh sebesar 63,71 %. Hasil ini menunjukkan bahwa proses pemisahan isotop ^{242}Pu maupun ^{235}U menggunakan kolom penukar

ion belum diperoleh hasil yang maksimal, karena diperoleh *recovery* analisis hanya sebesar 65,11 % untuk isotop ^{242}Pu dan

63,71 % untuk isotop ^{235}U seperti terlihat pada Tabel 1.

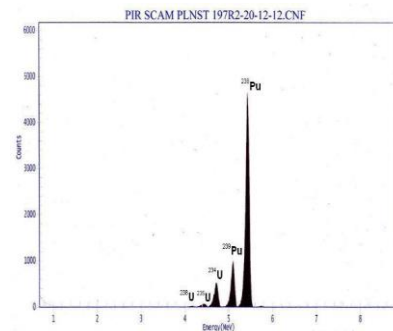
Tabel 1. Hasil analisis standar isotop ^{242}Pu dan ^{235}U secara kolom penukar anion.

Isotop	Cps	Aktivitas (Bq)	N jumlah atom ^{242}Pu	Kandungan isotop Sertifikat (μg)	Kandungan isotop pengukuran (μg)	<i>Recovery</i> (%)
^{242}Pu	0,0285	0,1003	$1.72 \text{ E}+12$	0,0011	0,00069	65,11
^{235}U	0,0442	0,2032	$6.51 \text{ E}+15$	3,9888	2,5413	63,71

Hasil pengukuran isotop ^{235}U dan ^{239}Pu sebelum ditambah resin Dowex 1x8 diperoleh 2 (dua) spektrum isotop Pu yaitu ^{239}Pu ($E_\alpha = 5,155 \text{ MeV}$), ^{238}Pu ($E_\alpha = 5,486 \text{ MeV}$), selain isotop Pu diperoleh juga 3 (tiga) spektrum isotop-U yaitu ^{238}U ($E_\alpha = 4,194 \text{ MeV}$), ^{235}U ($E_\alpha = 4,397 \text{ MeV}$), dan isotop ^{234}U ($E_\alpha = 4,777 \text{ MeV}$) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Dari spektrum yang ditunjukkan pada Gambar 2 dapat diketahui kandungan isotop U dan Pu dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dengan cara menghitung luas spektrumnya masing-masing. Hasil kandungan isotop U dan Pu dalam larutan larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi sebelum dilakukan pemisahan dengan

penambahan resin Dowex ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 2. Spektrum isotop Pu (^{239}Pu dan ^{238}Pu) dan isotop-U (^{234}U , ^{235}U , dan ^{238}U) sebelum dilakukan pemisahan dengan resin penukar anion

Tabel 2. Kandungan isotop U dan Pu dalam larutan sebelum dilakukan pemisahan dengan resin

Sampel	Kandungan isotop dalam sampel uji (μg)			Kandungan isotop dalam 1 g PEB (g/g)		
	^{235}U	^{239}Pu	^{238}Pu	^{235}U	^{239}Pu	^{238}Pu
T ₁	5378,06	0,5409	0,2526	0,0664	$6,68\text{E}-06$	$3,12\text{E}-06$
T ₂	4908,08	0,6127	0,2122	0,0564	$7,04\text{E}-06$	$2,44\text{E}-06$
T ₃	4405,48	0,4435	0,2081	0,0506	$5,10\text{E}-06$	$2,39\text{E}-06$

Hasil pengukuran isotop tersebut belum sempurna karena isotop U dan Pu dalam larutan masih ada faktor pengganggu atau saling mempengaruhi pada saat proses pemisahan dilakukan. Pengganggu tersebut dimulai dari proses elektrodeposisi sampai dengan pengukuran isotop dengan spektrometer- α . Pengaruh terhadap hasil cacahan tidak hanya disebabkan oleh saling mempengaruhi antara isotop U dan Pu tetapi juga disebabkan oleh unsur lain yang terdapat dalam larutan pasca iradiasi. Adanya isotop atau unsur pengotor tersebut dapat

menyebabkan hasil proses elektrodeposisi isotop U dan Pu pada plasket menjadi tebal dan bukan merupakan lapisan tipis seperti yang dikehendaki. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap pencacahan dengan spektrometer- α yang mengakibatkan hasil cacahan isotop akan menjadi lebih besar dari yang seharusnya. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pemisahan isotop-isotop tersebut sebelum dilakukan proses elektrodeposisi dan sebelum dilakukan pengukuran dengan spektrometer- α .

Hasil analisis isotop Pu dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi hasil

pemisahan dengan menggunakan resin kolom penukar anion ditunjukkan pada

Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis elusi Pu menggunakan eluen HCl 0,36M dan HF 0,01M

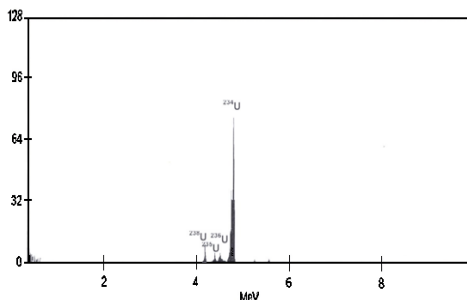
Sampel	Kandungan isotop dalam sampel (µg)			Kand isotop dalam 1 g PEB (g)		
	²³⁵ U	²³⁹ Pu	²³⁸ Pu	²³⁵ U	²³⁹ Pu	²³⁸ Pu
T ₁	7,07	0,86	0,0023	0,0001	1,05E-05	2,88E-08
T ₂	0,00	0,75	0,0012	0,0000	8,67E-06	1,39E-08
T ₃	0,00	0,64	0,0014	0,0000	7,37E-06	1,61E-08

Tabel 3 yang memuat hasil analisis elusi Pu menunjukkan bahwa kandungan isotop Pu setelah dilakukan proses pemisahan dengan resin penukar anion memperoleh hasil yang lebih besar jika dibandingkan dengan pengukuran langsung (tanpa dilakukan pemisahan) seperti terlihat pada Tabel 1. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh isotop uranium dan unsur lain sudah tidak ada. Fenomena ini dibuktikan dengan hasil analisis kandungan isotop uranium dalam efluen Pu sangat kecil, bahkan pada sampel T₂ dan T₃ kandungan isotop ²³⁵U tidak terdeteksi seperti terlihat pada Gambar 3.

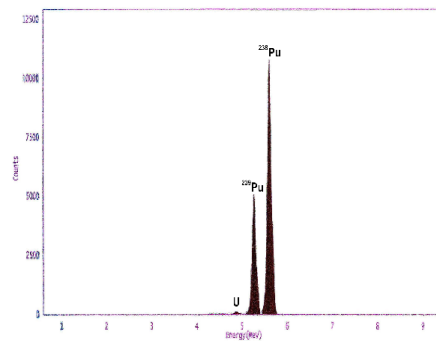
Dari data Tabel 3 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa pemisahan isotop Pu dari isotop uranium dan unsur pengotor lainnya dengan metode resin penukar anion menggunakan resin Dowex 1x8 sudah menunjukkan hasil yang baik.

Tabel 4. Kandungan isotop U hasil pemisahan dengan resin dengan eluen HCl 0,1M

Sampel	Kandungan isotop dlm sampel (µg)			Kand isotop dlm 1 g PEB (g/g)		
	²³⁵ U	²³⁹ Pu	²³⁸ Pu	²³⁵ U	²³⁹ Pu	²³⁸ Pu
T1	1891,22	0,00	0,0000	0.0233	0,00	0,00
T2	1922,13	0,06	0.0003	0.0221	6.84E-07	3.99E-09
T3	1778,95	0,04	0.0002	0.0204	4.68E-07	1.91E-09



Gambar 4. Spektrum hasil elusi isotop U dengan eluen HCl 0,1M



Gambar 3. Spektrum efluen isotop Pu dengan eluen HCl 0,36M dan HF 0,01M

Hasil analisis isotop U yang terdapat di dalam larutan PEB U₃Si₂-Al pasca iradiasi sebagai hasil pemisahan dengan resin kolom penukar anion ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 4.

Hasil perhitungan *burn-up* secara radiokimia (cara merusak) PEB U₃Si₂-Al TMU 2,96 gU/cm³ pasca iradiasi yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan *burn-up* untuk PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ TMU $2,96 \text{ gU/cm}^3$ bagian atas

Kode Sampel	Berat Sampel (g)	Berat ^{235}U - Awal, U_o (g/g PEB)	Berat ^{235}U - Hasil uji, U_i (g/g PEB)	<i>Burn-up</i> , U_o-U_i/U_o (%)
T ₁	0,095	0,063529	0,03665	43,31
T ₂	0,081	0,063529	0,03468	45,41
T ₃	0,087	0,063529	0,03209	49,48

Dari Tabel 4 terlihat bahwa nilai *burn-up* rerata untuk PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ TMU $2,96 \text{ gU/cm}^3$ bagian atas diperoleh sebesar 45,75 %. Hasil perhitungan *burn-up* ini mengabaikan faktor-faktor yang berpengaruh antara lain faktor pada saat fabrikasi, pada saat di radiasi di reaktor maupun faktor waktu tinggal di *hotcell* IRM selama ± 18 tahun. Namun untuk mendapatkan nilai *burn-up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ TMU $2,96 \text{ gU/cm}^3$ TMU $2,96 \text{ gU/cm}^3$, harus dilakukan perhitungan nilai *burn-up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ TMU $2,96 \text{ gU/cm}^3$ bagian tengah dan bawah, kemudian masing-masing nilai *burn-up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ TMU $2,96 \text{ gU/cm}^3$ bagian atas, tengah dan bawah direratakan, sehingga diperoleh nilai *burn-up* yang sebenarnya. Besaran *burn-up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ TMU $2,96 \text{ gU/cm}^3$ bagian atas sebesar 45,75 % lebih kecil bila dibandingkan dengan *burn-up* bagian tengah yang diperoleh sebesar 51,69 % pada penelitian sebelumnya^[19].

SIMPULAN

Hasil pemisahan ^{235}U yang terdapat di dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ tingkat muat uranium (TMU) $2,96 \text{ gU/cm}^3$ pada bagian atas diperoleh kandungan ^{235}U sebesar $T_1 = 0,03665 \text{ g/g PEB}$, $T_2 = 0,003468 \text{ g/g PEB}$ dan $T_3 = 0,03208 \text{ g/g PEB}$ dengan *recovery* pemisahan sebesar 63,71 %. Dari data kandungan ^{235}U , kemudian dilakukan perhitungan *burn-up* sehingga diperoleh *burn-up* EBU $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ bagian atas (T_1 , T_2 dan T_3) masing masing sebesar 43,31 %, 45,41 % dan 49,48 % atau dengan *burn-up* rerata sebesar 45,75 %. Data ini lebih kecil dibandingkan dengan data *burn-up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ potongan bagian tengah sebesar 50,69 % yang dilakukan

oleh peneliti sebelumnya. Namun data ini belum dapat digunakan sebagai masukan kepada reaktor, karena harus dilengkapi dengan data *burn-up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ potongan bagian bawah. Oleh karena itu pada penelitian selanjutnya akan dilakukan perhitungan *burn-up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ potongan bagian bawah.

SARAN

Proses pemisahan ^{235}U dan ^{239}Pu dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dengan metode kolom penukar anion masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terutama aspek pengukuran radioaktivitas dan parameter yang digunakan dalam proses, agar diperoleh *recovery* lebih besar serta hasil pemisahan dan pengukuran isotop ^{235}U dan ^{239}Pu yang akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ibu Ir. Aslina Br. Ginting, dan rekan-rekan Kelompok Fisiko Kimia Bidang Uji Radiometalurgi yang telah membantu penelitian ini sehingga makalah ini dapat terwujud.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. P. HASTUTI, T. M. SEMBIRING, SUPARJO, SUWARDI, (2010). LAK Inersi Elemen Bakar Uji Silisida 3 pelat Tingkat Muat 4,8 dan 5,8 gU/cm^3 di Teras RSG-GAS, PRSG-BATAN.
- [2] W. SUSETYO, (1988), Spektrometer Gamma dan Alpha, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.

- [3] ANONIM, (2013), Laporan Analisis Keselamatan, Pusat Reaktor Serba Guna - BATAN.
- [4] R.I.Dobrin, T.Craciunescu, M Pavelescu, (2010), *Candu and Triga Fuel Burn-up Determination Using Axial and Tomographic Gamma Scanning*, Institute for Nuclear Research Pitesti, P.O.Box 78, Campului Str 1, Mioveni, Rumania, November 4.
- [5] American Standard Test Methods, ASTM-E 692-00, (2000), *Standard Test Methods for Determining the Content of Cesium-137 in Irradiation Nuclear Fuels by High Resolution Gamma-ray Spectral Analysis*, Standard Test Method for Nuclear Material, USA, Vol.12.1 (2000).
- [6] A.Br. Ginting, dkk (2012), Pemisahan dan Analisis Radionuklida ^{137}Cs di Dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Tingkat Muat Uranium 2,96 g/cm³ Pasca Iradiasi, Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, Volume 8 No.1.
- [7] American Standar Test Methods, (1992), *Standar Practice for The Ion Exchange Separation of Uranium and Plutonium Prior to Isotopic Analysis*: ASTM No C-1411-01. Vol. 12.01.
- [8] American Standar Test Methods, (1992), *Standar Test Methods for ^{238}Pu Isotopic Abundance By Alpha Spectrometry*, ASTM No C- 1415-01. Vol. 12.1.
- [9] Boybul, (2015), Penentuan Kandungan Isotop ^{137}Cs , ^{239}Pu Dan ^{235}U Dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi Untuk Perhitungan *burn-up*, Presentasi Peneliti Madya, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Serpong 21 September 2015.
- [10] A.Br. Ginting, (2011), Analisis Isotop Transurium dalam Bahan Bakar $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi Menggunakan Spektrometer Alpha, URANIA, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir, Vol. 17 No.2, Juni 2011, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir -BATAN.
- [11] A. H. Orabi, (2013), *Determination of Uranium After Separation Using Solvent Extrction from Slightly Nitric Acid Solution and Spectrophotometric Detection*, Journal of Radiation Research and Applied Sciences, Volume 6, Issue 2, October 2013, page 1-10.
- [12] K. Sawada, Y. Enokida, M. Kamiya, T. Koyama, And K. Aoki, (2009), Distribution Coefficientsof U(VI), Nitric Acid and FP Elements in Extraction from Concentrated Aqueous Solutions of Nitrates by 30 % Tri-n-butylphosphate Solution, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 46, No.1, Japan.
- [13] K. V. Chetty, P. M. Mapara, A. G. Godbole, R.Swaup, (1997), *Effect of Mixed Solvent Media on The Sorption and Separation of Uranium and Plutonium on Macroporous Resins*, Fuel Chemistry Division Bhabha Atomic Research Center, Trombay, Bombay 400-085, India.
- [14] M. H. Lee, C. J. Kim, B. H. Boo, (2000), *Electrodeposition of Alpha-emitting Nuclides from Ammonium Oxalate-Ammonium Sulfate Electrolyte*, Bull. Korean Chem. Soc. Vol 21 No. 2, page 175.
- [15] A. Br. Ginting, D. Anggraini, A.Nugroho, (2011), Pengaruh Pe-nambahan Zeolit Terhadap Pemisahan Isotop ^{137}Cs dalam Pelat Elemen Bakar $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi, Jurnal Teknologi Bahan Buklir- PTBN-BATAN, Vol. 7, No. 2, Juni.
- [16] A. Nugroho, Boybul, A. Br. Ginting, (2014), Pemungutan Isotop Hasil Fisi ^{137}Cs Dan Unsur Bermassa Berat Dari Bahan Bakar $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi, Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, Vol. 10, No.1, Juni 2014, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN.
- [17] S. Amini, D. Anggraini, Y. Nampira, Rosika, Noviarti, Dan A. Nugroho, (2003) Keselektifan Zeolit Lampung

- Terhadap Kation-kation Matrik Hasil Fisi Uranium, Jurnal Zeolit Indonesia, ISSN1411-6723, Vol 2, No. 1 9-14.
- [18] C. Pereda, C. Henriquez, J. Medel, J. Klein, G. Navaro, (2002), *Zr-95 Fuel burn-up Measurement using Gamma Spectrometry Technique*, Commission Chilena de Energia, Santiago de Chile, Chile, Universidad Diego Portales, Escuela de Ingenieria, Santiago de Chile, Chile.
- [19] A. Br. Ginting, dkk, (2015), Penentuan *burn-up* mutlak PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ TMU $2,96 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi, Jurnal Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Vol.11. No.2 Edisi Juni 2015, hal 83-92, ISSN 1907-2625, No. Akreditasi: 616/AU3/P2MI-LIPI/03/203, Masa berlaku hingga April 2018.

