

OPTIMASI PARAMETER PROSES ELEKTRODEPOSISI ISOTOP ^{235}U DALAM STANDAR U_3O_8 20% SERTA ^{239}Pu DALAM PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ PASCA IRADIASI

Yanlinastuti, Iis Haryati, Sutri Indaryati, Saydatun Nisa, Boybul

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN

ABSTRAK

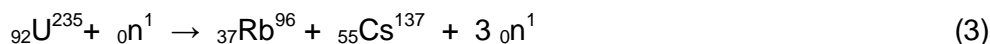
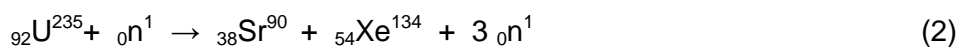
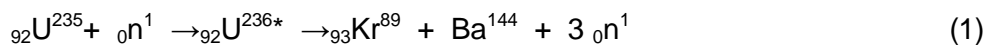
OPTIMASI PARAMETER PROSES ELEKTRODEPOSISI ISOTOP ^{235}U DALAM STANDAR U_3O_8 20% SERTA ^{239}Pu DALAM PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ PASCA IRADIASI. Telah dilakukan optimasi parameter proses elektrodeposisi isotop ^{235}U dalam larutan standar U_3O_8 20% serta ^{235}U dan ^{239}Pu dari hasil pelarutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi menggunakan elektrolit dalam media ammonium sulfat 1M pH 3,5 untuk pengukuran menggunakan spektrometer alpha. Tujuan percobaan ini adalah untuk proses elektrodeposisi menggunakan media ammonium sulfat 1M pH 3,5 dengan parameter proses arus, waktu dan volume umpan larutan. Hasil percobaan diperoleh kondisi optimum proses elektrodeposisi yang optimal pada arus 1,2 A, selama 2 jam dengan volume umpan 300 μL . Hasil pengukuran dengan spektrometer alpha diperoleh hasil isotop ^{235}U sebesar 2,314 μg atau terendapkan 99,911%, sedangkan hasil isotop ^{235}U dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi pada volume 50, 100, 150, 200, 250, 300 dan 500 μL dengan hasil berturut-turut 0,052; 0,110; 0,175; 0,240; 0,305; 0,403 dan 0,619 μg atau terendapkan masing-masing sebesar 71,233; 75,342; 79,909; 81,911; 83,333; 91,800 dan 84,563% serta isotop ^{239}Pu didapat berturut-turut $9,9 \times 10^{-05}$; $2,6 \times 10^{-04}$; $4,8 \times 10^{-04}$; $5,6 \times 10^{-04}$; $6,5 \times 10^{-04}$; $1,0 \times 10^{-03}$; $1,4 \times 10^{-03}$ μg . Metoda elektrodeposisi cukup baik digunakan untuk menentukan isotop pemancar alpha, selanjutnya optimasi parameter yang diperoleh dapat digunakan untuk analisis isotop pemancar alpha pada sampel pasca iradiasi.

Kata kunci: elektrodeposisi, isotop ^{235}U , isotop ^{239}Pu , spektrometer alpha, PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi

PENDAHULUAN

Uranium adalah suatu unsur kimia dalam tabel periodik yang memiliki lambang U dengan nomor atom 92 memiliki 92 proton dan 92 elektron serta berelektron valensi 6 termasuk dalam deret aktinida tabel periodik. Isotop yang paling umum dalam uranium adalah ^{238}U (99,2742%), ^{235}U (0,7204) dan ^{234}U (0,0054%) masa jenis uranium kira-kira 70% lebih besar dari timbal. Uranium meluruh secara lambat dengan memancarkan partikel alfa. Isotop ^{235}U merupakan salah satu isotop unsur kimia alami yang bersifat fisi, sedangkan ^{238}U dapat dijadikan fisi menggunakan neutron cepat dan juga dapat ditransmutasikan menjadi ^{239}Pu yang bersifat fisil dalam reaktor nuklir. Dalam PEB (pelat elemen bakar) $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi mengandung beberapa hasil fisi seperti isotop ^{137}Cs , ^{144}Ba , dan ^{90}Sr dan unsur bermassa berat (HE= *heavy element*) diantaranya adalah isotop ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U , ^{236}U , ^{239}Pu , dan ^{238}Pu . Isotop ^{144}Ba adalah isotop hasil fisi yang masih dapat meluruh dan menghasilkan isotop lain sebagai hasil fisi yang lebih stabil yaitu ^{90}Sr dan ^{137}Cs ^[1]. Reaksi fisi ^{235}U di dalam reaktor tidak hanya terjadi antara ^{235}U dengan neutron saja, namun juga ^{238}U fertile yang dapat menghasilkan ^{239}Pu dan selanjutnya

mengalami reaksi fisi .Hasil reaksi fisi antar lain utama dari ^{235}U dengan neutron yang utama adalah ^{90}Sr dan ^{137}Cs ^[2,3].



Reaksi aktivasi ^{238}U menangkap neutron termal (energy neutron termal 0,025 eV) akan terjadi reaksi sebagai berikut :

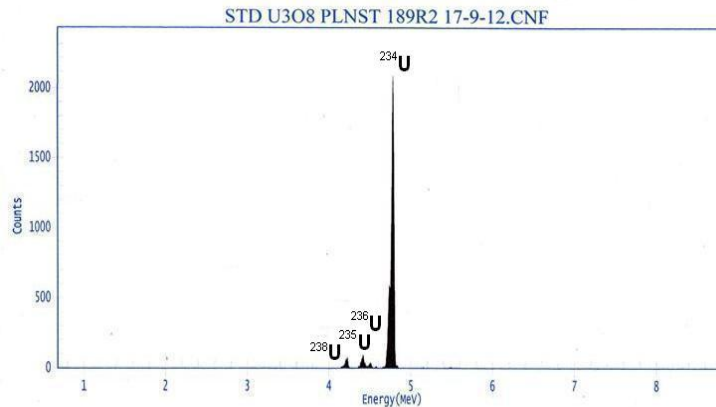


Uranium merupakan unsur logam radioaktif pemancar alpha (α) atau unsur yang mengandung zarah alpha. Isotop ^{235}U digunakan sebagai bahan bakar reaktor riset maupun reaktor daya. Zarah alpha memiliki massa dan muatan yang relatif besar, sehingga zarah tersebut dapat berinteraksi dengan materi secara efektif. Akibatnya zarah alpha tersebut mempunyai jarak jangkauan pendek (daya tembus rendah) atau tidak tembus halangan materi walaupun sanga tipis. Atom uranium yang saling bertumpukan antara satu dengan yang lainnya sangat sulit dideteksi secara keseluruhan, karena atom-atom yang terletak di bawah tertutupi oleh atom-atom yang berada di atasnya sehingga tidak dapat dicacah secara sempurna. Hal ini disebabkan tenaga zarah alpha mudah diserap oleh bahan yang dilewatinya, mengakibatkan zarah alpha yang dipancarkan dari bagian dalam tidak akan keluar dari sumbernya, sehingga hasil cacahannya tidak menyatakan aktifitas sumber yang sebenarnya. Untuk mengatasi kendala tersebut, sebaiknya dilakukan pengendapan uranium secara tipis dan merata dengan metoda elektrodeposisi pada kondisi optimum sebagai penyiapan cuplikan untuk dideteksi dengan detektor PPIs secara spektrometri alpha.

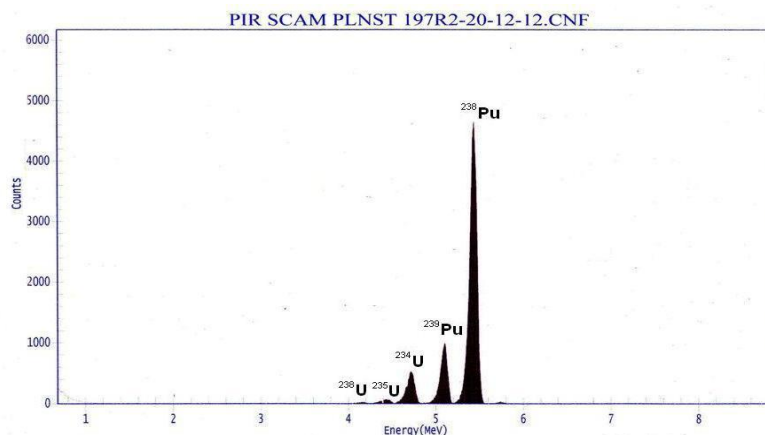
Pelat elemen bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi mengandung beberapa hasil fisi seperti isotop ^{137}Cs , ^{144}Ba , dan ^{90}Sr dan unsur bermassa berat (HE= *heavy element*) diantaranya adalah isotop ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U dan ^{238}Pu , ^{239}Pu . Isotop ^{144}Ba adalah isotop hasil fisi yang masih dapat meluruh dan menghasilkan isotop lain sebagai hasil fisi yang lebih stabil yaitu ^{90}Sr dan ^{137}Cs . Hasil fisi yang digunakan dalam menghitung *burn-up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi adalah jumlah isotop ^{235}U yang terbakar menjadi beberapa hasil fisi (salah satunya adalah isotop ^{137}Cs) serta ^{235}U sisa yang akan dibandingkan dengan jumlah ^{235}U mula-mula^[4,5].

Dalam menganalisis kandungan ^{235}U dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi menggunakan spektrometer alpha, maka proses elektrodeposisi yang digunakan harus di validasi terlebih dahulu. Validasi metode elektrodeposisi untuk penentuan isotop ^{235}U dilakukan dengan menggunakan standar U_3O_8 20% ^{235}U yang mengandung isotop $^{235}\text{U}=19,11\%$, $^{234}\text{U}=0,123\%$, $^{238}\text{U}=79,85\%$ dan $^{236}\text{U}=0,21\%$, sedangkan dalam sampel

larutan PEB U_3Si_2-Al pasca iradiasi mengandung isotop ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U dan ^{238}Pu , ^{239}Pu mempunyai energy alpha untuk isotop $^{234}U=4,774$ MeV, $^{235}U=4,397$ MeV, $^{236}U=4,494$ MeV, $^{238}U=4,194$ MeV dan energy $^{238}Pu=5,486$ MeV, $^{239}Pu=5,155$ MeV seperti terlihat pada Gambar 1 dan 2^[3,4,6].



Gambar 1. Spektrum isotop ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U dalam standar U_3O_8 20% ^{235}U .

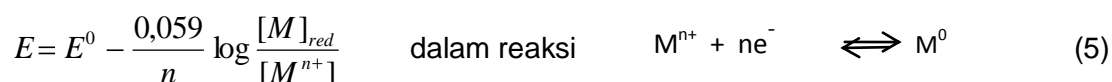


Gambar 2. Spektrum isotop ^{234}U , ^{235}U , ^{236}U , ^{238}U dan isotop ^{238}Pu , ^{239}Pu dalam larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi

Elektrodeposisi (ED)

Elektrodeposisi adalah suatu proses pelapisan suatu logam atau senyawa logam dari larutan elektrolit pada elektroda dengan bantuan arus listrik searah. Percobaan ini, merupakan salah satu metode pengendapan unsur-unsur yang mengandung nuklida-nuklida pemancar sinar alpha (mengandung zarah alpha). Metode elektrodeposisi pada hakekat nya adalah proses elektrolisa, sama dengan cara-cara pelapisan elektro kimia (penyepuhan/galvanisasi), tetapi dalam metode ini dilakukan hingga diperoleh hasil pelapisan tipis dan merata. Pada elektrodeposisi yang terjadi adalah proses pelapisan katodik. Bilamana sejumlah arus tetap dialirkan ke dalam larutan (dalam sistim

elektrokimia) pada rapat arus sekitar $0,01\text{A}/\text{cm}^2$, maka akan dihasilkan potensial-lebih (*overvoltage*) dan timbul gas O_2 atau H_2 . Kenaikan potensial-lebih dari katoda dan anoda ($E_{o.c} + E_{o.a}$) semakin tinggi jika temperatur bertambah, dan rapat arus akan menurun secara kontinu selama proses reduksi-oksidasi tersebut berlangsung dan terjadi perubahan konsentrasi hingga dicapai kesetimbangan, sampai ion logam terendapkan pada katoda secara sempurna atau tidak terdapat lagi dalam campuran larutannya. Potensial reduksi tersebut berbanding lurus dengan konsentrasi ion logam sesuai dengan rumus Nerst, sehingga reaksi yang terjadi adalah reaksi reduksi dengan reaksi umum sebagai berikut ^[2,3]:



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 $[M]^{n+}$. Hasil endapan logam pada katoda dapat diukur menggunakan spektrometri alpha.

Spektrometri Alpha dan detektor PPIs.

Spektrometri alpha adalah suatu cara analisis cuplikan radio aktif pemancar alpha berdasarkan pengukuran tenaga dari intensitas zarah alpha yang dipancarkan oleh cuplikan tersebut. Tena gasinar alpha yang terukur dipakai sebagai dasar analisis kuantitatif. Efek serapan diri merupakan kendala yang harus dihilangkan pada analisis secara spektrometri alpha, karena dapat melemahkan daya tembus zarah alpha yang diterima oleh detektor PPIs. Untuk keperluan analisis kuantitatif dilakukan perhitungan dengan rumus sebagai berikut ^[7] :

$$\text{Aktivitas} = \text{cps} \cdot \frac{4\pi S^2}{\pi r^2} \quad (6)$$

Keterangan :

- Aktivitas = aktifitas cuplikan atau standar (dps)
- cps = laju pencacahan tiap detik
- S = Jarak sumber dengan detektor (cm)
- r = ruji detektor (cm)

Jika dikehendaki, harga ini dapat dikembalikan pada harga dps pada suatu waktu tertentu dengan menggunakan rumus dasar peluruhan radioaktivitas sebagai berikut ^[4,7]:

$$A_t = A_0 \cdot e^{-0,693 \frac{t}{T}} \tag{7}$$

Keterangan :

- At = aktivitas pada saat t (dps)
- A₀ = aktivitas pada saat t=0 (dps)
- t = waktu peluruhan (detik)
- T = waktu paro (detik)

Untuk menentukan efisiensi pencacahan digunakan rumus sebagai berikut ^[4,7]:

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{dps pengukuran}}{\text{dps perhitungan}} \times 100\% \tag{8}$$

Untuk menghitung aktivitas cuplikan (analisis kuantitatif) digunakan rumus (9) ^[4,7]:

$$\text{Aktivitas} = \frac{\text{area net / t count}}{\text{efisiensi x yield}} \tag{9}$$

Keterangan:

- Aktivitas = aktivitas cuplikan (dps)
- Area net = laju pencacahan (cacah)
- t. count = waktu pencacahan (detik)
- Efisiensi = efisiensi detektor (%)
- Yield = intensitas relatif puncak isotop ²³⁵U dan ²³⁹Pu pada energi yang diukur

Untuk mengetahui berat radionuklida dalam cuplikan dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus berikut ^[4,7]:

$$W = \frac{N}{6,02 \times 10^{23}} \cdot BA \tag{10}$$

$$N = \frac{A \cdot T}{0,693} \tag{11}$$

Keterangan:

- N = cacah butir atom
- W = berat radionuklida dalam cuplikan (g)
- A = aktifitas radionukli dadalam cuplikan (dps)
- T = waktu paro radionuklida (detik)
- BA = berat atom ²³⁵U dan ²³⁹Pu

Penentuan % berat radionuklida (W) yang terendapkan, di hitung menggunakan rumus sebagai berikut ^[7] :

$$\text{Berat radionuklida} = \frac{\text{Berat radionuklida yang mengendap}}{\text{Berat radio nuklida dalam cuplikan mula-mula}} \times 100\% \quad (12)$$

Tujuan percobaan ini adalah untuk mendapatkan parameter proses elektrodeposisi yang optimum untuk menghasilkan sumber alpha dari isotop uranium dan plutonium dengan sifat spektrum yang baik dan hasil maksimal dalam standar U_3O_8 20% ^{235}U dan sampel PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi.

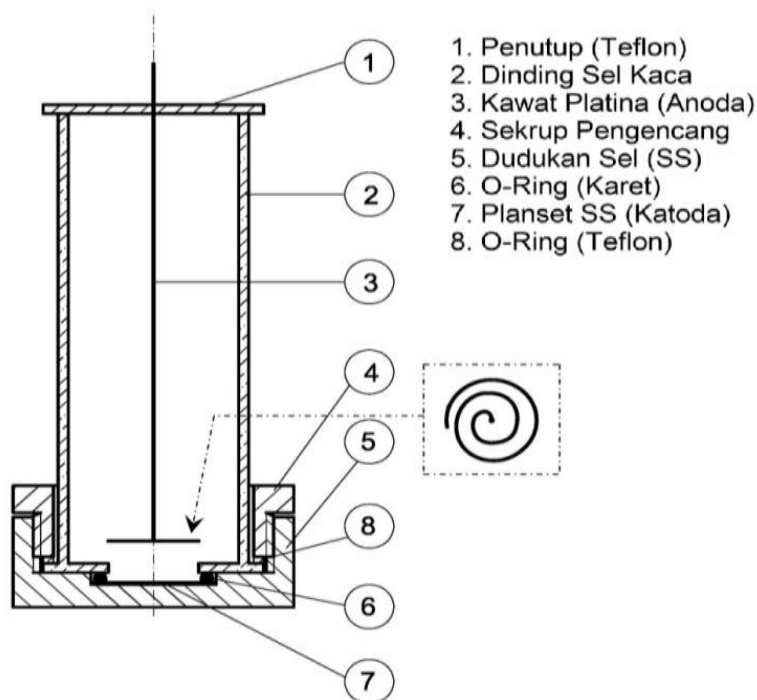
TATA KERJA

Bahan

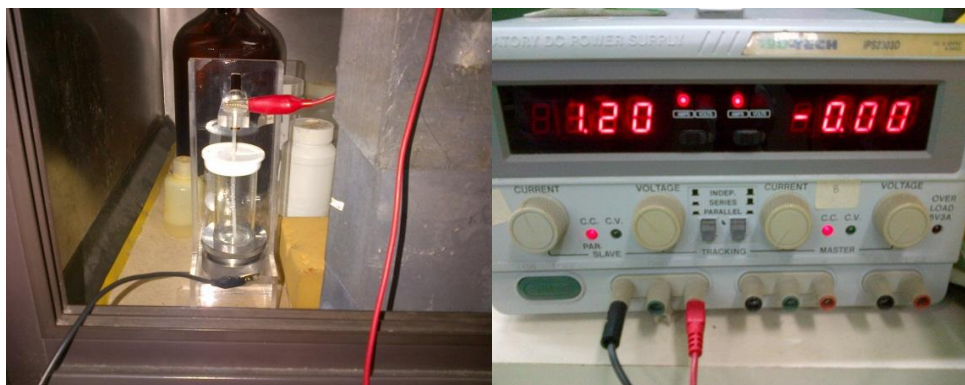
Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah larutan uranium standar U_3O_8 20% ^{235}U larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi, HNO_3 6M, NH_4SO_4 1M, pH 3.5, NH_3 pekat, NH_3 0,15M, ABM, alkohol, standar campuran, (^{239}Pu , ^{241}Am , ^{243}Cm).

Peralatan sel elektrodeposisi

Peralatan yang digunakan adalah terdiri dari pipet effendrof, pinset, neraca analitik, alat-alat gelas, spektrometer alpha, sel elektrodeposisi yaitu sel tabung kaca berdiameter 34 mm, dudukan sel dari bahan *stainless steel* yang terhubung dengan planset sebagai katoda. Proses pengendapan dilakukan pada planset *stainless steel* dengan diameter 25 mm yang berfungsi sebagai katoda, kawat platina dengan diameter 0,5 mm yang sebagai anoda. Sel elektrodeposisi ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Komponen-komponen sel elektrodeposisi



Gambar 4. Rangkaian sel elektrodposisi

Cara kerja

a. Pengendapan uranium dan plutonium

Membuat larutan uranium standar dalam aquadest dengan konsentrasi 1000 mg/L. Planset SS (katoda) berdiameter 25 mm yang bersih dan bebas dari lemak, kemudian planset (katoda) letakkan pada dasar sel elektrodposisi dan dipasang sel kaca dengan cara memutarnya hingga kencang dan tidak bocor. Masukkan beberapa mL larutan elektrolit ammonium sulfat 1M dengan pH 3,5 dan tambahkan larutan cuplikan 300 μL ke dalam larutan media, kemudian tambahkan kembali larutan elektrolit hingga volume 20 mL (larutan media) ke dalam tabung elektroda. Pasang platina (anoda) pada jarak 1 cm di atas katoda, kemudian hidupkan power suplay elektrodposisi dan atur arus, waktu dan konsentrasi cuplikan yang telah ditentukan, kemudian biarkan proses elektrodposisi selama dua jam. Setelah dua jam tambahkan 1ml larutan NH_3 pekat ke dalam larutan dan biarkan selama 5 menit, kemudian arus unit elektrodposisi dimatikan. Pindahkan larutan ketempat wadah limbah kemudian planset dibersihkan dengan NH_3 0,1M dan dibilas dengan alkohol lalu dikeringkan.

Parameter percobaan untuk standar U_3O_8 : waktu elektrodposisi : 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 dan 3,0 jam, arus yang digunakan 1,0; 1,2 dan 2,0 A serta volume umpan 100; 300; 500; 700 μL . Setelah diperoleh parameter yang optimum terhadap standar, kemudianparameter tersebut digunakan untuk sampel PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi dengan berbagai volume yaitu 50; 100; 150; 200; 250; 300 dan 500 μL .

b. Analisis (Pencacahan)

Pencacahan dilakukan setelah pengendapan isotop ^{235}U dalam larutan standar U_3O_8 20% dan isotop ^{235}U , ^{239}Pu dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi. Pada proses elektrodposisi tersebut planset SS berdiameter 25 mm selanjutnya di cacah menggunakan perangkat spektrometer alpha selama 20000 detik terhadap setiap cuplikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis isotop ^{235}U dalam larutan standar U_3O_8 20% ^{235}U dan isotop ^{235}U , ^{239}Pu larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh waktu elektrodeposisi cuplikan ^{235}U standar U_3O_8 20% ^{235}U pada arus 1,2 A dan *energy* 4,397 MeV

Waktu Deposisi (jam)	cps	dps	W (μg)	W (%)
1,0	0,003	0,012	0,154	6,649
1,5	0,009	0,041	0,507	21,891
2,0	0,039	0,185	2,314	99,911
2,5	0,029	0,400	1,748	75,473
3,0	0,025	0,119	1,493	64,463

Pada Tabel 1 sampai 3 dapat dilihat bahwa kondisi optimum proses pengendapan ^{235}U dengan arus 1,2 A selama 2 jam dengan 300 μL volume larutan yang diproses diperoleh sebesar 2,314 μg . Data percobaan menunjukkan bahwa perubahan waktu elektrodeposisi dan arus yang digunakan memegang peranan cukup signifikan. Semakin lama waktu proses elektrodeposisi dan semakin tinggi arus yang digunakan semakin tinggi aktivitas yang diperoleh sehingga endapan nuklida yang diperoleh semakin banyak pula, tetapi setelah 2,5 jam, dan arus 1,4 A jumlah endapan yang diperoleh justru menurun. Hal itu disebabkan adanya isotop atau unsur pengotor lain yang ikut terendapkan sehingga hasil proses elektrodeposisi isotop pada planset menjadi tebal yang menutupi isotop di atasnya pada saat pencacahan, sedangkan untuk volume proses elektrodeposisi semakin besar volume sampel semakin besar hasil cacahan yang diperoleh. Fenomena ini disebabkan oleh konsentrasi yang semakin tinggi aktivitas yang diperoleh juga semakin tinggi, terlihat dari hasil cacah dan hasil evaluasi pengendapan yang tinggi diperoleh 99,911%.

Tabel 2. Pengaruh arus ED standar U_3O_8 20% terhadap isotop ^{235}U dengan arus 1,2 A pada *energy* 4,397 MeV

Arus Deposisi (A)	cps	dps	W (μg)	W (%)
1,0	0,035	0,164	2,047	88,382
1,2	0,039	0,185	2,314	99,911
1,4	0,036	0,172	2,154	93,002

Tabel 3. Pengaruh volume umpan standar U₃O₈ 20% terhadap isotop ²³⁵U pada arus 1,2 A energy 4,397

Vol (μL)	cps	dps	W (μg)	W (%)
100	0,012	0,054	0,681	88,210
300	0,039	0,185	2,314	99,911
500	0,059	0,284	3,549	97,380
700	0,088	0,416	5,197	96,167

Tabel 4. Pengaruh volume umpan dalam larutan PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi terhadap isotop ²³⁵U dengan arus 1,2 A pada energy 4,397 MeV

Vol (μL)	cps	dps	W (μg)	W (%)
50	0,001	0,004	0,052	71,233
100	0,002	0,009	0,110	75,342
150	0,003	0,014	0,175	79,909
200	0,004	0,019	0,240	81,911
250	0,005	0,024	0,305	83,333
300	0,007	0,032	0,403	91,800
500	0,011	0,050	0,619	84,563

Tabel 5. Pengaruh volume umpan dalam larutan PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi terhadap isotop ²³⁹Pu dengan arus 1,2 A pada energy 5,155 MeV

Vol (μL)	cps	dps	W (μg)
50	0,064	0,228	9,9 x 10 ⁻⁰⁵
100	0,173	0,615	2,6 x 10 ⁻⁰⁴
150	0,312	1,112	4,8 x 10 ⁻⁰⁴
200	0,362	1,289	5,6 x 10 ⁻⁰⁴
250	0,422	1,501	6,5 x 10 ⁻⁰⁴
300	0,667	2,374	1,0 x 10 ⁻⁰³
500	0,923	3,282	1,4 x 10 ⁻⁰³

Hasil analisis ²³⁵U dan ²³⁹Pu dalam larutan PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5. Hubungan antara isotop dan volume umpan untuk proses elektrodeposisi dengan menggunakan parameter yang optimum yaitu arus 1,2 A, waktu 2 jam untuk volume 50, 100, 150, 200, 250, 300, dan 500 μL diperoleh isotop ²³⁵U berturut-turut sebesar 0,052; 0,110; 0,175; 0,240; 0,305; 0,403 dan 0,619 μg atau 71,233; 75,342; 79,909; 81,911; 83,333; 91,800; 84,563 %, sedangkan untuk isotop ²³⁹Pu sebesar 9,9x10⁻⁰⁵; 2,6x10⁻⁰⁴; 4,8x10⁻⁰⁴; 5,6x10⁻⁰⁴; 6,5x10⁻⁰⁴; 1,0x10⁻⁰³; 1,4x10⁻⁰³ μg

terlihat bahwa semakin tinggi volume proses semakin tinggi yang ditandai dengan jumlah aktivitas semakin tinggi, sehingga endapan yang diperoleh juga semakin banyak.

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dan analisis data pada larutan standar U_3O_8 dan larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi dapat disimpulkan bahwa penyediaan cuplikan untuk analisis secara spektrometer alpha dapat dilakukan dengan metode elektrodeposisi. Kondisi optimum untuk standar terjadi pada arus 1,2 A, waktu 2 jam, volume 300 μL diperoleh hasil analisis isotop ^{235}U sebesar 2,314 μg dengan prosentase berat isotop yang terendapkan sebesar 99,91%, sedangkan isotop ^{235}U dalam larutan PEB U_3Si_2/Al pada volume 50, 100, 150, 200, 250, 300, dan 500 μL diperoleh hasil berturut-turut 0,052; 0,110; 0,175; 0,240; 0,305; 0,403 dan 0,619 μg atau 71,233; 75,342; 79,909; 81,911; 83,333; 91,800; 84,563 %, serta isotop ^{239}Pu dengan hasil berturut-turut sebesar $9,9 \times 10^{-05}$; $2,6 \times 10^{-04}$; $4,8 \times 10^{-04}$; $5,6 \times 10^{-04}$; $6,5 \times 10^{-04}$; $1,0 \times 10^{-03}$; $1,4 \times 10^{-03}$ μg .

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Bidang Uji Metalurgi dan Ibu Ir. Aslina Br. Ginting yang telah memberi kesempatan melakukan percobaan ini, serta teman-teman Bidang Uji Metalurgi khususnya teman-teman Fisiko Kimia yang telah membantu sehingga makalah ini dapat terwujud.

DAFTAR PUSTAKA

1. S. Amini, Studi Zeolit Untuk Penukaran Ion Cs, Sr dan U, Hasil-Hasil Penelitian Elemen Bakar Nuklir P2TBDU-BATAN, ISSN 0854-5561, Serpong, 1998.
2. A.Br.Ginting, Laporan Akhir Pelaksanaan Kegiatan Program Insentif Peningkatan Kemampuan Peneliti Dan Perekayasa (PKPP), BATAN-RISTEK, 2012
3. Aslina Br.Ginting, Dian Anggraini, Boybul, Arif Nugroho, Noviaty, Rosika Kriswarini, Yanlinastuti, Sutri Indaryati, Iis Haryati, Erlina N, Andi K, S. Fatimah, (2014), Bunga Rampai, Proseding Hasil Penelitian Pengembangan Metoda Pengujian Fisikokimia Bahan Bakar Nuklir Pasca Iradiasi, Pusat teknologi Bahan bakar Nuklir, Serpong.
4. Ginting.A, Analisis Isotop Trans uranium Dalam Bahan Bakar PEB U_3Si_2/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, 2011.

5. 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. 12.01, 1992.
6. American Standar Test Methods, Standar Test Methods for ^{238}Pu Isotopic Abundance By Alpha Spectrometry, ASTM No C- 1415-01. Vol. 12.1, 1992.
7. Bambang Irianto, Muljono, Tri Rusmanto. Optimasi Rendemen Elektrodeposisi ^{232}Th Dan Anak Luruhnya Menggunakan Elektrolit NH_3 Peekat Dan H_2SO_4 2m Untuk Spektrometri Alpha. Prosiding Seminar Penelitian Dan Pengelolaan Perangkat Nuklir Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan Yogyakarta, ISSN 1410 – 8178 Buku II hal 19427, Juli 2011.