

## ANALISIS KANDUNGAN CESIUM DAN URANIUM DALAM BAHAN BAKAR $U_3Si_2/Al$ PASCA IRADIASI

Boybul, Yanlinastuti, Dian Anggraini, Arif Nugroho,  
Rosika Kriswarini, Aslina Br Ginting

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN  
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, 15314  
e-mail : boybul@batan.go.id

(Naskah diterima: 15-06-2017, Naskah direvisi: 22-06-2017, Naskah disetujui: 03-07-2017)

### ABSTRAK

**ANALISIS KANDUNGAN CESIUM DAN URANIUM DALAM BAHAN BAKAR  $U_3Si_2/Al$  PASCA IRADIASI.** Telah dilakukan pemisahan hasil fisi isotop  $^{137}Cs$  dan  $^{235}U$  dengan tujuan untuk mengetahui kandungan isotop  $^{137}Cs$  maupun  $^{235}U$  dalam PEB  $U_3Si_2/Al$  dengan densitas  $2,96\text{ gU/cm}^3$  pasca iradiasi. Langkah awal yang dilakukan untuk menentukan kandungan isotop  $^{137}Cs$  dan  $^{235}U$  adalah pemotongan PEB  $U_3Si_2/Al$ . Posisi pemotongan dilakukan pada bagian atas, tengah dan bawah dengan berat masing masing 0,095 g; 0,1103 g dan 0,1441g. Potongan PEB  $U_3Si_2/Al$  dilarutkan dalam 25 mL  $HNO_3$  6N dan  $HCl$  6N sehingga diperoleh larutan PEB  $U_3Si_2/Al$ . Pemisahan  $^{137}Cs$  dilakukan dengan metode penukar kation dan metode pengendapan. Pemisahan  $^{137}Cs$  menggunakan metode penukar kation dilakukan dengan memipet 150  $\mu L$  larutan PEB  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi kemudian ditambahkan zeolit Lampung 1000 mg. Sementara itu, pemisahaan dengan metode pengendapan dilakukan dengan menambahkan serbuk  $CsNO_3$  sebagai carrier seberat 700 mg dan  $HClO_4$ . Isotop  $^{137}Cs$  terikat dengan zeolit berada pada fasa padat dalam bentuk  $^{137}Cs$ -zeolit dan isotop U berada pada fasa cair atau supernatan. Proses pengendapan dilakukan di dalam ice batch dengan temperatur  $-4^\circ C$  hingga terbentuk endapan  $^{137}CsClO_4$ . Besarnya kandungan isotop  $^{137}Cs$  dalam padatan  $^{137}Cs$ -zeolit maupun endapan  $^{137}CsClO_4$  diukur dengan menggunakan spektrometer- $\gamma$ . Pemisahan  $^{235}U$  dalam supernatan dilakukan dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex 1x5- $NO_3$ . Supernatan sebanyak 500  $\mu L$  dari masing-masing potongan bagian atas, tengah dan bawah sebagai umpan dimasukkan ke dalam kolom dan ditambahkan resin Dowex 1x8- $NO_3$  seberat 1,2 g. Efluen U dielusi dengan  $HNO_3$  8N dan efluen Pu dielusi dengan  $HCl$  0,1N+ $HF$ 0,036N. Efluen U yang keluar dari kolom dikenakan proses elektrodeposisi untuk selanjutnya diukur kandungan  $^{235}U$  dengan spektrometer- $\alpha$ . Kandungan  $^{137}Cs$  menggunakan metode penukar kation diperoleh sebesar 401,0335  $\mu g/gPEB$ ; 451,1094  $\mu g/gPEB$  dan 343,9651  $\mu g/gPEB$  masing-masing untuk potongan bagian atas, tengah dan bawah dengan recovery sebesar 99%, sedangkan dengan metode pengendapan diperoleh  $^{137}Cs$  masing masing sebesar 393,4581  $\mu g/gPEB$ ; 452,0525  $\mu g/gPEB$  dan 330,7839  $\mu g/gPEB$  dengan recovery sebesar 98%. Kandungan  $^{235}U$  diperoleh sebesar 45208  $\mu g/gPEB$ ; 50896  $\mu g/gPEB$  dan 44336  $\mu g/gPEB$  untuk potongan bagian atas, tengah dan bawah dengan recovery sebesar 68 %.

**Kata kunci:** isotop  $^{137}Cs$ ,  $^{235}U$ , PEB  $U_3Si_2/Al$  densitas uranium  $2,96\text{ gU/cm}^3$ .

---

## ABSTRACT

### **ANALYSIS OF CESIUM AND URANIUM CONTENT IN IRRADIATED $U_3Si_2/Al$ FUEL.**

Separation of fission product isotopes of  $^{137}Cs$  and  $^{235}U$  has been done to determine content of  $^{137}Cs$  and  $^{235}U$  in irradiated  $U_3Si_2/Al$  fuel plate of  $2.96\text{ gU/cm}^3$  density. The initial step in the determination of  $^{137}Cs$  and  $^{235}U$  content is sample cutting proces. The cutting position was determined at the top middle and bottom part of the plate by an ammount of 0.095 g; 0.1103 g and 0.1441g for each respective position. Each sample was dissolved in 25 mL of  $HNO_3$  6N dan  $HCl$  6N to obtain irradiated  $U_3Si_2/Al$  solution. Separation was carried out by cation exchange and precipitation methods. The separation of  $^{137}Cs$  was done by pipeting 150  $\mu L$  of the irradiated  $U_3Si_2/Al$  sample solution and adding it to 1000 mg of Lampung zeolite, while the separation by precipitation methode was done by adding 700 mg of  $CsNO_3$  powder as carrier and  $HClO_4$  to the  $U_3Si_2/Al$  sample solution. In the cation exchange method,  $^{137}Cs$  would be bound by zeolite in the solid phase in the form of  $^{137}Cs$ -zeolite and uranium would stay in the liquid phase or supernatan. The precipitation was done in an ice bath at  $-4\text{ }^\circ C$  to obtain  $^{137}CsClO_4$  precipitate. The effluent leaving the column was subjected to electrodeposition process for  $^{235}U$  content measurement with  $\alpha$ -spectrometer. The  $^{137}Cs$  content obtained by cation exchange was 401.0335  $\mu g/g$  FP (FP = irradiated fuel plate) ; 451.1094  $\mu g/g$  FP and 343.9651  $\mu g/g$  FP for each respective sample position by 99 % recovery, while the  $^{137}Cs$  content obtained by precipitation method was 393.4581  $\mu g/g$  FP; 452.0525  $\mu g/g$  FP and 330.7839  $\mu g/g$  FP for each respective sample position by 98 % recovery. The  $^{235}U$  content was found to be 45208  $\mu g/g$  FP; 50896  $\mu g/g$  FP and 44336  $\mu g/g$  FP for each respective sample position by 68 % recovery.

**Keywords:**  $^{137}Cs$ ,  $^{235}U$ ,  $U_3Si_2/Al$  fuel plate,  $2.96\text{ gU/cm}^3$  uranium density.

## PENDAHULUAN

Peningkatan distribusi temperatur di dalam bahan bakar PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al rata-rata sebesar 120 °C menjadi 170 °C, kadangkala 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 menyebabkan kandungan hasil fisi dan unsur bermassa berat meningkat. Hasil reaksi fisi utama dari <sup>235</sup>U dengan neutron adalah <sup>90</sup>Sr dan <sup>137</sup>Cs[2,3], sedangkan melalui reaksi aktivasi <sup>238</sup>U dengan menangkap neutron termal (energi neutron termal 0,025 eV) akan mengalami reaksi fertile menjadi <sup>239</sup>Np, <sup>238</sup> dan <sup>239</sup>Pu.

PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al dengan densitas uranium 2,96 gU/cm<sup>3</sup> pasca iradiasi mengandung beberapa hasil fisi seperti isotop <sup>137</sup>Cs, <sup>144</sup>Ba, dan <sup>90</sup>Sr dan unsur bermassa berat diantaranya adalah isotop U (<sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>234</sup>U, <sup>236</sup>U) dan Pu (<sup>239</sup>Pu, <sup>238</sup>Pu). Isotop <sup>144</sup>Ba adalah isotop hasil fisi yang masih dapat meluruh dan menghasilkan isotop lain sebagai hasil fisi yang lebih stabil yaitu <sup>90</sup>Sr dan <sup>137</sup>Cs[4]. Hasil fisi yang digunakan dalam menghitung *burn-up* adalah jumlah isotop <sup>235</sup>U yang terbakar menjadi isotop <sup>137</sup>Cs serta <sup>235</sup>U sisa yang akan dibandingkan dengan jumlah <sup>235</sup>U awal[5,6]. Hal ini sesuai dengan yang pernah dilakukan terhadap penentuan *burn up* oleh beberapa peneliti sebelumnya[7].

Penentuan isotop <sup>235</sup>U yang terbakar dapat diketahui dari reaksi fisi <sup>235</sup>U dengan neutron maupun reaksi fertil dari <sup>238</sup>U. Untuk menentukan kandungan isotop hasil fisi <sup>137</sup>Cs dan <sup>235</sup>U harus dilakukan pemotongan PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al densitas uranium 2,96 gU/cm<sup>3</sup> pasca iradiasi. Pemotongan PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al didasarkan kepada proses terjadinya reaksi fisi antara <sup>235</sup>U dengan neutron di dalam reaktor dengan *fission yield* tertentu[8,9]. Posisi pemotongan didukung oleh hasil pengukuran distribusi hasil fisi menggunakan *Gamma Scanning* pada 3

(tiga) posisi yaitu bawah, tengah dan atas PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al. Pemotongan PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al dengan dimensi 10x10x1,37 mm dilakukan di HC 103, kemudian dikirim ke HC 104 untuk dipotong kembali menjadi dimensi 3x3x1,37 mm menggunakan *diamond cutting*.

Potongan PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al dengan dimensi 3x3x1,37 mm masing-masing pada 3 (tiga) posisi bawah, tengah dan atas, kemudian dilarutkan menggunakan HNO<sub>3</sub> 6 N dan HCl 6 N[10], untuk selanjutnya dipisahkan isotop hasil fisi dengan unsur-unsur bermassa berat. Penentuan isotop hasil fisi dan unsur bermassa berat dapat dilakukan secara mudah dengan menggunakan spektrometer massa, namun karena PTBBN-BATAN belum memiliki alat tersebut, maka untuk menentukan komposisi isotop hasil reaksi fisi maupun unsur bermassa berat sebagai pemancar radiasi α dan γ harus dilakukan pemisahan terlebih dahulu secara radiokimia, untuk selanjutnya dapat dianalisis dengan menggunakan alat spektrometer-α ataupun spektrometer-γ[9,11].

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kandungan isotop hasil fisi <sup>137</sup>Cs dan <sup>235</sup>U dalam PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al pasca iradiasi. Kandungan isotop <sup>137</sup>Cs maupun <sup>235</sup>U selanjutnya digunakan untuk perhitungan *burn up* dan akan dibandingkan dengan *burn up* yang telah dihitung menggunakan program *Origen* oleh RSG-GAS. Hasil perhitungan *burn up* secara merusak digunakan untuk mempelajari unjuk kerja bahan bakar selama diradiasi di dalam reaktor dan sekaligus bertujuan untuk membuktikan apakah besar *burn up* yang dihitung dengan *software Origen* sama dengan *burn up* dengan cara merusak.

## METODOLOGI

PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al dengan densitas uranium 2,96 gU/cm<sup>3</sup> pasca iradiasi dipotong sisi atas, tengah dan bawah (kode T-1, M-1 dan B-1) dengan berat masing masing 0,095 g; 0,1103 g dan 0,1441g, kemudian

dilarutkan di dalam 5 mL HCl dengan konsentrasi 6 N dan 5 mL HNO<sub>3</sub> 6 N[11]. Pemisahan <sup>137</sup>Cs menggunakan metode penukar kation dilakukan dengan memipet 150 µL larutan PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al pasca iradiasi kemudian ditambahkan zeolit Lampung 1000 mg[12]. Proses penukar kation dilakukan dengan pengocokan selama 1 jam hingga terpisah antara fasa padat dengan fasa cair. Isotop <sup>137</sup>Cs terikat dengan zeolit berada pada fasa padat dalam bentuk <sup>137</sup>Cs-zeolit dan isotop <sup>235</sup>U dan <sup>239</sup>Pu berada pada fasa cair atau supernatan. Sementara itu, pemisahan <sup>137</sup>Cs menggunakan metode pengendapan dilakukan dengan menambahkan serbuk CsNO<sub>3</sub> sebagai senyawa pembawa (*carrier*) seberat 700 mg dan HClO<sub>4</sub>[11]. Proses pengendapan dilakukan di dalam *ice batch* dengan temperatur – 4 °C hingga terbentuk endapan <sup>137</sup>CsClO<sub>4</sub>. Besarnya kandungan isotop <sup>137</sup>Cs dalam padatan <sup>137</sup>Cs-zeolit maupun endapan <sup>137</sup>CsClO<sub>4</sub> diukur dengan menggunakan spektrometer- $\gamma$ . Pemisahan <sup>235</sup>U dari isotop Pu dan pengotor lainnya dalam supernatan dilakukan dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex1x8-NO<sub>3</sub>. Supernatan sebanyak 500 µL dalam suasana HNO<sub>3</sub> 8 N sebagai umpan dimasukkan ke dalam kolom yang telah diberi resin Dowex1x8-NO<sub>3</sub> seberat 1,2 g. Isotop Pu terikat oleh resin sedangkan efluen yang mengandung isotop U dan pengotor lainnya keluar kolom. Efluen yang berisi isotop U dan pengotor diuapkan sampai kering dan dilarutkan lagi dalam suasana HCl 12 M sebagai umpan dimasukkan ke dalam kolom yang telah diberi resin Dowex1x8-Cl seberat 1,2 g untuk memisahkan isotop U dari pengotor lainnya. Isotop U terikat resin sedangkan pengotor keluar dari kolom. Kolom kemudian dielusi menggunakan HCl 0,1 M, isotop U keluar dari kolom sebagai efluen U[12]. Efluent U dikenakan proses elektrodeposisi<sup>[13,14]</sup>, kemudian diukur aktivitasnya menggunakan spektrometer- $\alpha$  dengan waktu cacah 20000 detik. Hasil pengukuran diperoleh

berupa cacahan per detik (cps) yang selanjutnya diestimasi menjadi besaran berat <sup>235</sup>U.

Kandungan isotop di dalam 150 µL larutan bahan bakar PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al kemudian dikonversikan terhadap berat PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al dengan kode T-1, M-1 dan B-1 di dalam 25 mL, sehingga diperoleh berat isotop <sup>137</sup>Cs maupun <sup>235</sup>U dalam sampel PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al pasca iradiasi[5,6].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pemotongan PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al dengan densitas uranium 2,96 gU/cm<sup>3</sup> pasca iradiasi posisi pada bagian bawah, tengah dan atas dengan berat masing-masing potongan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Berat PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al pasca iradiasi pada bagian bawah, tengah dan atas

PEB U <sub>3</sub> Si <sub>2</sub> /Al	Berat bagian atas (g)	Berat bagian tengah (g)	Berat bagian bawah (g)
Potongan-1	0,095	0,1103	0,1441
Potongan-2	0,081	0,1396	-
Potongan-3	0,087	0,0972	-

### a. Pelarutan PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al densitas uranium 2,96 gU/cm<sup>3</sup> pasca iradiasi

Hasil pelarutan potongan PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al pada posisi bawah, tengah dan atas diperoleh larutan uranium nitrat yang mengandung isotop hasil fisi dan unsur-unsur bermassa berat. Larutan uranium nitrat tersebut siap dipisahkan kandungan isotop-nya antara lain <sup>137</sup>Cs menggunakan metode penukar kation dan metode pengendapan serta <sup>235</sup>U menggunakan metode kolom penukar anoin dengan resin Dowex 1x8 –NO<sub>3</sub>.

### b. Penentuan efisiensi detektor Spektrometer- $\alpha/\gamma$

Efisiensi detektor ditentukan terhadap sampel standar berupa larutan maupun sampel padatan. Hal ini dilakukan

untuk menentukan kandungan isotop dalam fasa padat maupun fasa cair PEB  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi. Hasil pengukuran standar  $^{137}Cs$  dan  $^{235}U$  dengan 7 (tujuh) kali

pengulangan diperoleh cacahan yang menunjukkan besarnya efisiensi detektor, akurasi dan presisi pengukuran seperti yang tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Data perhitungan efisiensi detektor spektrometer- $\alpha/\gamma$ [5]

Alat Uji	Standar	Eff.detektor (%)	Akurasi (%)	Presisi (%)
Spektrometer- $\gamma$	Larutan $^{137}Cs$	0,2898	0,376	1,875
	Padatan $^{137}Cs$ -zeolit	0,2983	0,452	2,023
	Endapan $^{137}CsClO_4$	0,2988	0,452	2,023
Spektrometer- $\alpha$	Planset $^{235}U$	0,3782	0,552	3,123

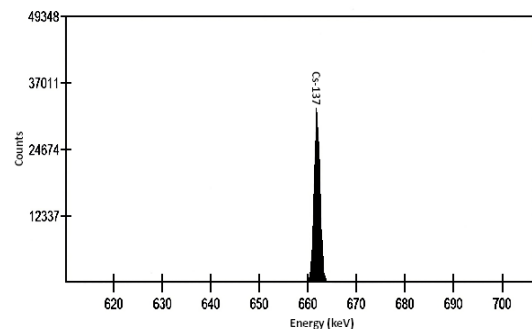
Tabel 2 menunjukkan bahwa efisiensi detektor spektrometer- $\alpha/\gamma$  tidak mempunyai perbedaan yang signifikan. Demikian halnya dengan besaran akurasi dan presisi yang diperoleh lebih kecil 5 % pada derajat kepercayaan 95 %. Hasil ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antara besar aktifitas (Bq/g) hasil pengukuran sampel standar dengan sertifikat.

### c. Pemisahan $^{137}Cs$ dalam larutan PEB $U_3Si_2/Al$ pasca iradiasi

Hasil pemisahan  $^{137}Cs$  dengan metode penukar kation menunjukkan bahwa zeolite Lampung terikat dengan  $^{137}Cs$  dalam bentuk  $^{137}Cs$ -zeolit. Sementara itu, dengan menggunakan metode pengendapan  $CsNO_3$  dan  $HClO_4$ , isotop  $^{137}Cs$  terendapkan dalam garam  $CsClO_4$ . Hasil pengukuran isotop  $^{137}Cs$  dalam endapan  $^{137}Cs$ -zeolit maupun  $CsClO_4$  menggunakan spektrometer gamma ditunjukkan pada Gambar 1.

Gambar 1 menunjukkan bahwa pada energi 661,45 keV terbentuk spektrum isotop  $^{137}Cs$  yang terdapat di dalam PEB  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi. Pengukuran dengan waktu cacah 1500 detik, hanya diperoleh spektrum isotop  $^{137}Cs$  dan tidak terlihat adanya spektrum isotop pemancar sinar- $\gamma$  selain isotop  $^{137}Cs$ . Fenomena ini menunjukkan bahwa zeolit Lampung yang digunakan dalam proses penukar kation dan  $CsNO_3$  serta  $HClO_4$  yang digunakan dalam

metode pengendapan sangat selektif terhadap  $^{137}Cs$  dan mampu memisahkan isotop  $^{137}Cs$  dari isotop lainnya secara baik.



Gambar 1. Spektrum  $^{137}Cs$  dalam  $^{137}Cs$ -zeolit maupun endapan  $CsClO_4$

Luasan spektrum yang terbentuk menunjukkan besarnya kandungan  $^{137}Cs$  yang terdapat dalam PEB  $U_3Si_2/Al$ . Kandungan isotop  $^{137}Cs$  yang terdapat di dalam PEB  $U_3Si_2/Al$  pasca iradiasi potongan bagian bawah, tengah dan atas kode sampel T-1, M-1 dan B-1 dengan 3 (tiga) kali pengulangan dituangkan pada Tabel 3 dan 4.

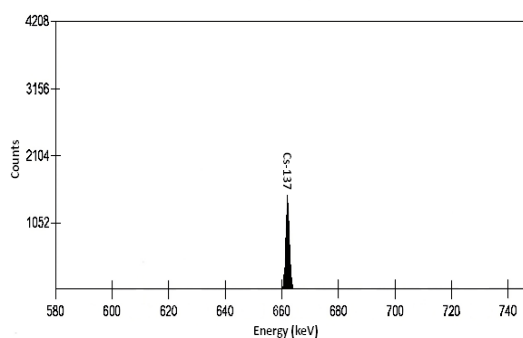
*Recovery* pemisahan  $^{137}Cs$  dengan menggunakan metode penukar kation maupun metode pengendapan diperoleh cukup besar dengan rerata masing masing sebesar 99% dan 98 %. Hal ini berarti bahwa kedua metode pemisahan tersebut sangat selektif terhadap ion cesium.

Tabel 3. Kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  dengan metode penukar kation

Kode Sampel	Berat sampel (150 $\mu\text{L}$ ) ( $\mu\text{g}$ )	Kandungan $^{137}\text{Cs}$ sebelum zeolit ( $\mu\text{g}$ )	Kandungan $^{137}\text{Cs}$ setelah zeolit ( $\mu\text{g}$ )	Berat PEB (g)	Kandungan $^{137}\text{Cs}$ ( $\mu\text{g/g}$ PEB)	Recovery pemisahan (%)
T-1 <sub>1</sub>	0,1539	0,0287	0,0275	0,0950	490,1255	98,8741
T-1 <sub>2</sub>	0,1538	0,0162	0,0161	0,0810	319,5443	99,1274
T-1 <sub>3</sub>	0,1584	0,0180	0,0177	0,0870	393,4306	99,0668
M-1 <sub>1</sub>	0,1547	0,0398	0,0392	0,1103	465,5873	99,0845
M-1 <sub>2</sub>	0,1546	0,0447	0,0450	0,1396	451,5207	99,5141
M-1 <sub>3</sub>	0,1522	0,0293	0,0296	0,0972	436,2203	99,4945
B-1 <sub>1</sub>	0,1557	0,0343	0,0341	0,1441	343,9651	99,3607

Tabel 4. Kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  dengan metode pengendapan

Kode Sampel	Berat Sampel (150 $\mu\text{L}$ )	Kandungan $^{137}\text{Cs}$ sebelum $\text{CsNO}_3$ ( $\mu\text{g}$ )	Kandungan $^{137}\text{Cs}$ setelah $\text{CsNO}_3$ ( $\mu\text{g}$ )	Berat PEB (g)	Kand. $^{137}\text{Cs}$ ( $\mu\text{g/g}$ PEB)	Recovery pemisahan (%)
T-1 <sub>1</sub>	0,1554	0,0284	0,02780	0,095	495,7989	98,1428
T-1 <sub>2</sub>	0,1567	0,0162	0,01598	0,081	313,0409	98,5157
T-1 <sub>3</sub>	0,1575	0,01897	0,01794	0,087	380,5347	98,2456
M-1 <sub>1</sub>	0,1544	0,0374	0,03670	0,1103	464,3187	98,3501
M-1 <sub>2</sub>	0,1540	0,0302	0,03070	0,1396	472,9457	98,4482
M-1 <sub>3</sub>	0,0981	0,01874	0,01895	0,0972	418,8931	98,9123
B-1 <sub>1</sub>	0,1540	0,0341	0,0335	0,1441	330,7838	98,0122



Gambar 2. Spektrum  $^{137}\text{Cs}$  dalam larutan supernatan

Besar *recovery* pemisahan  $^{137}\text{Cs}$  baik menggunakan metoda penukar kation maupun metode pengendapan diperoleh diatas 98 %, hal ini didukung oleh masih diperolehnya isotop  $^{137}\text{Cs}$  walaupun dalam jumlah sedikit di dalam supernatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2 menunjukkan bahwa di dalam supernatan masih diperoleh isotop  $^{137}\text{Cs}$ . Hal ini terjadi karena pada saat pemisahan fasa cair dari fasa padat dengan cara pemipetan, kemungkinan fasa padat ada yang terpipet dan terikut bersama fasa cair.

#### d. Pemisahan uranium dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi

Dalam menentukan kandungan U dalam supernatan sebelum dan sesudah pemisahan menggunakan kolom penukar anion harus dikenakan proses elektrodiposisi terlebih dahulu. Proses elektrodiposisi bertujuan untuk mendapatkan volume umpan yang optimum. Pengukuran uranium sebagai pemancar radiasi sinar alpha mempunyai daya tembus yang sangat kecil sehingga dibutuhkan

ketebalan sampel yang sangat tipis dan merata agar dapat dianalisis dengan menggunakan spektrometer- $\alpha$ . Oleh karena itu perlu diketahui volume umpan elektrodeposisi yang optimum untuk mendapatkan ketebalan sampel (endapan uranium) yang optimum. Pada penelitian ini volume umpan yang digunakan adalah sebesar 500  $\mu$ L dan merupakan volume optimal yang diperoleh pada penelitian sebelumnya[14,15]

Selain volume umpan, hal penting yang harus diketahui adalah besar kandungan  $^{235}\text{U}$  sebelum pemisahan (pengukuran secara langsung) dan *recovery* pemisahan  $^{235}\text{U}$  dengan menggunakan larutan standar U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. Besar *recovery* pemisahan  $^{235}\text{U}$  dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex 1x5-NO<sub>3</sub> ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. *Recovery* pemisahan  $^{235}\text{U}$  menggunakan standar U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> [4,13]

Sampel	Kandungan $^{235}\text{U}$ sertifikat ( $\mu\text{g}$ )	Kandungan $^{235}\text{U}$ pengukuran ( $\mu\text{g}$ )	<i>Recovery</i> (%)
Standar $^{235}\text{U}$	3,9888	2,7207	68,21

Tabel 5 menunjukkan bahwa *recovery* pemisahan  $^{235}\text{U}$  menggunakan standar larutan U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 20 % dengan metode penukar anion diperoleh sebesar 68,21 % pada kondisi volume umpan yang optimum sebesar 500  $\mu$ L.

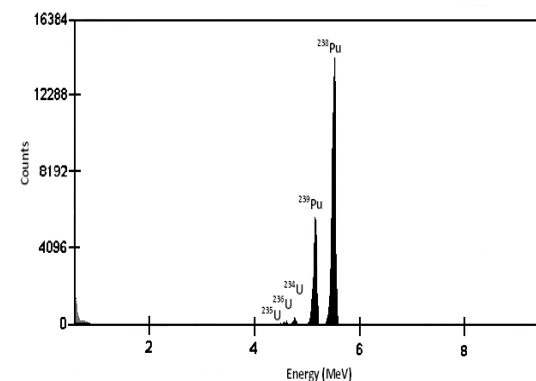
#### e. Pengukuran dan analisis $^{235}\text{U}$ sebelum pemisahan

Hasil pengukuran isotop  $^{235}\text{U}$  sebelum mengalami pemisahan (sebelum ditambah resin Dowex 1x8 menggunakan spektroketer- $\alpha$  diperoleh 4 (empat) spektrum isotop-U yaitu  $^{238}\text{U}$  pada energi  $E_{\alpha} = 4,194$  MeV,  $^{235}\text{U}$  ( $E_{\alpha} = 4,397$  MeV), isotop  $^{236}\text{U}$  ( $E_{\alpha} = 4,494$  MeV) dan isotop  $^{234}\text{U}$  pada energi  $E_{\alpha} = 4,777$  MeV seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Tabel 6. Kandungan  $^{235}\text{U}$  di dalam supernatan PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al sebelum pemisahan

Kode Sampel	Berat Sampel (150 $\mu$ L) (g)	Berat PEB (g)	Kand. $^{235}\text{U}$ ( $\mu\text{g/g}$ PEB)	Kand. $^{239}\text{Pu}$ ( $\mu\text{g/g}$ PEB)
T-1	0,1553	0,0950	66400	2,3854
M-1	0,1549	0,1103	95665	2,3854
B-1	0,1556	0,1441	65128	2,4734

Selain isotop U diperoleh juga 2 (dua) spektrum isotop Pu yaitu  $^{239}\text{Pu}$  pada energi  $E_{\alpha} = 5,155$  MeV dan  $^{238}\text{Pu}$  pada energi  $E_{\alpha} =$



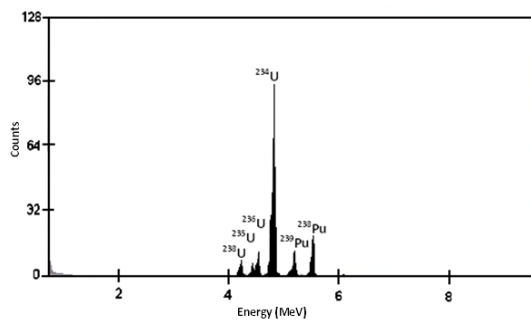
Gambar 3. Spektrum isotop-U sebelum pemisahan.

Besarnya kandungan isotop-U ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$  dan  $^{238}\text{U}$ ) dalam sampel dapat diketahui dengan cara menghitung cacahan dari luas spektrumnya masing-masing ditunjukkan pada Tabel 6.

5,486 MeV seperti yang terlihat pada Gambar 3.

#### f. Pengukuran dan analisis $^{235}\text{U}$ setelah pemisahan

Pengukuran dan analisis  $^{235}\text{U}$  setelah dilakukan pemisahan menggunakan resin Dowex 1x8- $\text{NO}_3$  ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum efluen isotop-U setelah pemisahan

Efluen U keluar dari kolom, sedangkan efluen isotop lainnya terikat bersama resin Dowex 1x8- $\text{NO}_3$  di dalam kolom. Efluen isotop lainnya selanjutnya dielus menggunakan HCl 0,1 N dan HF 0,036 N sehingga isotop lainnya keluar dari kolom[16]. Efluen U sebagai hasil pemisahan  $^{235}\text{U}$  dalam PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  bagian potongan sampel T-1, M-1 dan B-1 setelah dikenakan proses elektrodeposisi, selanjutnya dilakukan analisis menggunakan spektrometer- $\alpha$ . Hasil pengukuran isotop  $^{235}\text{U}$  sesudah dilakukan pemisahan dengan resin Dowex 1x8 ditunjukkan pada Gambar 4.

Besarnya kandungan isotop  $^{235}\text{U}$  dalam potongan bagian T, M dan B dari PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  sesudah penambahan resin Dowex ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kandungan  $^{235}\text{U}$  di dalam supernatan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  setelah pemisahan

Kode Sampel	Berat Sampel (150 $\mu\text{L}$ ) (g)	Berat PEB (g)	Kand. $^{235}\text{U}$ ( $\mu\text{g/g}$ PEB)
T-1	0,1553	0,0950	45208
M-1	0,1549	0,1103	50896
B-1	0,1556	0,1441	44336

Gambar 3 dan 4 menunjukkan bahwa hasil pemisahan isotop U di dalam supernatan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  pasca iradiasi masih belum sempurna, karena pada pemungutan isotop U masih terkandung isotop Pu demikian juga sebaliknya. Hal ini menunjukkan bahwa parameter metode yang digunakan untuk pemisahan isotop U belum optimal, sehingga masih diperlukan metode yang valid untuk pemisahan untuk kedua isotop tersebut. Oleh karena itu, selanjutnya akan dilakukan evaluasi parameter yang meliputi jumlah resin, waktu tinggal di dalam kolom, kecepatan alir, volume eluent. Data kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{235}\text{U}$ , selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan *burn up* PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  dengan densitas uranium 2,96  $\text{gU}/\text{cm}^3$  pasca iradiasi.

## SIMPULAN

Telah diperoleh kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dan  $^{235}\text{U}$  di dalam PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$  pasca iradiasi. Kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  pada potongan bagian atas, tengah dan bawah menggunakan metode penukar kation diperoleh masing masing sebesar 401,0335  $\mu\text{g/gPEB}$ ; 451,1094  $\mu\text{g/gPEB}$  dan 343,9651  $\mu\text{g/g}$  PEB dengan *recovery* sebesar 99%, sedangkan dengan menggunakan metode pengendapan diperoleh masing-masing 393,4581  $\mu\text{g/g}$  PEB; 452,0525  $\mu\text{g/gPEB}$  dan 330,7839  $\mu\text{g/g}$  PEB dengan *recovery* sebesar 98 %. Kandungan  $^{235}\text{U}$  diperoleh dengan metode kolom penukar anion untuk potongan bagian atas, tengah dan bawah diperoleh sebesar 45208  $\mu\text{g/gPEB}$ ; 50896  $\mu\text{g/gPEB}$  dan 44336  $\mu\text{g/gPEB}$  dengan *recovery* sebesar 68%. Untuk meningkatkan *recovery*



pemisahan uranium perlu dilakukan evaluasi parameter metode meliputi jumlah resin, waktu tinggal di dalam kolom, kecepatan alir, serta pemilihan jenis pereaksi atau elusi yang tepat.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Sungkono, selaku Kepala Bidang Uji Radiometalurgi beserta seluruh rekan-rekan Kelompok Fisiko Kimia yang telah bersama-sama melakukan penelitian ini sehingga makalah ini dapat terwujud.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. P. Hastuti, T. M. Sembiring, Supardjo, Suwardi, "LAK Inseri Elemen Bakar Uji Silisida 3 pelat Tingkat Muat 2,96 dan 5,8 gU/cm<sup>3</sup> di Teras RSG-GAS", PRSG-BATAN, 2010.
- [2] J. Real, F. Persin, C. Cauret, "Mechanisms of Desorption Cesium and Strontium Aerosols Deposited on Urban Surfaces", *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 62 no. 1, 2012.
- [3] H. Simger, F. Arnold, H. Aufurhoff, R. Bauman, F. Kaether, S. Lindemann, L. Rauch, "Detection of <sup>133</sup>Xe from the Fukushima Nuclear Power Plant in The Upper Troposphere above Germany", *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 132, 2014.
- [4] A. B. Ginting, D. Anggraini, A. Nugroho, "Pengaruh Penambahan Zeolit Terhadap Pemisahan Isotop <sup>137</sup>Cs Dalam Pelat Elemen Bakar U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al Pasca Iradiasi", *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*, vol. 7 no. 2, 2011.
- [5] A. B. Ginting, H. P. Liem, "Absolute Burn Up Measurement of LEU Silicide Fuel Plate Irradiated in the RSG GAS Multipurpose Reactor by Destructive Radiochemical Technique", *Journal Annals of Nuclear Energy*, 2015.
- [6] A. B. Ginting, Boybul, A. Nugroho, D. Anggraini, R. Kriswarini, "Pemisahan dan analisis <sup>137</sup>Cs dan <sup>235</sup>U dalam PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al pasca iradiasi untuk penentuan burn up", *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*, vol. 11 no. 2, 2015.
- [6] American Standar Test Methods, "Standar practice for the ion exchange separation of uranium and plutonium prior to isotopic analysis", ASTM No C-1411-01, vol. 12 No. 1, 2000.
- [7] A. B. Ginting, "Analisis isotop transurium dalam bahan bakar PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al pasca iradiasi menggunakan spektrometer alpha", *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 17 no. 2, 2011.
- [8] S. Indaryati, "Pemilihan beberapa jenis pelarut untuk PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al pasca iradiasi", Prosiding Hasil Penelitian, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN, Serpong, 2009.
- [9] A. B. Ginting, D. Anggraini, "Metode pengendapan dan metode penukar kation pada proses pemisahan cesium di dalam bahan bakar U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al", *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 22 no. 2, 2016.
- [10] Boybul, Yanlinastuti, S. Indaryati, I. Haryati, A. Nugroho, "Penentuan kandungan isotop <sup>235</sup>U dalam PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al densitas uranium 2,96 gU/cm<sup>3</sup> untuk perhitungan burn up", *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 21 no. 3, 2015.
- [11] O. A. Dumitru, R. C. Begy, D. C. Nita, L. D. Bobos, C. Cosma, "Uranium electrodeposition for alpha spectrometric source preparation", *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 298 no. 2, pp. 1335-1339, 2013.
- [12] Yanlinastuti, Boybul, A. B. Ginting, D. Anggraini, "Pengaruh parameter proses elektrodeposisi terhadap penentuan berat isotop <sup>235</sup>U dalam PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>/Al pasca

- iradiasi”, *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 22 no. 2, 2016.
- [13] Muzakky, B. Irianto, “Korelasi antara waktu tinggal arus dan randemen pada penentuan U-234, U-235 dan U-238 dengan spektrometri alpha”, *Prosiding Seminar Nasional*, Yogyakarta 22 Oktober 2013, Pusat Teknologi Akselator dan Proses Bahan –BATAN.
- [14] K.Sawada, Y. Enokida, M. Kamiya, T.Koyama, K. Aoki, “Distribution coefficients of 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, 2009.