

# ANALISIS ISOTOP TRANSURANIUM DALAM BAHAN BAKAR $U_3Si_2$ -Al PASCA IRADIASI MENGGUNAKAN ALPHA SPEKTROMETER

Dian Anggraini<sup>(1)</sup>, Aslina B.Ginting<sup>(1)</sup>, Arif Nugroho<sup>(1)</sup>

1. Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBN)-BATAN  
Kawasan Puspipstek, Serpong, Tangerang Selatan 15314

Email : ad\_09@ymail.com

(Naskah diterima: 19-04-2011, disetujui: 16-05-2011)

## ABSTRAK

**ANALISIS ISOTOP TRANSURANIUM DALAM BAHAN BAKAR  $U_3Si_2$ -Al PASCA IRADIASI MENGGUNAKAN ALPHA SPEKTROMETER.** Telah dilakukan pemisahan dan analisis isotop transuranium (isotop uranium dan plutonium) dalam pelat elemen bakar (PEB)  $U_3Si_2$ -Al pasca iradiasi. Analisis di mulai dengan penyiapan sampel meliputi pemotongan PEB  $U_3Si_2$ -Al pasca iradiasi, pelarutan, penyaringan, pengenceran yang dilanjutkan dengan pemisahan hasil fisi dari unsur-unsur bermassa berat (HE) dan analisis kandungan isotop TRU (U,Pu) menggunakan Alpha Spektrometer. Pemisahan TRU (U,Pu) dilakukan dengan 2 (dua) metode yaitu metode langsung dan metode penukar ion dengan zeolit. Sebelum menganalisis sampel  $U_3Si_2$ -Al pasca iradiasi terlebih dahulu dilakukan pengukuran isotop TRU (U,Pu) di dalam standard AMR 43 dan standard  $U_3O_8$  dengan tujuan untuk mengetahui % recovery pemungutan isotop  $^{235}U$  dan penentuan efisiensi detektor. Hasil analisis % recovery isotop  $^{235}U$  diperoleh sebesar 92,58% (memenuhi syarat validasi) dan efisiensi detektor diperoleh sebesar 0,314. Setelah diketahui efisiensi detektor dan % recovery kemudian dilakukan pemisahan menggunakan metode langsung dengan cara memipet larutan  $U_3Si_2$ -Al pasca iradiasi sebanyak 250  $\mu$ L kemudian dilakukan proses elektrodeposisi hingga terbentuk endapan. Isotop TRU (U,Pu) pada endapan kemudian di analisis menggunakan Alpha Spektrometer, sedangkan pemisahan menggunakan dengan metode penukar ion dilakukan dengan memipet larutan  $U_3Si_2$ -Al pasca iradiasi sebanyak 300  $\mu$ L dan dimasukkan ke dalam zeolit 0,5 g kemudian dikocok hingga terpisah fasa air dan fasa padat. Fasa air yang terbentuk dikenakan proses elektrodiposisi kemudian dianalisis dengan menggunakan Alpha Spektrometer. Analisis isotop TRU (U,Pu) dengan kedua metode tersebut menunjukkan hasil yang berbeda. Untuk metode langsung diperoleh Heavy Element (HE=  $^{238}U$ ,  $^{236}U$ ,  $^{234}U$ ,  $^{239}Pu$ )= 0.0525 g/g dan isotop  $^{235}U$ = 0.0076 g/g sedangkan dengan menggunakan metode penukar ion dengan penambahan zeolit diperoleh hasil sebesar HE = 0.0253 g/g dan isotop  $^{235}U$  = 0.0092 g/g.

**Kata Kunci :** PEB  $U_3Si_2$ -Al pasca iradiasi, isotop TRU (U,Pu) dan Alpha Spektrometer

**ABSTRACT**

**ANALYSIS OF TRANSURANIC ISOTOPES IN IRRADIATED  $U_3Si_2$ -Al FUEL BY ALPHA SPECTROMETRY.** Separation and analysis of transuranic isotopes (uranium and plutonium) in irradiated  $U_3Si_2$ -Al plate has been done. The analysis experiment includes sample preparation (i.e. cutting, dissolving, filtering, dissolving), fission products separation from heavy elements, and analysis of transuranic isotopes content with alpha spectrometer. The separation of transuranic isotopes (U, Pu) was done by two methods, i.e. direct method and ion exchanger method with zeolite. Measurement of standard transuranic isotope (AMR 43) and standard  $U_3O_8$  was done in advance in order to determine percentage of  $^{235}U$  recovery and detector efficiency. Recovery of  $^{235}U$  isotope was obtained as much as 92,58%, which fulfills validation requirement, and the detector efficiency was 0.314. Based on the measured recovery and detector efficiency, the separation was done by direct electrodeposition method of 250  $\mu$ L irradiated  $U_3Si_2$ -Al solution. The deposited sample was subsequently analyzed with alpha spectrometer. The separation with ion exchanger was done by mixing and shaking of 300  $\mu$ L irradiated  $U_3Si_2$ -Al solution and 0.5 gram zeolite to separate the liquid phase from the solid phase. The liquid phase was electrodeposited and analyzed with alpha spectrometer. The analysis of transuranic isotopes (U,Pu) by both methods shows different results. Heavy element (HE =  $^{238}U$ ,  $^{236}U$ ,  $^{234}U$ ,  $^{239}Pu$ ) content obtained by direct method was 0.0525 g/g and  $^{235}U$  = 0.0076 g/g, while the separation using zeolite ion exchanger resulted in HE = 0.0253 g/g and  $^{235}U$  = 0.0092 g/g.

**Keyword:** irradiated  $U_3Si_2$ -Al, transuranic isotopes TRU (U,Pu), alpha spectrometer

**PENDAHULUAN**

Pengetahuan mengenai *burn-up* (fraksi bakar) bahan bakar pasca iradiasi itu menjadi sangat penting untuk mengetahui kualitas bahan bakar dan integritas elemen bakar nuklirnya setelah iradiasi. Dalam aplikasi elemen bakar nuklir, terdapat 2 komponen bahan yaitu: bahan fisil dan bahan fertil. Bahan fisil adalah suatu komponen yang jika berinteraksi dengan neutron termal dapat mengadakan reaksi inti dan terpecah menjadi beberapa inti atom baru serta partikel radioaktif, contoh atom fisil a.l.  $^{235}U$ ,  $^{233}U$ ,  $^{239}Pu$ ,  $^{241}Pu$ . Adapun bahan fertil yaitu suatu komponen yang dapat menjadi bahan fisil dengan menyerap neutron, contoh atom fertil misalnya  $^{238}U$ ,  $^{232}Th$ ,  $^{238}Pu$ ,  $^{240}Pu$

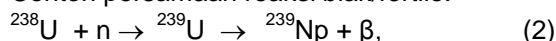
Umumnya isotop tersebut pemancar radiasi  $\alpha, \beta, \gamma$  sehingga untuk menentukan komposisi atom-atom isotop tersebut dapat digunakan cara spektrometri. Pada penentuan *burn-up* yaitu menentukan jumlah atom fisil yang telah terbakar dapat

dinyatakan sebagai prosentasi atau fraksi atom fisil  $^{235}U$  (juga  $^{239}Pu$ ) yang terbakar (%) atau dalam satuan energi (MWD) yang dihasilkan dari proses fisi yang ditimbulkannya, walau pada kenyataannya bahwa di dalam reaktor itu tidak hanya terjadi reaksi fisi dari  $^{235}U$  saja, namun juga dari reaksi fertil  $^{238}U$  dari yang dapat menghasilkan  $^{239}Pu$  yang mengalami reaksi fisi. Salah satu contoh reaksi fisi adalah:



$^{90}Kr$ ,  $^{144}Ba$  adalah isotop hasil fisi yang masih dapat meluruh dan menghasilkan isotop-isotop lain sebagai hasil fisi yang lebih stabil, diantaranya adalah isotop radioaktif pemancar  $\beta/\gamma$  dengan waktu paruh panjang yaitu  $^{90}Sr$  dan  $^{137}Cs$ .

Contoh persamaan reaksi biak/fertile:



dan *fragment-fragment* hasil fisi lain diantaranya adalah  $^{90}Sr$  dan  $^{137}Cs$ .

Dari jalur bahan fertil thorium  $^{232}\text{Th}$  dengan absorpsi neutron dapat menghasilkan  $^{233}\text{Th}$  dan meluruh menjadi  $^{233}\text{Pa}$  akhirnya menjadi  $^{233}\text{U}$  yang juga merupakan bahan fisil. Oleh karena itu, pada penentuan *burn-up* yang paling tepat adalah menentukan komposisi isotop-isotop bahan bakar yang tersisa setelah iradiasi dan isotop-isotop hasil fisinya, sehingga diperoleh konsentrasi menjadi berat (jumlah) isotop U dalam berat tertentu sampel bahan bakar nuklir yang selanjutnya dapat di hitung besaran *burn up* bahan bakar tersebut dengan rumusan sbb<sup>[1]</sup>:

$$\text{eff} = \frac{C_i * f_{cal}}{A_\alpha * I_\alpha} \quad N = \frac{A}{\epsilon * I_{rel} * \lambda} \quad (5)$$

$$\%BU = \frac{U_o - U}{U_o} * 100\% \quad (6)$$

dengan :

$C_i$  = Jumlah cacahan, dihitung dari *net counts* isotop ( $C - C_{bg}$ )

$f_{cal}$  = koreksi peluruhan dari isotop selama interval waktu ( $t_2$ ) pengukuran cacahan

$I_{\square\alpha}$  = Fraksi intensitas  $\alpha$  atau faktor *yield* intensitas dari isotop-i (lihat daftar tabel isotop).

$N$  = jumlah isotop U dalam berat tertentu sampel bahan bakar nuklir

$A$  = keaktifan isotop U, dps atau Bq

$C$  = cacahan isotop U, cacahan/detik

$\epsilon$  = efisiensi detektor

$I_{rel}$  = Intensitas relatif puncak isotop-U pada energi yang diukur

$\lambda$  = konstanta peluruhan atau  $(\ln 2)/T_{1/2}$

$T_{1/2}$  = waktu paruh dari isotop U, tahun (365 hari atau 31536000 detik)

untuk isotop  $^{234}\text{U} = 2,45 \cdot 10^5$  tahun,  $^{235}\text{U} = 7,04 \cdot 10^8$  tahun dan  $^{238}\text{U} = 4,48 \cdot 10^9$  tahun

$U_o$  adalah jumlah atom U awal,  $U$  adalah jumlah atom U yang tersisa (tidak terbakar)

$U$  adalah jumlah atom U (atau atom berat yang terlibat reaksi fisi) yang tersisa.

Pelat elemen bakar (PEB)  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  yang telah mengalami radiasi di reaktor akan menghasilkan beberapa hasil fisi diantaranya adalah transuranium khususnya isotop uranium dan plutonium dan hasil fisi lainnya. Dalam melakukan analisis *burn up* (fraksi bakar), banyak larutan hasil analisis elemen bakar nuklir pasca-irradiasi disimpan dalam bilik-panas (*hot cell*) dengan keaktifan yang sangat tinggi dan belum dapat dilimahkan karena mengandung unsur-unsur berat dari uranium serta transuranium, sehingga belum memenuhi persyaratan pengelolaan atau pengolahan limbah yang ada di BATAN. Namun larutan elemen bakar nuklir tersebut masih banyak mengandung isotop-isotop yang dapat dimanfaatkan dan juga membantu BATAN dalam rangka pengendalian limbah radioaktif sekaligus dapat digunakan untuk studi banding dalam rangka untuk memverifikasi, mengevaluasi dan memvalidasi unjuk kerja bahan bakar baik dari sisi pabrikasi maupun di reaktor. Untuk mendukung hal tersebut maka pada penelitian ini akan dilakukan pemisahan dan analisis isotop TRU (U,Pu) dalam larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  yang telah diradiasi di reaktor G.A.Siwabessy Serpong. Pemisahan hasil fisi dilakukan dengan menggunakan metode langsung dan metode penukar ion dengan penambahan zeolit Lampung dan analisisnya dilakukan dengan menggunakan Alpha Spektrometer.

## METODOLOGI

Dalam melakukan pemisahan dan analisis isotop TRU (U,Pu) dari larutan bahan bakar  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca-irradiasi banyak aspek-aspek pengerjaan yang secara sistematis dapat menyebabkan penyimpangan hasil perhitungan akhirnya. Beberapa aspek tersebut antara lain adalah :

1. Aspek pelarutan,  $U_3Si_2$  dengan berbagai pelarut adalah  $HNO_3$  6 M dan  $HCl$  6 M dan penyaringan menggunakan tabung membran, kaca masir No.3 dengan *suction-pump*, atau corong gelas dan kertas saring halus whatman No.41<sup>[1]</sup>.
2. Aspek pemisahan, dilakukan dengan cara a.l. secara langsung dan penukar ion.
3. Proses Elektrodiposisi, Analisis isotop-U dengan cara elektrodiposisi, pada prinsipnya berdasarkan electro-gravimetric analysis.<sup>[2]</sup> Pada sistim tersebut sangat bergantung pada potensial reduksi dari ion-ion yang terdapat dalam larutan campuran/media terhadap potensial reduksi ion logam yang akan dianalisisnya (uranium). Potensial reduksi tersebut berbanding lurus dengan konsentrasi ion logam sesuai dengan persamaan Nerst, yaitu:

$$E = E^0 - \frac{0,059}{n} \log \frac{[M]_{red}}{[M^{n+}]} \quad (7)$$

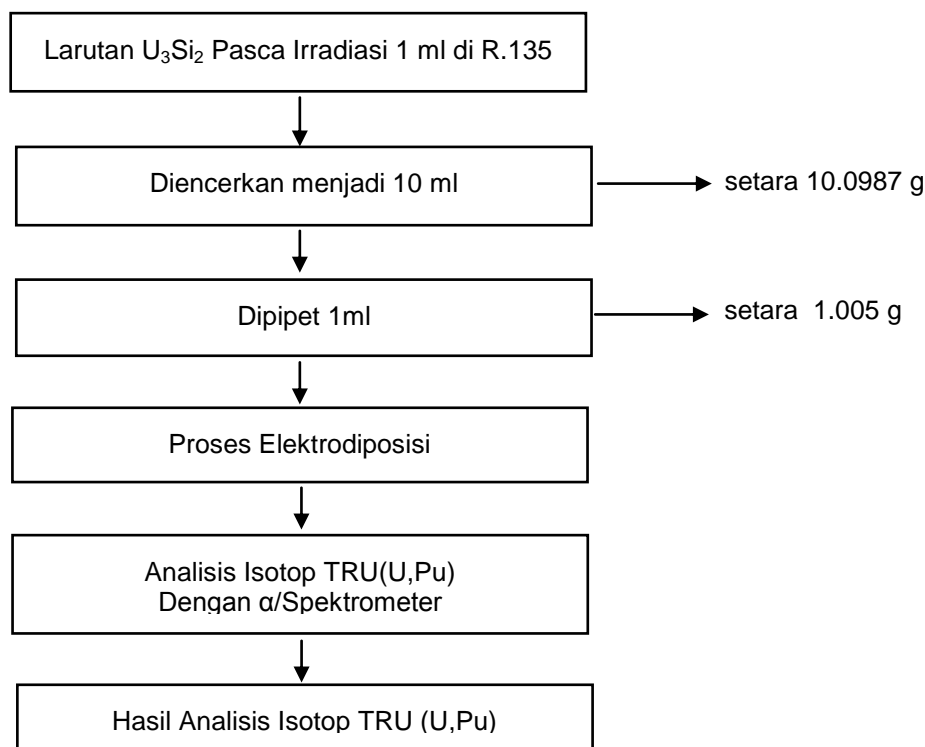
dalam reaksi



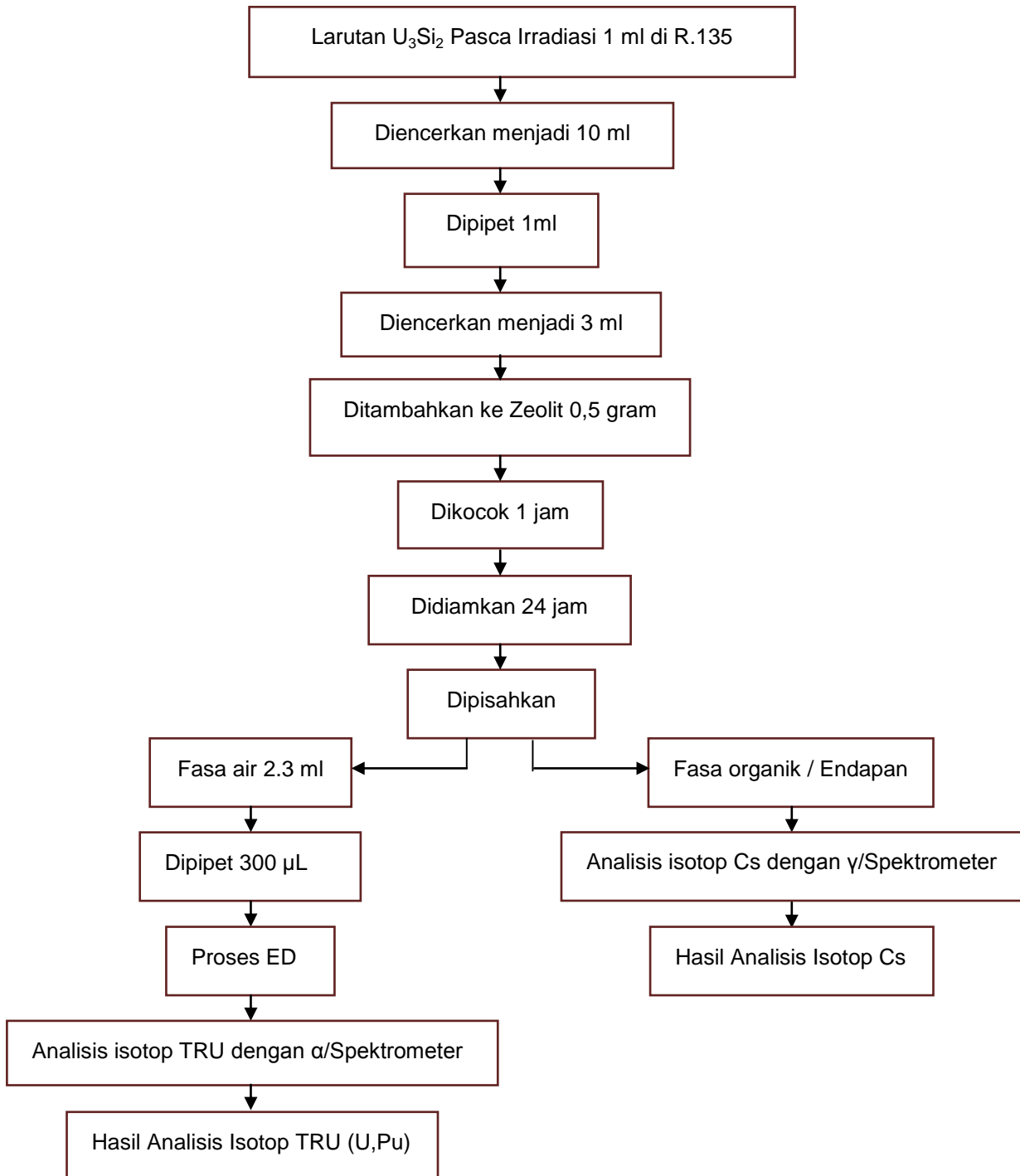
dengan  $E^0$  adalah potensial reduksi dari ion logam  $M^{n+}$  dan  $E$  adalah potensial elektroda dengan keaktifan atau konsentrasi logam  $[M]_{red}$  yang berbilangan oksidasi  $n$  serta konsentrasi ion logam  $[M]^{n+}$ .

4. Peralatan yang harus disiapkan antara lain timbangan analitis, peralatan gelas, pemanas (*Hot Plate*) dan alat analisis adalah Alpha Spektrometer<sup>[3]</sup>.

Secara menyeluruh metodologi penyiapan sampel  $U_3Si_2$ -Al pasca irradiasi dan metodologi pemisahan isotop ditunjukkan pada Gambar-1 dan 2.



Gambar 1. Alur penentuan isotop TRU(U, Pu) menggunakan metode langsung.<sup>[4]</sup>



Gambar 2. Pemisahan isotop TRU(U, Pu) menggunakan zeolit lampung<sup>[4,5]</sup>

### 1. Tata Kerja

Sebelum melakukan pemisahan dan analisis isotop TRU (U,Pu) dalam larutan PEB  $U_3Si_2$ -Al pasca irradiasi, terlebih dahulu harus diketahui parameter optimum pengukuran dengan cara melakukan analisis terhadap

sampel standard isotop AMR-43 dan sampel standard  $U_3O_8$  20%. Hasil analisis terhadap sampel standard isotop AMR-43 digunakan untuk kalibrasi alat dan untuk mengetahui efisiensi detektor Alpha spektrometer, sedangkan pemisahan dan analisis terhadap

sampel standard  $U_3O_8$  20% digunakan untuk mengetahui % recovery pemungutan isotop  $^{235}U$  dengan perhitungan konsentrasi U dalam larutan berdasarkan sertifikat misalkan untuk  $U_3O_8$  alam adalah:  $0,84798 \times W_0/W$  (g/g), dari perhitungan  $3 \times 238 / (3 \times 238 + 8 \times 16)$  ( $=0,84798$ ). Setelah diperoleh parameter analisis terhadap sampel standard, kemudian dilanjutkan dengan analisis isotop TRU (U,Pu) dalam larutan PEB  $U_3Si_2$ -Al pasca irradiasi. Pelat elemen bahan bakar nuklir  $U_3Si_2$ -Al pasca irradiasi dipotong dengan dimensi  $3 \times 3 \times 1,37$  mm kemudian ditimbang seberat 0.036 g atau  $W_0$  g, selanjutnya dilarutkan dengan pelarut  $HNO_3$  6M dan HCl 6M hingga larut (jika perlu dapat sambil dipanaskan)<sup>[6]</sup>, lalu didinginkan dan dimasukkan ke dalam labu ukur 25 ml yang sudah diketahui beratnya, kemudian dipenuhi volumenya dengan  $HNO_3$  6M sampai dengan tanda batas. Tentukan berat total larutan tersebut, misalkan  $W$  g, kemudian dilakukan perhitungan sehingga diperoleh konsentrasi U dalam larutan dalam  $U_3Si_2$ -Al. Setelah PEB  $U_3Si_2$ -Al terlarut kemudian dilakukan pemisahan isotop dan hasil fisis menggunakan metode langsung dan metode penukar ion dengan metodologi seperti pada Gambar 1 dan 2. Metode langsung dilakukan dengan cara memipet larutan  $U_3Si_2$ -Al pasca irradiasi sebanyak 250  $\mu$ L kemudian dilakukan proses elektrodiposisi menggunakan media buffer  $(NH_4)_2SO_4$  1M yang dapat diendapkan pada kondisi kuat arus 1,2 A dengan jarak elektroda 10 mm selama 2 jam.<sup>[7,8,9]</sup> Endapan yang terjadi kemudian di analisis isotop TRU (U,Pu) menggunakan Alpha

Spektrometer, sedangkan metode penukar ion dilakukan dengan memipet larutan  $U_3Si_2$ -Al pasca irradiasi sebanyak 300  $\mu$ L dan dimasukkan ke dalam zeolit 0,5 g kemudian dikocok selama 1 jam menggunakan *shaker* dengan kecepatan 20 rpm dan di diamkan selama 24 jam sehingga terpisah antara fasa air dan fasa padat<sup>[10]</sup> Fasa air yang terbentuk dikenakan proses elektrodiposisi kemudian dianalisis dengan menggunakan Alpha Spektrometer.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

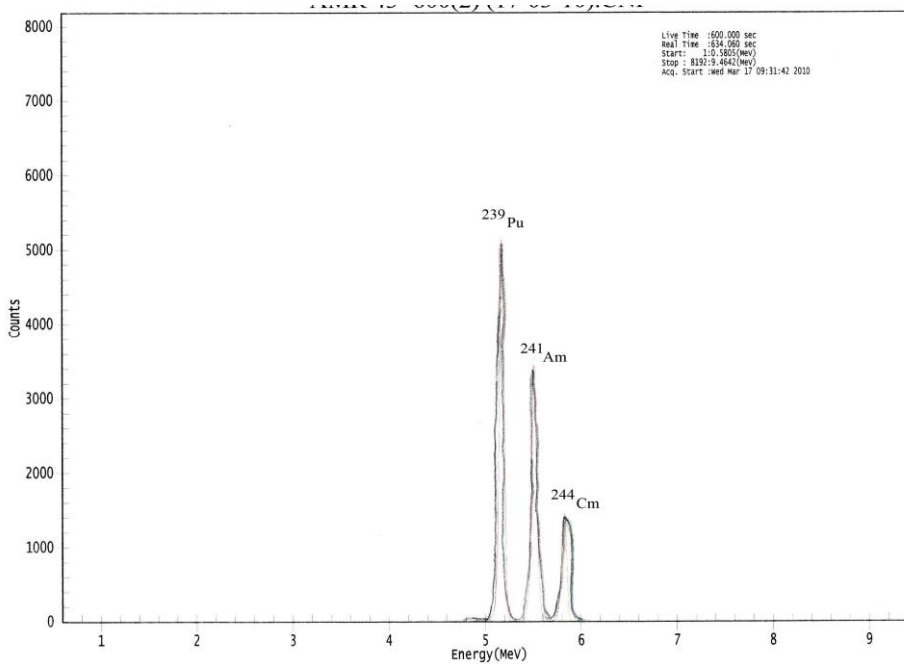
Metode yang digunakan untuk pemisahan isotop TRU (U,Pu) dalam larutan PEB  $U_3Si_2$ -Al pasca irradiasi adalah metode langsung dan metode penukar ion yang dilanjutkan dengan analisis isotop TRU (U,Pu) menggunakan Alpha spektrometer. Sebelum melakukan analisis terhadap pemisahan isotop TRU (U,Pu) dalam larutan PEB  $U_3Si_2$ -Al pasca irradiasi terlebih dahulu dilakukan analisis terhadap sampel standard AMR-43 yang mengandung isotop  $^{241}Am$ ,  $^{243}Cm$  dan  $^{239}Pu$ . Hasil analisis terhadap sampel standard isotop AMR-43 digunakan untuk kalibrasi alat dan untuk mengetahui efisiensi detektor Alpha spektrometer. Perhitungan besarnya efisiensi detektor yang diperoleh sebagai fungsi waktu pengukuran (1500, 3000 dan 5000 detik) dihitung dengan program Excel seperti yang terlihat pada Tabel 1 dan spektrum isotop AMR 43 yang meliputi isotop  $^{241}Am$ ,  $^{243}Cm$  dan  $^{239}Pu$  seperti yang terlihat pada Gambar 3.

Tabel 1. Besaran efisiensi detektor sebagai fungsi waktu

Waktu cacah (detik)	Efisiensi detektor
1000	0.307
1500	0.309
3000	0.314
5000	0.314

Besaran efisiensi detektor yang diperoleh sebesar 0,314 digunakan untuk menghitung besarnya aktivitas atau konsentrasi isotop tertentu didalam larutan standard  $U_3O_8$  20% maupun didalam larutan

PEB  $U_3Si_2-Al$  pasca irradiasi serta dapat digunakan untuk mengubah cps (*counts per second*) menjadi konsentrasi isotop  $^{235}U$  atau berat (jumlah) isotop U dalam berat tertentu sampel bahan bakar nuklir.



Gambar 3. Spektrum alpha isotop AMR-43 (isotop  $^{239}Pu$ ,  $^{241}Am$ , dan  $^{244}Cm$ )

Hasil pemisahan dan analisis kandungan U-total dan isotop  $^{235}U$  didalam

sampel 1 ml standard  $U_3O_8$  20% adalah seperti yang dituangkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Kandungan isotop  $^{235}U$  dalam standard  $U_3O_8$  20% dan % recovery

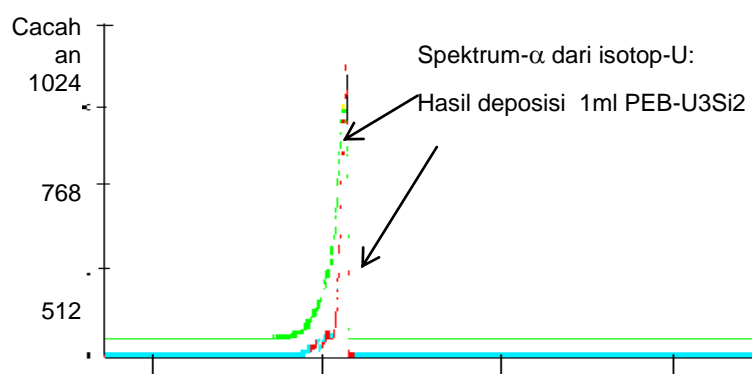
Kandungan	Perhitungan ( $\mu g$ )	Pengukuran ( $\mu g$ )	% Recovery
U-total	39,1783	33,4482	85,3745
$^{235}U$	9,7202	8.9992	92,5818

Dalam larutan standard  $U_3O_8$  20 % diperoleh konsentrasi Utot.sebesar = 39,1783

$\mu g$  (hasil perhitungan), sedangkan dari hasil pengukuran dan analisis diperoleh konsentrasi

Utot sebesar 33,4482  $\mu\text{g}$ . Demikian juga hasil analisis isotop  $^{235}\text{U}$  di dalam larutan standard  $U_3O_8$  20 % diperoleh sebesar 9,7202  $\mu\text{g}$  (perhitungan) dan konsentrasi isotop  $^{235}\text{U}$  dari hasil pengukuran standard  $U_3O_8$  20 % diperoleh hasil sebesar 8,9992  $\mu\text{g}$ . Tabel 2 menunjukkan konsentrasi U hasil perhitungan lebih besar dibanding konsentrasi U hasil pengukuran. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan Utot di dalam 1 ml sampel standard  $U_3O_8$  20% sewaktu dikenai proses elektrodiposisi tidak membentuk endapan

secara sempurna, namun kandungan isotop  $^{235}\text{U}$  menunjukkan hasil lebih baik karena prosedur ASTM E-219-1990 yang digunakan memang prosedur untuk penentuan isotop  $^{235}\text{U}$ . Hal lain yang menyebabkan kandungan isotop  $^{235}\text{U}$  hasil pengukuran lebih kecil dibanding kandungan isotop  $^{235}\text{U}$  hasil pengukuran adalah personil di kelompok Fisikokimia-BPR belum kualified dalam mengidentifikasi puncak-puncak isotop U yang kecil dan saling berimpitan serta energi yang berdekatan.

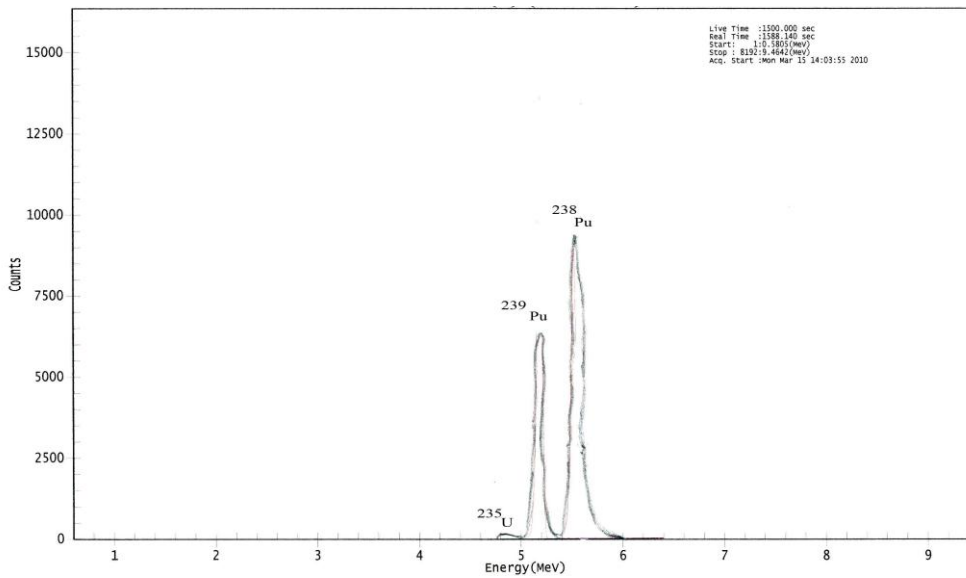


Gambar 4. Spektrum alpha isotop U ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$  dan total-U)

Pada Gambar 4, terlihat perbandingan spektrum isotop  $^{235}\text{U}$  dari PEB  $U_3Si_2$ -Al sebelum radiasi dengan spektrum isotop  $^{235}\text{U}$  dari standard  $U_3O_8$  20%. Spektrum isotop U tersebut tidak berbeda signifikan pada batas keberterimaan 95%, demikian pula akurasi yang menunjukkan rata-rata diatas 90%. Namun, ketika dilakukan proses pemisahan isotop U dalam larutan PEB  $U_3Si_2$ -Al pasca irradiasi sebanyak 0,036 g menggunakan metode langsung yang dilanjutkan dengan proses ED (mengikuti metoda ASTM yaitu kuat arus 1,2 A, menggunakan larutan buffer  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  selama 2 jam) terhadap yang dilanjutkan dengan pengukuran isotop menggunakan Alpha spektrometer diperoleh 4 (empat)

puncak isotop-U yaitu  $^{238}\text{U}$  ( $E_\alpha = 4,039$  MeV),  $^{235}\text{U}$  ( $E_\alpha = 4,679$  MeV), isotop  $^{236}\text{U}$  ( $E_\alpha = 4,499$  MeV) dan  $^{234}\text{U}$  ( $E_\alpha = 4,856$  MeV), sehingga jumlah masing-masing isotop-U ( $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$  dan  $^{238}\text{U}$ ) dalam sampel dapat diketahui dengan menghitung dari cacahan dan luas puncaknya masing-masing. Selain isotop U diperoleh juga 2 (dua) puncak isotop Pu yaitu  $^{239}\text{Pu}$  ( $E_\alpha = 5,136$  MeV),  $^{238}\text{Pu}$  ( $E_\alpha = 5,5251$  MeV) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Dalam hal ini yang diutamakan untuk mengetahui jumlah isotop  $^{235}\text{U}$  sebagai bahan fisil pada reaktor termal. Dari hasil analisis ini diperoleh kandungan isotop  $^{235}\text{U}$  dan unsur-unsur bermassa berat (HE= heavy element) masing-masing sebesar 0,0076 g/g sampel dan 0,0525 g/g sampel yang dilakukan secara duplo.

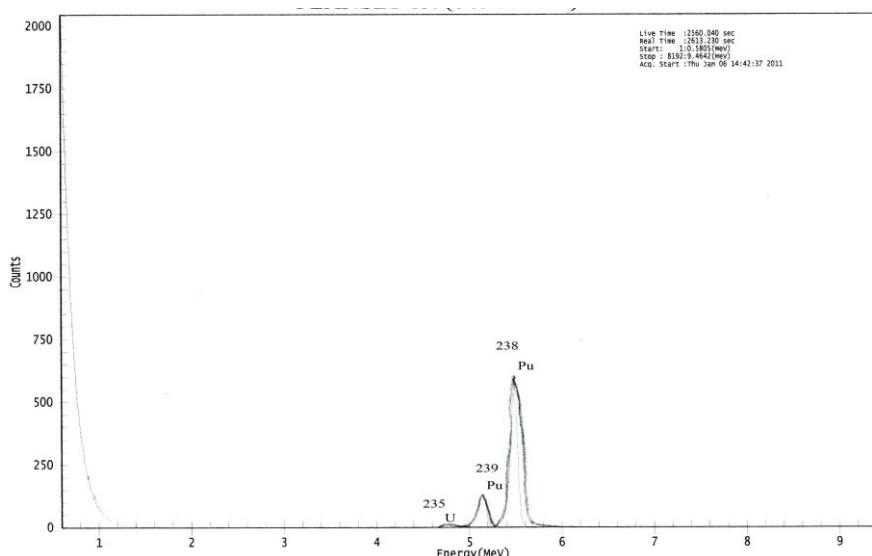




Gambar 5. Spektrum alpha isotop U ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ) dan Pu ( $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ) dari larutan  $\text{U}_3\text{Si}_2$  pasca iradiasi

Bila dibandingkan spektrum hasil analisis isotop U dalam standard  $\text{U}_3\text{O}_8$  20 % yang terdapat pada Gambar 4 dengan spektrum isotop U yang terdapat didalam larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca irradiasi pada Gambar 5 menghasilkan spektrum yang berbeda resolusinya. Hal tersebut diduga karena adanya unsur-unsur logam lain dari PEB (Al dan Mg) yang mungkin dapat berpengaruh pada pelapisan hasil elektrodadeposisi logam U, disamping itu masih banyak isotop dan hasil fisi lain yang belum terpisahkan secara sempurna. Pengaruh adanya unsur Al dari matrik bahan elemen bakar dan konsentrasi uranium dalam sistim ED yang tinggi (aliquot sebesar 1mg- atau konsentrasi U sebesar 1mg/ml larutan sampel) dapat mempengaruhi pengukuran radioaktifitas sinar- $\alpha$  dari isotop uranium.

Metode lain yang digunakan untuk melakukan pemisahan isotop  $^{235}\text{U}$ , hasil fisi (transuranium) dari unsur berat lainnya di dalam larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca irradiasi adalah metode penukar ion dengan penambahan zeolit Lampung. Pemilihan zeolit Lampung karena berdasarkan hasil penelitian sebelumnya telah diperoleh bahwa zeolit Lampung mempunyai selektivitas yang sangat tinggi terhadap isotop cesium. Sehingga isotop Cs akan terpisah dari isotop U, Pu dan isotop Cs akan terikat pada zeolit. Metode penukar ion ini dilakukan dengan menambahkan larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca irradiasi sebanyak 300  $\mu\text{L}$  kedalam zeolit sebanyak 0,5 g , sehingga diharapkan zeolit akan mengikat isotop cesium dan isotop cesium akan terpisah dengan isotop TRU (U, Pu).



Gambar 6. Spektrum alpha isotop U (<sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>236</sup>U, <sup>234</sup>U) dan Pu (<sup>239</sup>Pu, <sup>238</sup>Pu) dari larutan U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub> pasca iradiasi dengan penambahan zeolit

Langkah pemisahan isotop cesium dengan isotop TRU digambarkan pada rangkaian proses kerja pada Gambar 2.

Rerata	HE	<sup>235</sup> U	Satuan
Langsung	0.0525	0.0076	g/g
Zeolit	0.0253	0.0092	g/g

Setelah dikenakan proses ED kemudian dilakukan pengukuran hasil ED larutan PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al pasca iradiasi menggunakan Alpha spektrometer secara duplo. Hasil analisis menunjukkan bahwa diperoleh 4 (empat) isotop-U masing-masing (<sup>234</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>236</sup>U dan <sup>238</sup>U) dan 2 (dua) puncak isotop Pu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Setelah dievaluasi puncak puncak tersebut dengan menghitung cacahan dan luas puncak masing-masing diperoleh kandungan isotop <sup>235</sup>U sebesar 0,092 µg dan heavy element (HE) sebesar 0,0253 µg

seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis HE dan <sup>235</sup>U dengan Metode Langsung Dan Zeolit.

Dalam analisis isotop U terhadap larutan PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al pasca iradiasi diperoleh hasil yang belum konsisten (terkadang keempat puncak spektrum isotop-U dengan energy (MeV) yang berdekatan tidak terpisah dengan baik. Hal ini mungkin disebabkan oleh preparasi sampel yang belum sempurna atau jenis detektor silicon barrier yang digunakan tidak mampu memisahkan dengan baik isotop U dengan energy yang berdekatan. Hal ini juga perlu diteliti ulang dengan lebih memfokuskan pengerjaannya pada sumber-sumber kesalahan random dan sistematiknya. Aspek pengukuran radioaktifitas (diantaranya LD, resolusi, efisiensi detektor dan metode yang digunakan) dalam analisis menggunakan spektrometri-α, masih harus terus dipelajari

## SIMPULAN

Pemisahan isotop U dan Pu dengan menggunakan metode langsung diperoleh kandungan isotop  $^{235}\text{U}$  dan unsur-unsur bermassa berat (HE= heavy element) dalam larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca irradiasi masing-masing sebesar 0,0076 g/g sampel dan 0,0525 g/g sampel. Sedangkan dengan menggunakan metode penukar ion diperoleh kandungan isotop  $^{235}\text{U}$  sebesar 0,092 g/g dan heavy element (HE) sebesar 0,0253 g/g sampel.

## SARAN

Proses pemisahan dan analisis isotop TRU (U,Pu) dalam larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca irradiasi masih harus dilanjutkan karena penguasaan metoda analisisnya belum menghasilkan ketepatan hasil atau presisi yang dapat dipercaya pada keberterimaan 95%, terutama pada masalah pemisahan isotop baik menggunakan metode langsung maupun metode penukar ion termasuk proses elektrodeposisi serta melakukan evaluasi puncak-puncak dengan cara yang tepat.

## PUSTAKA

- [1]. A.I. VOGEL,(1978), "Quantitative Inorganic Analysis including Elementary Instrumental Analysis " 3<sup>rd</sup>-Edition London, pp.590-595.
- [2]. JOHN EMSLEY, 1991, The Element, 2<sup>nd</sup>-Edition, Clarendon Press, Oxford.
- [3]. AMERICAN STANDARD TEST METHODS, (1992), Standard Test Method for Radiochemical Determination of Uranium Isotopes in Soil by alpha Spectrometry, Designation: C 1000-90.Vol. 12.01 page 521-524.
- [4]. AMERICAN STANDARD TEST METHODS, ASTM-E 320-79, (1990), "Standard Test Methods for Cesium-137 in Nuclear Fuel Solutions by Radiochemical Analysis", Standard Test Method For Nuclear Material, USA, Vol. 12.1.
- [5]. AMERICAN STANDARD TEST METHODS, ASTM-E 692-00 (2000), "Standard Test Methods for Determining the content of cesium-137 in irradiated nuclear fuels by high resolution gamma-ray spectral analysis", Standard Test Method For Nuclear Material, USA, Vol. 12.1.
- [6]. AMERICAN STANDARD TEST METHODS, (1992) Standard Test Methods for Determination U by Ferrous Sulfat Reduction in Phosphoric Acid and Dichromate Titration Method, Designation: C 696, Vol. 12.01 page 51-53.
- [7]. YUSUF NAMPIRA, dkk, (1999),"Rancangan metode analisis derajat bakar mutlak uranium silisida", Hasil-hasil Penelitian Elemen Bakar NukJir, Pusat Pengembangan Teknologi Bahan Bakar Nuklir dan Daur Ulang (P2TBDU-BATAN), ISSN 0854-556, Serpong.
- [8]. ELLISON, S.L.R.,ROOSLEIN,M., WILLIAMS,A.-(Eds), Eurachem/CITAC-Guide CG4, 2000."Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement", 2<sup>nd</sup>-Ed, UK,.
- [9]. MYUNG HO LEE, CHEOL JU KIM, BONG HYUN BOO, (2000), "Electrodeposition of Alpha-emitting Nuclides from Ammonium Oxalate-Ammonium Sulfate Electrolyte", Bull. Korean Chem.Soc. Vol 21 No.2 page 175.
- [10]. <http://www.Hygroscopic.html> : Crystal in Solid State Soluble in Water and Alcohol, di akses Desember, 2008.