
PENGARUH PELARUT ORGANIK PADA PROSES PERTUKARAN ANION DALAM PEMISAHAN URANIUM DARI LARUTAN PEB U_3Si_2/Al PASCA IRADIASI

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

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, 15314
e-mail : ad_09@ymail.com

(Naskah diterima: 21-06-2017, Naskah direvisi: 06-07-2017, Naskah disetujui: 07-07-2017)

ABSTRAK

PENGARUH PELARUT ORGANIK PADA PROSES PERTUKARAN ANION DALAM PEMISAHAN URANIUM DARI LARUTAN PEB U_3Si_2/Al PASCA IRADIASI. Telah dilakukan pengembangan metode pemisahan uranium untuk meningkatkan rekoveri pemisahan uranium dalam bahan bakar nuklir pasca iradiasi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pelarut organik pada proses penukar anion terhadap rekoveri uranium dari larutan bahan bakar U_3Si_2/Al pasca iradiasi potongan bagian atas. Larutan organik dalam hal ini metanol terdapat dalam larutan umpan pada kolom penukar anion diharapkan dapat meningkatkan daya sorpsi resin Dowex terhadap uranium. Bahan yang digunakan sebagai umpan adalah larutan standar uranyl nitrat dan supernatan larutan bahan bakar U_3Si_2/Al pasca iradiasi. Metode pemisahan uranium dilakukan dengan menggunakan kolom penukar anion dengan 2 (dua) tahapan. Kolom pertama menggunakan resin Dowex 1x8- NO_3 dan kolom kedua dengan resin Dowex 1x8-Cl. Pada kolom pertama parameter yang divariasikan adalah konsentrasi HNO_3 mulai dari 1M;2M;3M dan 4M, sedangkan variasi parameter pada kolom kedua adalah perbandingan volume antara HCl/metanol yaitu 50:50 %; 30:70 %, 20:80 % dan 10:90 %. Hasil penelitian diperoleh rekoveri uranium maksimum sebesar 90,68% dengan komposisi media pelarut pada kolom pertama adalah HNO_3 3M dan metanol sebanyak 50 % volume sedangkan pada kolom kedua digunakan media pelarut HCl 6M dan metanol dalam perbandingan 10 %:90 % volume. Pada kondisi optimal diperoleh kandungan uranium dalam PEB U_3Si_2/Al TMU 2,96 g/cm³ potongan bagian atas sebesar 0,4725 µg.

Kata kunci: rekoveri U, penukar anion, metanol, resin Dowex 1x8, PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi.

ABSTRACT

EFFECT ORGANIC SOLVENT ON THE ANION EXCHANGE PROCESS IN URANIUM SEPARATION FROM SOLUTION OF U_3Si_2/Al IRRADIATED FUEL PLATE. Separation method of uranium from nuclear fuel solutions was developed to improve the quality of uranium-based analysis of post-irradiation nuclear fuel. The aim of this study was to determine the effect of organic solvent on the anion exchange process on the recovery of U from U_3Si_2/Al fuel solution post-irradiated. The organic solvent, in this case methanol, contained in solvent medium in the anion exchange column may be possible to increase the resin sorption of the uranium. The materials used are standard solution of uranyl nitrate and supernatant solution of Cs separation process from the fuel solution. The uranium separation method from U_3Si_2/Al post irradiated fuel solution uses two columns of anion exchanger with two stages. The first column uses Dowex 1x8-Cl Dowex resin. Parameters varied in the first column are HNO_3 concentrations ranging from 1M; 2M; 3M and 4M. The parameters variation in the second column is the ratio of HCl/methanol volume of 30:70 %; 20:80 % and 10:90 %. The result obtained a maximum U recovery of 90,68 % with feed solution composition in the first column containing 3 % HNO_3 and methanol by 50 % volume, while in the second column with 6M HCl composition with methanol in 10 %:90 % ratio. In these conditions obtained uranium content in a solution of the middle PEB U_3Si_2/Al TMU 2.96 g/cm^3 piece of $0,4725\text{ }\mu\text{g}$.

Keywords: U recovery, anion exchange, methanol, Dowex 1x8, U_3Si_2/Al post-irradiation.

PENDAHULUAN

Burn up atau derajat bakar sangat tergantung kepada spesifikasi dan jenis bahan bakar serta kondisi proses iradiasi selama di reaktor. Perbedaan parameter ini akan berpengaruh kepada komposisi kimia isotop fisil (^{235}U) dari bahan bakar pasca iradiasi. Data kuantitatif parameter diatas berguna untuk mengetahui kinerja reaktor seperti efektifitas penggunaan bahan bakar nuklir, optimasi manajemen bahan bakar serta perhitungan akuntabilitas *safeguard* dari bahan nuklir[1]. Beberapa metode telah dikembangkan untuk menentukan *burn up* baik secara uji tidak merusak maupun uji merusak. Metode uji merusak secara radiokimia dilakukan untuk menentukan isotop spesifik sebagai monitor *burn up* seperti isotop U, Pu dan Nd serta Cs. Jenis isotop tersebut telah digunakan sebagai acuan untuk perhitungan *burn up* bahan bakar pasca iradiasi[2].

Penentuan kandungan uranium secara radiokimia untuk perhitungan *burn up* meliputi beberapa tahapan proses yaitu proses pelarutan, pemisahan dan pengukuran isotop dengan spektrometer alpha dan gamma. Pemisahan uranium dalam larutan bahan bakar pasca iradiasi dapat dilakukan dengan metode evaporasi, pengendapan, *solvent extraction* dan kolom penukar ion. Metode penukar ion lebih sering digunakan oleh para penelliti untuk melakukan pemisahan uranium baik dalam larutan bahan bakar maupun dari matrik lainnya seperti sampel geologi, limbah dan sampel lingkungan[3,4,5]. Hal ini disebabkan karena metode penukar ion memiliki beberapa keunggulan dari metode lainnya diantaranya lebih sederhana, mampu memisahkan unsur dengan konsentrasi rendah (*trace element*) serta limbah yang dihasilkan dalam jumlah sedikit[5]. Dalam pemisahan uranium dari larutan bahan bakar nuklir pasca iradiasi, metode penukar anion telah digunakan sebagai metode

standar seperti yang tercantum dalam ASTM C1411-01[6].

Metode ASTM C1411-01 telah digunakan oleh peneliti sebelumnya untuk pemisahan uranium dari larutan pelat elemen bakar (PEB) U_3Si_2/Al dengan densitas uranium sebesar $2,96 \text{ gU/cm}^3$ [7,8]. Metode ini menggunakan dua kolom penukar anion yaitu kolom penukar anion dengan resin Dowex 1x8- NO_3 dan kolom penukar anion kedua menggunakan resin Dowex 1x8-Cl. Kolom penukar anion pertama digunakan untuk memisahkan uranium dari unsur bermassa berat lainnya seperti Pu dan pada kolom kedua untuk memisahkan uranium dari unsur – unsur yang dihasilkan dari hasil reaksi fisi isotop ^{235}U dalam reaktor. Rekoveri pemisahan uranium yang telah diperoleh dengan menggunakan metode ini hanya sebesar 68,2 %[8]. Besaran rekoveri tersebut dipandang masih rendah bila dibandingkan dengan rekoveri pemisahan cesium dalam bahan bakar pasca iradiasi yang telah diperoleh pada penelitian sebelumnya sebesar 99,4 %[8].

Dalam usaha untuk meningkatkan rekoveri tersebut, diperlukan upaya pengembangan metode analisis dalam rangka meningkatkan mutu hasil analisis. Salah satu cara yang dilakukan adalah meningkatkan daya adsorpsi resin Dowex terhadap ion kompleks metal. Daya adsorpsi resin Dowex pada proses kolom penukar anion sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah komposisi media pelarut atau jenis larutan umpan. Peneliti sebelumnya telah mempelajari pertukaran ion kompleks dalam kolom penukar anion dan mendapatkan bahwa keberadaan pelarut organik dalam kolom dapat meningkatkan daya adsorpsi resin. Hal ini telah dibuktikan oleh peneliti sebelumnya yang menggunakan larutan metanol 50 % volume sebagai pelarut dalam pemisahan uranium dan thorium[3]. Pemisahan uranium dalam batuan juga telah dilakukan dengan

menggunakan larutan campuran organik dan diperoleh kandungan uranium lebih besar. Pada pemisahan unsur–unsur lantanida dengan menggunakan metanol sebagai pelarut organik, telah dibuktikan adanya peningkatan daya adsorpsi ion lantanida ke dalam resin[9]. Fenomena ini disebabkan sifat fisik dari pelarut organik seperti viskositas, polaritas dan konstanta dielektrik dapat mengakibatkan perubahan sifat pada larutan umpan kolom[10]. Perubahan sifat tersebut mengakibatkan interaksi ion metal dengan ligan resin semakin meningkat. Hal ini menjadikan dasar atau latar belakang untuk melakukan penelitian agar dapat meningkatkan rekoveri pemisahan uranium dalam bahan bakar U_3Si_2/Al pasca iradiasi, sehingga data perhitungan *burn up* dapat lebih akurat.

METODOLOGI

Bahan penelitian adalah larutan standar U_3O_8 yang telah dilarutkan menjadi uranyl nitrat dan larutan supernatan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi. Proses pemisahan uranium dilakukan dengan 2 tahap. Tahap pertama dilakukan menggunakan kolom penukar anion dengan resin Dowex 1x8- NO_3 dan pada tahap kedua dilakukan pada kolom penukar anion dengan resin Dowex 1x8-Cl. Jumlah resin Dowex 1x8 yang digunakan pada kolom pertama dan kolom kedua masing-masing sebanyak 1,2 gram.

Peralatan yang digunakan adalah satu unit kolom penukar anion dibuat dari bahan gelas dengan diameter = 0,9 cm dan tinggi 10 cm, sel elektrodeposisi dan planset *stainless steel* (SS) dengan diameter 1 cm. Proses elektrodeposisi dilakukan untuk preparasi sampel sumber alpha berupa deposit uranium pada permukaan planset SS. Untuk mengetahui kandungan isotop uranium, planset SS selanjutnya dianalisa menggunakan spektrometer alpha yang telah dikalibrasi menggunakan standar AMR 43 dari NIST (*National Institute of Standards*

Technology). Hasil kalibrasi digunakan untuk mengetahui efisiensi detektor serta kesesuaian antara nomor kanal dengan energi isotop pemancar alpha. Efisiensi detektor digunakan untuk perhitungan uranium secara kuantitatif.

Rekoveri pemisahan uranium dilakukan dengan pemanasan larutan uranyl nitrat sebanyak 500 μ L sampai kusat. Larutan tersebut dikenakan proses oksidasi dan reduksi menggunakan larutan HNO_3 sebanyak 3 mL dan $FeSO_4$ 0,1M. Larutan diaduk dan ditambah larutan HNO_3 pekat sehingga menjadi larutan standar dalam HNO_3 8 M. Sementara itu, untuk mendapatkan larutan standar dengan variasi konsentrasi HNO_3 1M; 2M; 3M dan 4M dilakukan pengenceran menggunakan ABM. Larutan standar dengan variasi konsentrasi HNO_3 , kemudian ditambah metanol dengan perbandingan volume 50 %: 50 %. Larutan standar yang telah bercampur dengan metanol digunakan sebagai umpan pada kolom pertama. Sebelum larutan standar dimasukkan ke dalam kolom terlebih dahulu resin Dowex dikondisikan dengan menggunakan 20 mL larutan campuran (HNO_3 +metanol) dengan variasi konsentrasi nitrat sesuai dengan kondisi larutan standar. Efluent uranium yang diperoleh dari kolom pertama kemudian dipanaskan sampai kusat dan ditambahkan larutan campuran (HCl + metanol) dengan perbandingan HCl/metanol sebesar 20/80 %. Proses pada kolom kedua, uranium akan terikat dengan resin, kemudian uranium elusi dengan larutan HNO_3 0,35 M sebanyak 15 mL. Hasil elusi uranium (efluen U) kemudian dikusatkan dan dikenakan proses elektrodeposisi[11] untuk selanjutnya dapat dianalisis kuantitatif menggunakan spektrometer alpha. Rekoveri pemisahan uranium dihitung dengan cara membandingkan kandungan uranium mula mula dengan kandungan uranium setelah melalui proses kolom pertukaran anion.

Konsentrasi HNO_3 optimum pada kolom pertama, selanjutnya digunakan untuk

pemisahan uranium dengan variasi perbandingan volume HCl dan metanol pada kolom kedua sebesar 20:80 %; 30:70 % dan 10:90 %. Langkah kerja yang sama dilakukan untuk penentuan rekoveri uranium variasi konsentrasi nitrat, sehingga diperoleh perbandingan volume HCl dan metanol yang optimal untuk digunakan sebagai pelarut organik pada kolom kedua.

Parameter optimal yang diperoleh pada kolom pertama dan kedua, selanjutnya digunakan untuk proses pemisahan uranium dalam supernatan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi. Supernatan PEB U_3Si_2/Al sebanyak 500 μ L diuapkan sampai kihat, kemudian ditambah larutan HNO_3 8N sebanyak 5 mL dan dikisat kembali. Larutan yang telah

kihat selanjutnya dikenakan proses penukar anion dengan resin Dowex 1x8- NO_3 dan resin Dowex 1x8-Cl menggunakan parameter optimum yang telah diperoleh sebelumnya. Kandungan uranium dalam supernatan PEB U_3Si_2/Al selanjutnya dianalisis dengan spektrometer alpha.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Penentuan optimasi parameter

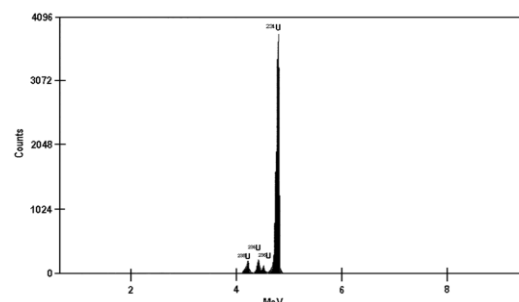
Hasil pengukuran efluen U yang diperoleh dari kolom pertama dengan umpan campuran larutan standar uranil nitrat dan metanol dengan variasi konsentrasi HNO_3 1M; 2M; 3M dan 4M tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Data kandungan isotop U pada kolom pertama

Konsentrasi HNO_3 (M)	Kandungan isotop U (μ g)				Ratio isotop $^{234}U/^{238}U$
	^{238}U	^{235}U	^{236}U	^{234}U	
1	31,986	8,504	0,084	0,049	0,0015
2	19,925	6,986	0,117	0,033	0,0016
3	31,880	9,686	0,096	0,051	0,0016
4	28,572	8,171	0,076	0,040	0,0016

Tabel 1 menunjukkan bahwa parameter optimal untuk pemisahan U pada kolom pertama terjadi pada penggunaan HNO_3 dengan konsentrasi 3 M. Hal ini ditunjukkan oleh kandungan ^{235}U ; ^{236}U dan ^{234}U diperoleh paling besar pada penggunaan HNO_3 dengan konsentrasi 3 M yaitu sebesar 9,686 μ g; 0,096 μ g; 0,051 μ g.

Pemilihan parameter optimal penggunaan HNO_3 pada konsentrasi 3 M dalam pemisahan U didukung oleh perhitungan ratio isotop $^{234}U/^{238}U$. Kandungan uranium yang paling besar dalam larutan uranil nitrat maupun dalam bahan bakar pasca iradiasi adalah isotop ^{234}U dan ^{238}U dan dalam kondisi stabil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum isotop U (^{238}U ; ^{235}U ; ^{236}U dan ^{234}U) dalam larutan standar uranil nitrat

Gambar 1 menunjukkan bahwa dalam standar uranil nitrat kandungan ^{234}U dan ^{238}U diperoleh lebih besar dari pada kandungan ^{235}U dan ^{236}U , sehingga umumnya ratio $^{234}U/^{238}U$ digunakan sebagai indikator keberhasilan pemisahan maupun penyimpangan pemisahan uranium secara radiokimia. Tabel 1 menunjukkan bahwa ratio isotop $^{234}U/^{238}U$ untuk HNO_3 dengan

konsentrasi 1M diperoleh sebesar 0,0015 dan ratio isotop $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ pada konsentrasi HNO_3 2 M; 3 M dan 4 M masing-masing sebesar 0,0016. Ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ pada konsentrasi HNO_3 1 M mempunyai perbedaan sekitar 7% dengan ratio $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ pada konsentrasi HNO_3 2 M; 3 M dan 4 M. Data ini menunjukkan bahwa penyimpangan metode pemisahah U pada kolom pertama

diperoleh sebesar 7 %. Secara statistik, penyimpangan sebesar 7 % dapat diterima karena besar penyimpangan lebih kecil dari 10 % (persyaratan).

Selain parameter penggunaan pelarut HNO_3 yang optimal, ditentukan juga parameter optimal rekoveri pemisahan uranium dalam larutan uranil nitrat seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekoveri uranium pada konsentrasi HNO_3 dan metanol 50 % volume

Konsentrasi HNO_3 , (M)	Kandungan uranium (μg)		Rekoveri pemisahan U (%)
	Sebelum pemisahan	Setelah pemisahan	
1	50	24,832	49,66
2	50	16,237	32,47
3	50	41,715	83,83
4	50	36,867	73,73

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai rekoveri uranium yang diperoleh dari larutan umpan pada kolom penukar anion dengan resin Dowex- NO_3 mencapai maksimum 83,83 % pada konsentrasi HNO_3 3 M dan metanol 50 % volume. Besaran rekoveri ini mengalami peningkatan dari 68,21 % pada penelitian sebelumnya (hanya menggunakan pelarut HNO_3 dengan konsentrasi 8 M) menjadi rekoveri sebesar 83,83 % dengan menggunakan pelarut HNO_3 dan methanol pada perbandingan volume

50 : 50 %. Fenomena ini menunjukkan bahwa penggunaan pelarut yang berbeda (pelarut organik) dapat meningkatkan daya adsorpsi resin terhadap kompleks ion uranium.

Efluen uranium yang keluar dari kolom pertama, digunakan sebagai umpan pada kolom kedua. Pemisahan uranium pada kolom kedua dilakukan dengan variasi perbandingan HCl 6 M dengan metanol dan nilai rekoveri yang diperoleh tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Data rekoveri U dengan pelarutan campuran (HCl dan metanol)

Perbandingan HCl : metanol (% volume)	Kandungan U(μg)		Rekoveri pemisahan U (%)
	Sebelum pemisahan	Sesudah pemisahan	
30 : 70	50	20,17	40,35
20 : 80	50	44,36	88,71
10 : 90	50	45,34	90,68

Tabel 2 menunjukkan bahwa rekoveri pemisahan U meningkat dengan naiknya jumlah metanol dalam media pelarut. Pemisahan uranium pada Tabel 2 menunjukkan bahwa kondisi atau parameter optimum tercapai pada perbandingan HCl dengan metanol pada 10:90 % volume dengan rekoveri sebesar 90,68 %.

Metanol merupakan pelarut organik yang banyak digunakan dalam proses penukar ion untuk menaikkan daya adsorpsi resin terhadap kompleks ion logam. Pada pustaka menyatakan bahwa keberadaan metanol dalam media pelarut menyebabkan beberapa sifat fisis media pelarut berubah seperti polaritas, kontanta dielektrik,

viskositas dan titik didih[11]. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan sifat fisik pelarut (air) dan metanol seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 .Sifat fisis air dan metanol

Sifat fisik	Air	Metanol
Polaritas	74	34
Konstanta dielektrik	78,36	32,6
Viskositas(mPas)	0,895	0,55
Titik didih (0°C)	100	64,80
Densitas (g/cm ³)	0,997	0,79

Polaritas pelarut merupakan faktor yang berpengaruh pada pengembangan resin (*swelling resin*), semakin polar media pelarut mengakibatkan *swelling resin* semakin besar. Pada kondisi ini resin akan mengandung air berlebih sehingga resin akan mudah rusak. Adanya metanol dalam media pelarut menurunkan polaritas pelarut sehingga *swelling resin* akan lebih rendah jika dibanding dengan pelarut tanpa metanol. Penurunan *swelling resin* mengakibatkan daya adsorpsi semakin meningkat. Fenomena ini sesuai dengan pernyataan yang terdapat dalam pustaka yang menyatakan bahwa berkurangnya *swelling resin* sama seperti peningkatan *crosslinkage resin*[12]. Bertambahnya *crosslinkage* dalam resin mengakibatkan porositas menurun sehingga hidrasi berkurang. Hal ini menyebabkan interaksi ion uranium kompleks dengan ligan resin menjadi meningkat. Jumlah pertambahan *crosslinkage* atau penurunan *swelling resin* mempunyai batasan maksimum. Bila melebihi batasan maksimum jumlah pori semakin sedikit sehingga kapasitas tukar anion menjadi berkurang. Dari hasil penelitian ini diperoleh parameter optimum tercapai pada perbandingan HCl dengan metanol pada 10:90 % volume.

Tabel 3 menunjukkan bahwa konstanta dielektrik menurun dengan adanya metanol dalam media pelarut. Beberapa peneliti sebelumnya mendapatkan

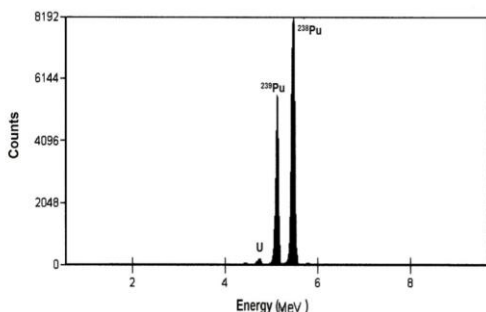
bahwa penurunan konstanta media pelarut dapat meningkatkan daya adsorpsi resin terhadap U. Hal ini terjadi dimungkinkan karena media pelarut dengan konstanta dielektrik rendah akan menekan proses disosiasi senyawa kompleks (UO_2Cl_2) sehingga UO_2Cl_2 yang tidak terurai langsung diserap oleh resin dan menghasilkan senyawa dengan struktur $(R_s UO_2)(UO_2Cl)$ [12] Menurunnya nilai polaritas larutan menyebabkan konstanta dielektrik larutan juga menjadi menurun. Fenomena ini didukung oleh hasil penelitian mengenai efek konstanta dielektrik dalam sistem yang berkaitan dengan data ekstraksi uranium. Parameter penelitian dilakukan pada 99 % alkohol dan 1 % HCl 6M dengan variasi konsentrasi alkohol dan diperoleh koefisien distribusi (Kd) dari 0 pada media pelarut dengan konstanta dielektrik sebesar 88 dalam media air menjadi 1.10^5 pada media pelarut dengan konstanta dielektrik sebesar 3 dalam media dioxane[12,13].

Sifat fisis lain yang berubah dengan adanya metanol adalah viskositas dan titik didih. Perubahan kedua sifat ini berpengaruh pada kecepatan proses pemisahan dan kemudahan dalam proses preparasi pembuatan sumber alpha U dalam dalam planset. Viskositas media pelarut menjadi lebih rendah mengakibatkan waktu tinggal akan lebih lama sehingga proses dapat lebih cepat dengan menaikkan kecepatan alir media pelarut. Pada proses pembuatan sumber alpha U diperlukan proses penguapan dari larutan elusi U. Titik didih media pelarut yang lebih rendah dapat mempercepat proses penguapan dan menghasilkan residu minimum.

Pemisahan U dalam supernatan PEB U_3Si_2/Al

Pengukuran kandungan uranium dalam supernatan PEB U_3Si_2/Al dilakukan sebelum dan sesudah pemisahan menggunakan spektrometer alpha. Spektrum isotop supernatan sebelum

dilakukan proses pemisahan uranium ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum isotop U sebelum proses pemisahan

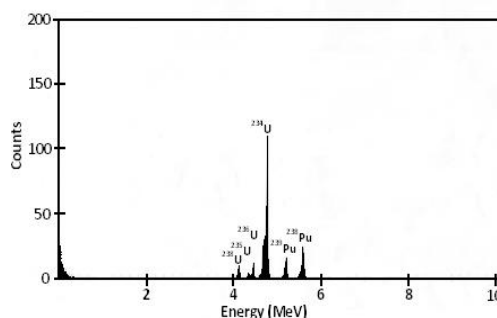
Gambar 2 menunjukkan bahwa spektrum isotop U (^{238}U ; ^{235}U ; ^{236}U dan ^{234}U) terlihat sangat kecil dan menyatu satu dengan lainnya, sedangkan spektrum isotop Pu (^{238}Pu dan ^{239}Pu) terlihat sangat tinggi dan jelas terpisah. Hal ini yang menjadikan pertimbangan untuk melakukan proses pemisahan U dan Pu dalam larutan supernatan agar spektrum U terlihat lebih jelas dan dapat ditentukan secara kuantitatif dengan akurat.

Pemisahan uranium dalam supernatan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ dilakukan dengan menggunakan parameter optimum (diperoleh dari hasil analisis terhadap standar uranil nitrat). Pada kolom pertama digunakan media pelarut HNO_3 dengan konsentrasi 3M dan metanol 50 % volume, sedangkan pada kolom kedua digunakan media pelarut adalah HCl 6M dan metanol dengan perbandingan 10:90 % volume. Hasil pemisahan diperoleh kandungan uranium seperti yang tercantum pada Tabel 4.

Tabel 4. Kandungan isotop uranium dalam supernatant PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$

Isotop U	Berat (μg)
^{238}U	0,3852
^{235}U	0,0804
^{236}U	0,0061
^{234}U	0,0008

Berdasarkan Tabel 4 diketahui jumlah kandungan uranium masing masing untuk isotop ^{238}U ; ^{235}U ; ^{236}U dan ^{234}U . Besar kandungan uranium dalam supernatan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ diperoleh dari luasan spektrum isotop uranium hasil pengukuran menggunakan spektrometer alpha seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum isotop U setelah proses pemisahan

Gambar 3 menunjukkan bahwa setelah dilakukan pemisahan diperoleh spektrum dari masing-masing isotop U maupun Pu telah terpisah dengan baik, sehingga setiap isotop dapat dievaluasi dan dianalisis secara kuantitatif dengan mudah. Bila dibandingkan spektrum U pada Gambar 2 dengan spektrum U yang ada pada Gambar 3, maka proses pemisahan U dengan metode kolom penukar anion menggunakan metanol sebagai pelarut organik telah menghasilkan spektrum U dengan resolusi lebih baik.

SIMPULAN

Penggunaan media pelarut organik sangat berpengaruh dalam pemisahan uranium. Pemisahan uranium dalam supernatan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi menggunakan Dowex 1x8- NO_3 dengan media pelarut HNO_3 3 M dan metanol 50 % volume pada kolom pertama dan penggunaan resin Dowex 1x8-Cl dengan perbandingan HCl 6 M dan metanol sebesar 10 % : 90 % pada kolom kedua dapat meningkatkan rekovery pemisahan uranium.

Rekoveri pemisahan uranium menggunakan resin Dowex 1x8 tanpa methanol telah diperoleh sebesar 68,21 % (penelitian sebelumnya). Sementara itu, penggunaan methanol sebagai media organik dapat meningkatkan rekoveri pemisahan uranium menjadi 90,68 %. Pada kondisi parameter optimal diatas diperoleh kandungan uranium total dalam PEB U_3Si_2/Al TMU 2,96 g/cm³ pasca iradiasi potongan bagian atas sebesar dengan berat 0,4275 µg.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan kepada Ka. PTBBN dan Ka. BUR yang telah menyediakan dana DIPA, rekan rekan kelompok Fisikokimia dan kepada semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini, sehingga penulisan makalah ini dapat terwujud penulisan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. S. Kim, Y. S. Jeon, S. D. Park, S. H. Han, J. G. Kim, "Burnup Determination of high burnup and dry processed fuels based on isotope dilution mass spectrometric measurements", *Journal of Nuclear Science and Technology*, vol. 44, no. 7, pp. 1015-1023, 2007.
- [2] R. R. Heinrich, R. J. Popek, D. L. Bower, "Uranium and Plutonium Determinations for Evaluation of High Burnup Fuel Performance", Analytical Chemistry Laboratory, 1985.
- [3] F. Monroy-Guzman, "Isolation of Uranium By Anionic Exchange Resin", *Journal Chemical Engineering*, vol.10, pp. 90-95, 2016.
- [4] S.K. Jung, S.J. Young, D.P. Soon, K.H. Yeong, S. Kyuseok, "Analysis of high burnup pressurized water reactor fuel using uranium, plutonium, neodymium, and cesium isotope correlations with burnup," *Nuclear Engineering Technology*, vol. 47, pp. 924-933, 2015.
- [5] M. A. Rahman, M. O. Raruk, Shanfiqul, "Application of anion exchange resin for the separation of metal in Tert-butyl-Alcohol water-formic acid medium", *Journal Science* vol. 60 no.1, pp. 15-20, 2012.
- [6] American Standard Test Methods, "Standard test methods for the ion exchange separation of uranium and plutonium prior to isotopic analysis," ASTM C1411-01 vol. 12 no.1, 2000.
- [7] A. B. Ginting, D. Anggraini, "Metode pengendapan dan penukar kation untuk pemisahan cesium dalam bahan bakar U_3Si_2-Al ", *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 22 no. 2, hal. 65-132, 2016.
- [8] Boybul, Yanlinastuti, S. Indaryati, I. Haryati, A. Nugroho, "Penentuan Kandungan Isotop ²³⁵U Dalam PEB U_3Si_2-Al T_MU 2,96 gU/cm³ Untuk Perhitungan Burn Up", *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 21 no. 3, hal. 141-150, 2015.
- [9] A. Bharadwaj and S. D. Bharadwaj, "Anion exchange separation of some lanthanida ions with uranium (VI) using nitrate complexing media", *International Journal of Chemical Sciences*, vol.1 no.1, pp. 67-72, 2003.
- [10] V.Koprda, M. Fojtik, M. Szilaurova, "Anion exchange in mixed solvent system, study of the equilibrium distribution", Research Institute of Industrial Hygiene and Occupational Diseases, 1972.
- [11] Yanlinastuti, Boybul, A. B. Ginting, D. Anggraini, "Pengaruh parameter proses elektrodposisi terhadap penentuan berat isotop ²³⁵U dalam PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi", *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 22 no. 2, 2016.
- [12] S. Usuda, "Studies on rapid ion exchange separation of

- transplutonium elements with mineral acid-metanol mixed media”, Technical Report, JAERI 1315,1989.
- [13] K. Sawada, Y. Enokida, M. Kamiya, T. Koyama, K. Aoki, “Distribution coefficient of U(VI), nitric acid and FP elements in extraction from concentrated aqueous solution of nitrates by 30% Tri-n Butylphosphate solution”, *Journal of Nuclear Science and Technology*, vol 46 no 1, 2009.