

PEMBAKUAN METODE UJI PEMISAHAN DAN ANALISIS ISOTOP Pu DALAM LARUTAN PELAT ELEMEN BAKAR U_3Si_2/Al TMU $4,8 \text{ g/cm}^3$ PASCA IRADIASI

Boybul, Yanlinastuti, Sutri Indaryati
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN

ABSTRAK

PEMBAKUAN METODE UJI PEMISAHAN DAN ANALISIS ISOTOP Pu DALAM LARUTAN PELAT ELEMEN BAKAR U_3Si_2/Al PASCA IRADIASI. Telah dilakukan pembakuan metode pemisahan dan analisis isotop Pu di dalam pelat elemen bakar (PEB) U_3Si_2/Al tingkat muat uranium (TMU) $4,8 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi. Tujuan kegiatan ini adalah melakukan pembakuan metode dengan menyusun beberapa standar operating prosedur (SOP) antara lain: SOP pelarutan pelat elemen bakar U_3Si_2/Al pasca iradiasi, penentuan *recovery* pemisahan dan analisis isotop standar ^{242}Pu menggunakan metode kolom penukar ion, pemisahan dan analisis isotop ^{239}Pu dan ^{238}Pu dalam supernatan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi menggunakan metode kolom penukar ion. Pembakuan metode pemisahan dan analisis isotop Pu di dalam pelat elemen bakar dilakukan terhadap PEB U_3Si_2/Al TMU $2,96 \text{ gU/cm}^3$. Pembakuan metode pemisahan dan analisis isotop Pu di dalam PEB U_3Si_2/Al TMU $4,8 \text{ gU/cm}^3$ belum dilakukan karena PEB tersebut masih berada di reactor. Sampel pelat elemen bakar pada posisi ujung atas dilarutkan menggunakan asam klorida dan asam nitrat. Selanjutnya dilakukan pemisahan isotop Pu dari isotop ^{137}Cs dengan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung. Kemudian isotop Pu dipisahkan dari isotop U yang berada dalam larutan supernatan dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex 1x8 dalam suasana HNO_3 8M. Hasil pemisahan isotop Pu dikenakan proses elektrodeposisi, selanjutnya diukur dengan spektrometer- α . Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan isotop ^{239}Pu di dalam satu gram PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi diperoleh sebesar masing-masing sebesar $T1 = 1,05 \text{ E-05 g}$, $T2 = 8,67 \text{ E-06 g}$ dan $T3 = 7,37 \text{ E-06 g}$ dengan *recovery* pemisahan 65,11%.

Katakunci: PEB U_3Si_2-Al , pasca iradiasi, isotop Pu, penukar kation anion

PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir (PTBBN), khususnya Bidang Uji Radiometalurgi (BUR) mempunyai tugas melaksanakan pengembangan teknologi bahan bakar nuklir meliputi pengujian radiometalurgi, analisis fisiko kimia dan teknik uji pasca irradiasi. Berdasarkan tugas dan fungsinya serta seiring dengan kegiatan penelitian dan pengembangan bahan bakar nuklir jenis reaktor riset, PTBBN-BATAN telah melakukan beberapa penelitian antara lain adalah teknik uji pasca iradiasi atau PIE (*Post Irradiation Examination*) terhadap pelat elemen bakar (PEB) U_3Si_2/Al . Data PIE tersebut dapat digunakan sebagai bahan evaluasi dalam pengembangan dan peningkatan kualitas bahan bakar nuklir PEB U_3Si_2/Al baik dari sisi pabrikasi maupun unjuk kerja selama digunakan sebagai bahan bakar reaktor. Selain itu data PIE juga digunakan untuk mengevaluasi kualitas dan keselamatan sehingga diperoleh bahan bakar yang lebih efektif dan efisien.

Tujuan kegiatan ini adalah untuk mengetahui kandungan isotop Pu dalam PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi dengan metode pemisahan penukar kation^[1] dan penukar anion, sehingga diperoleh kandungan isotop Pu secara kuantitatif dan akurat. Kandungan isotop selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung *burn-up* bahan bakar PEB U_3Si_2/Al .

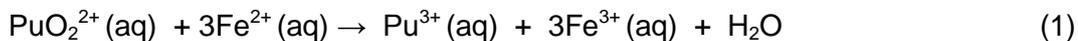
Pemisahan isotop Pu dari isotop U dan lainnya dilakukan dengan metode penukar anion menggunakan resin Dowex 1x8^[2]. Proses pertukaran anion meliputi penyerapan ion-ion kompleks secara selektif dan kuantitatif dan dapat dilakukan dengan penambahan resin penukar anion. Resin adalah senyawa hidrokarbon terpolimerisasi sampai tingkat yang tinggi dan mengandung ikatan-ikatan hubung silang (*cross-linking*) serta gugusan ion-ion yang dapat dipertukarkan. Berdasarkan gugus fungsionalnya, resin penukar ion terdiri dari resin penukar kation dan resin penukar anion. Resin penukar kation, mengandung kation yang dapat dipertukarkan, demikian juga resin penukar anion mengandung anion yang dapat dipertukarkan pula. Penukar ion adalah pertukaran ion-ion secara *reversible* antara cairan dan padatan, sehingga ada ion yang berada di fasa padat dan ada ion yang berada dalam fasa cair^[3].

Penukar ion yang digunakan dalam suatu analisis harus memiliki beberapa sifat kesamaan dan mengandung ion-ion aktif. Ion-ion lawan yang dapat bertukar secara *reversibel* dengan ion-ion lain dalam larutan yang mengelilinginya tanpa terjadi perubahan fisika. Ion-ion aktif berupa kation-kation dalam penukar kation dan anion-anion dalam penukar anion. Pertukaran ion dapat dilakukan dengan cara pengocokan dalam wadah botol sampel, fase padat dan fase cair dan dapat dipisahkan dengan cara dekantasi atau dipipet, dapat juga melalui pertukaran dengan cara dialirkan melalui kolom. Pemisahan menggunakan kolom penukar ion, larutan yang melalui kolom disebut *influent*, sedangkan larutan yang keluar kolom disebut *effluent*. Proses pertukarannya adalah proses serapan atau adsorbs dan proses pengeluaran ion adalah elusi atau desorpsi. Mengembalikan resin yang sudah digunakan ke bentuk semula disebut regenerasi, sedangkan proses pengeluaran ion dari kolom dengan pelarut yang sesuai disebut elusi dan pereaksinya disebut *eluent*. Banyaknya ion yang dapat terserap dalam kolom pada proses pemisahan dinyatakan sebagai banyaknya miliekivalen ion yang terikat dengan resin dan tertahan di dalam kolom tergantung kepada beberapa variabel, seperti tipe resin, afinitas penukaran ion, komposisi larutan, ukuran partikel, dan laju aliran^[3].

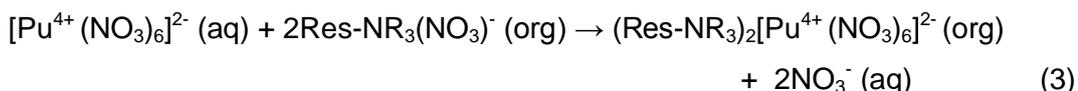
Larutan PEB U_3Si_2-Al dalam suasana asam nitrat 8M dilewatkan pada kolom penukar anion berisi resin Dowex 1x-8- NO_3 , sehingga isotop Pu terikat oleh resin dan isotop U bersama pengotor lainnya keluar dari kolom sebagai *effluent*. Isotop Pu yang terikat resin dielusi dengan campuran HCl dan HF sehingga diperoleh *effluent* yang

mengandung isotop Pu. Mekanisme reaksi pertukaran ion yang terjadi dijelaskan pada proses sebagai berikut:

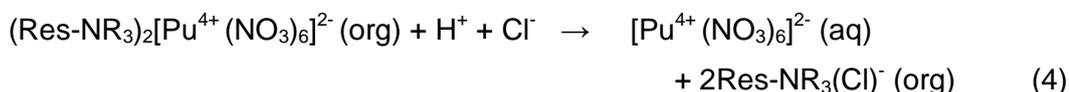
Pertama-tama ion Pu direduksi oleh ion fero, kemudian dioksidasi menggunakan asam nitrat menjadi ion Pu valensi 4 dalam bentuk kompleks nitrat melalui reaksi redoks seperti persamaan (1) dan (2).



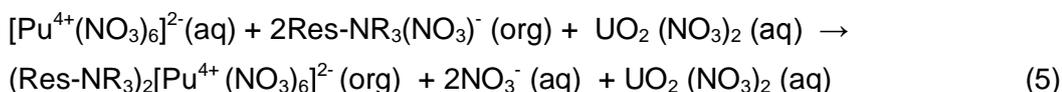
Selanjutnya dengan resin terjadi reaksi pertukaran ion menjadi kompleks Pu nitrat resin mengikuti reaksi (3).



Kompleks Pu-nitrat resin dilusi menggunakan eluen HCl 0,36M sehingga isotop Pu keluar dari kolom sebagai efluent seperti reaksi (4).



Reaksi pertukaran ion uranium terjadi melalui dua tahap yaitu: pertama pemisahan dari isotop Pu dan kedua pemisahan dari pengotor lainnya^[4]. Reaksi kimia pemisahan isotop U dari Pu terjadi sesuai persamaan (5),

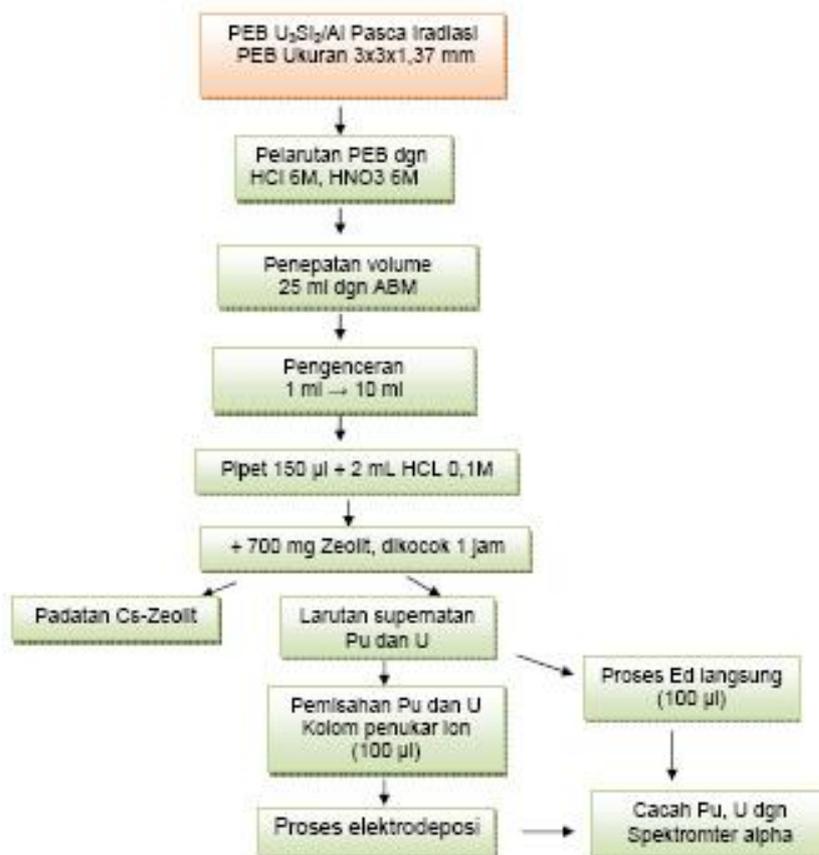


Efluent Pu dipanaskan sampai kering dan dilarutkan dengan asam nitrat untuk selanjutnya dilakukan proses elektrodeposisi.

Elektrodeposisi (ED) merupakan cara pengendapan elektrokimia dan terjadi pembentukan endapan logam pada katoda dengan bantuan energi listrik melalui suatu elektrolit. Sistem tersebut sangat bergantung pada potensial reduksi dari ion-ion yang terdapat dalam larutan media terhadap potensial reduksi ion logam yang akan dianalisis. Bilamana sejumlah arus dialirkan ke dalam larutan (dalam sistem elektrokimia) dengan rapat arus sekitar 0,01A/cm², maka akan dihasilkan potensial-lebih dan timbul gas O₂ atau H₂. Kenaikan potensial-lebih dari katoda dan anoda semakin tinggi sehingga mengakibatkan temperatur naik, sedangkan rapat arus akan menurun secara kontinu. Proses reduksi-oksidasi berlangsung sambil terjadi perubahan konsentrasi hingga dicapai kesetimbangan, sampai ion logam terendapkan pada katoda secara sempurna yang ditandai dengan tidak terdapat lagi campuran larutannya^[5,6]. Hasil endapan logam Pu pada katoda hasil proses ED dapat diukur menggunakan spektrometer-α.

METODOLOGI

Ruang lingkup penelitian diawali dengan pencuplikan dan pelarutan sampel PEB U_3Si_2/Al tingkat muat $4,8 \text{ gU/cm}^3$ pada bagian ujung atas, tengah dan bawah dari PEB. Pemisahan isotop Pu dan U dari isotop ^{137}Cs dilakukan dengan metode penukar kation dan pemisahan isotop Pu dari U dan pengotor lainnya dilakukan dengan metode penukar anion. Isotop Pu dikenakan proses ED dan selanjutnya dilakukan pengukuran menggunakan spektrometer- α . Langkah-langkah pelaksanaan penelitian tercantum dalam diagram alir penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur analisis isotop Pu dalam pelat elemen bakar U_3Si_2-Al pasca iradiasi

Penentuan efisiensi detektor spektrometer- α

Dalam usaha mendapatkan hasil pengukuran yang akurat terhadap isotop Pu, terlebih dahulu harus diketahui parameter pengukuran yang optimum menggunakan spektrometer- α . Kalibrasi energi dan efisiensi detektor spektrometer- α dilakukan dengan pengukuran standar titik padatan isotop AMR-43 yang mengandung isotop campuran ^{241}Am , ^{243}Cm dan ^{239}Pu . Hasil pengukuran sampel standar isotop AMR-43 digunakan untuk mengetahui efisiensi detektor spektrometer- α dengan menggunakan rumus^[7,8]:

$$eff = \frac{C_i}{Akt \times I_i} \quad (6)$$

$$Akt = \frac{\text{laju cacah (cps)}}{I_i \times eff} \quad (7)$$

$$W = \frac{Akt \times BA}{\lambda \times NA} \quad (8)$$

dengan:

- C_i : jumlah cacahan per detik
- I_i : faktor *yield* intensitas dari isotop-i (lihat daftar tabel isotop).
- W : jumlah isotop dalam berat tertentu sampel bahan bakar nuklir
- Akt : keaktifan isotop, dps atau Bq
- Eff : efisiensi detektor
- NA : Bilangan Avogadro, $6,02E+23$
- λ : konstanta peluruhan atau $(\ln 2)/T_{1/2}$
- $T_{1/2}$: waktu paruh (isotop $^{239}\text{Pu} = 2,41 \times 10^4$ tahun)

Valiasi metode pemisahan standar isotop ^{242}Pu

Validasi metode pemisahan isotop ^{239}Pu dilakukan dengan menggunakan standar isotop ^{242}Pu . Hasil validasi metode diperoleh *recovery* pemisahan, standar deviasi dan presisi. Standar isotop ^{242}Pu dipipet sebanyak 50 μl dengan kandungan ^{242}Pu sebesar 0,00106 μg dilewatkan ke dalam kolom yang telah berisi resin Dowex dengan berat 1,2 g. Efluen ^{242}Pu yang keluar dari kolom selanjutnya dikenakan proses elektrodeposisi. Kandungan isotop ^{242}Pu selanjutnya dicacah menggunakan spektrometer- α , sehingga diperoleh besar *recovery* pemisahan isotop ^{242}Pu . Hasil optimasi *recovery* ini digunakan untuk perhitungan kandungan isotop Pu hasil pemisahan dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi TMU $4,8 \text{ gU/cm}^3$.

Preparasi Sampel PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi

Preparasi sampel yang dilakukan adalah proses penimbangan, pelarutan dan pengenceran. Potongan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ bagian atas (*top*) yang diberi kode T1 dengan berat PEB 0,095 g, T2= 0,086 g dan T3= 0,087 g. Proses pelarutan dilakukan dengan penambahan HCl dan HNO_3 dalam labu ukur 25 mL dengan 2 (dua) tahap. Pelarutan tahap pertama adalah pelarutan kelongsong AlMg2 dan matrik Al, sedangkan pelarutan berikutnya adalah pelarutan serbuk bahan bakar U_3Si_2 .

Pencuplikan sampel sebanyak 1 mL

Vial yang telah diberi kode T1, T2 dan T3 masing-masing diisi 1 ml sampel. Larutan tersebut ditransfer dari *hotcell* ke R.135 (laboratorium aktivitas sedang) melalui

pintu belakang *hotcell* 112. Larutan tersebut diencerkan menjadi 10 mL, kemudian untuk analisis dilakukan pemipetan sebanyak sebanyak 150 μL dan selanjutnya dilakukan pemisahan isotop Pu dan U dari isotop Cs yaitu dengan menambahkan larutan HCl 0,1 M sebagai pengemban masing-masing sebanyak 2 mL, kemudian ditambahkan zeolit Lampung seberat 700 mg, selanjutnya dilakukan proses penukar kation dengan pengocokan selama 1 jam menggunakan *shaker* dengan kecepatan 1000 rpm, setelah selesai di diamkan selama 24 jam. Hasil proses penukar kation menunjukkan terjadinya pemisahan antara padatan ^{137}Cs -zeolit sebagai fasa padat dan isotop U, Pu dalam fasa cair. Padatan ^{137}Cs -zeolit hasil proses penukar kation dipisahkan dari larutan supernatan dengan cara dipipet larutan supernatannya. Larutan supernatan yang mengandung isotop Pu dan U, selanjutnya dipisahkan dengan metode penukar anion.

Pemisahan isotop Pu dari isotop U dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ dengan kolom penukar anion menggunakan resin Dowex 1x8

Pemisahan isotop Pu dan U di dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi dilakukan menggunakan metode penukar anion dengan penambahan resin DOWEX 1x8. Supernatan sebanyak 100 μL dipanaskan sampai kering, kemudian dilarutkan lagi dengan HNO_3 8M, dan dipanaskan sampai kering, kemudian dilarutkan dengan 8 mL HNO_3 3M dan ditambah 1 tetes 0,1M FeSO_4 , sambil diaduk dan ditambah 3 mL HNO_3 16M, sehingga konsentrasi HNO_3 dalam larutan menjadi 8M. Larutan umpan dilewatkan dengan laju alir 0,5 mL per menit ke dalam kolom penukar anion dengan diameter kolom 0,9 mm yang telah berisi resin DOWEX 1x8 seberat 1,2 g dan telah terkondisikan dengan ion NO_3^- . Isotop Pu terikat oleh resin dan isotop U dan pengotor lainnya keluar sebagai efluent yang ditampung di dalam gelas beker (larutan tersebut digunakan untuk analisis isotop U). Isotop Pu yang terikat dengan resin kemudian dielusi menggunakan campuran HCl 0,36M dan HF 0,01M sebanyak 10 mL. Larutan efluen Pu yang keluar dari kolom ditampung dalam gelas beker, kemudian dipanaskan sampai kering dan ditambah dengan 1 mL HNO_3 pekat dan dipanaskan lagi sampai kering, selanjutnya efluent isotop Pu dikenakan proses ED sebelum dilakukan pengukuran dengan spectrometer- α .

Proses ED hasil pemisahan dengan resin penukar anion

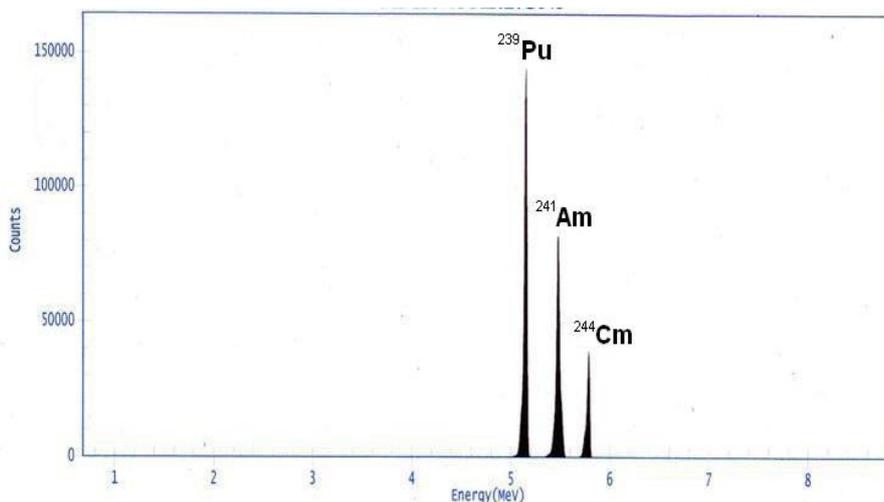
Larutan efluen Pu yang sudah kering ditambah larutan elektrolit $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1M dengan pH 3,5 sebanyak 20 ml. Tuangkan larutan tersebut ke dalam sel ED dan bilas hingga bersih. Pasang kawat logam platina (anoda) ke dalam larutan dengan jarak 1 cm dari katoda (planset SS), kemudian hubungkan elektroda dengan sumber arus 1,4. Hidupkan peralatan proses elektrodposisi berlangsung selama 2,5 jam, setelah itu

tambahkan 1 ml NH_4OH pekat ke dalam sel dan diamkan selama 5 menit. Buang larutan kedalam botol limbah dan cuci sel ED dengan NH_4OH 0,1M. Keluarkan planset dari sel kemudian dibilas dengan NH_4OH 0,1M dan alkohol dan planset dikeringkan. Lakukan pengukuran isotop Pu menggunakan spektrometer- α dengan waktu cacah 20000 detik sehingga diperoleh hasil berupa cacahan per detik (cps) yang selanjutnya diestimasi menjadi besaran berat dari isotop Pu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan efisiensi detektor spektrometer- α

Kalibrasi energi spektrometer- α dan efisiensi detektor ditentukan dengan pengukuran standar isotop AMR-43 yang mengandung isotop campuran ^{241}Am , ^{243}Cm dan ^{239}Pu . Pengukuran dilakukan dengan waktu cacah 1000 detik dan 3 kali pengulangan. Hasil pengukuran standar isotop AMR-43 berupa spektrum isotop ^{239}Pu , ^{241}Am dan ^{243}Cm seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum standar isotop AMR-43 (isotop ^{239}Pu , ^{241}Am , dan ^{244}Cm) Efisiensi detektor spektrometer- α diperoleh sebesar 0,3840 seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Besaran Efisiensi Detektor Spektrometer- α

Isotop	Energi, MeV	Net Area (cacah)	cps	Yield	Aktivitas ^{137}Cs sertifikat, Bq	Efisiensi detektor
^{239}Pu	5,155	621027	621,06	0,73	2215,60	0,3840
		621413				
		62075				
Cacah rerata		621064				

Valiasi metode pemisahan standar isotop ²⁴²Pu

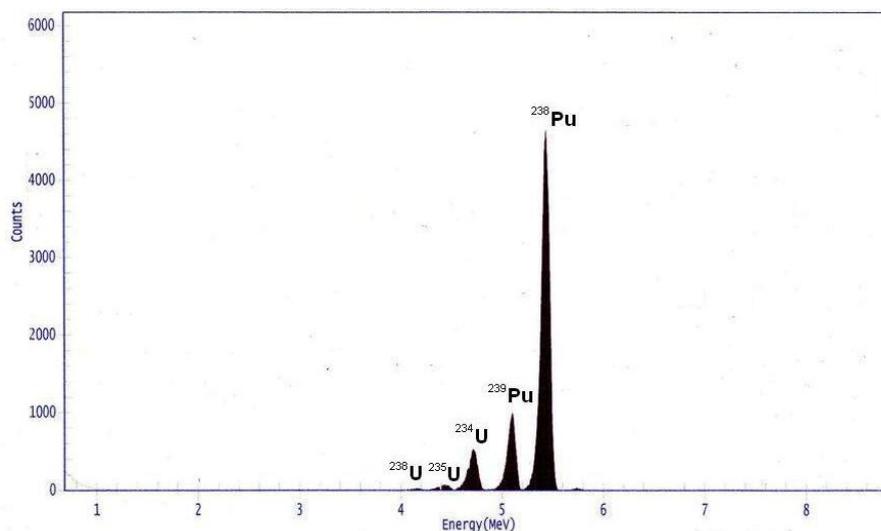
Validasi metode dilakukan untuk mengetahui *recovery* proses pemisahan. Hasil validasi metode pemisahan isotop ²⁴²Pu dengan metode penukar anion diperoleh kandungan isotop ²⁴²Pu dalam 50 µL sebesar 0,00069 µg dengan aktivitas 0,1003 Bq, sedangkan nilai dari sertifikat kandungan isotop ²⁴²Pu di dalam 50 µL standar ²⁴²Pu sebesar 0,00106 µg dengan aktivitas 0,154 Bq. Perbandingan kandungan isotop ²⁴²Pu dari hasil pengukuran dengan sertifikat diperoleh *recovery* analisis sebesar 65,11 %. Hasil ini menunjukkan bahwa proses pemisahan isotop ²⁴²Pu menggunakan kolom penukar ion belum diperoleh hasil yang maksimal, karena *recovery* hasil analisis hanya sebesar 65,11 % seperti terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis standar isotop ²⁴²Pu secara kolom penukar ion

Isotop	Cps	Aktivitas, Bq	N, jumlah atom ²⁴² Pu	Kandungan isotop Sertifikat, µg	Kandungan isotop pengukuran, µg	Recovery, %	RSD, %
²⁴² Pu	0,0285	0,1003	1.72 E+12	0,00106	0,00069	65,11	3,29

Pemisahan isotop ²³⁹Pu dalam supernatan PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi

Langkah awal yang dilakukan untuk analisis kandungan isotop ²³⁹Pu di dalam supernatan PEB U₃Si₂-Al tingkat muat uranium 4,8 gU/cm³ pasca iradiasi adalah pengukuran langsung kandungan ²³⁹Pu (tanpa dilakukan pemisahan) menggunakan spektrometer-α. Hasil pengukuran isotop ²³⁹Pu sebelum ditambah resin Dowex 1x8 diperoleh 2 (dua) spektrum isotop Pu yaitu ²³⁹Pu (Eα= 5,155MeV), ²³⁸Pu (Eα= 5,486MeV), selain isotop Pu diperoleh juga 3 (tiga) spektrum isotop-U yaitu ²³⁸U (Eα=4,194MeV), ²³⁵U (Eα=4,397MeV), dan isotop ²³⁴U (Eα=4,777 MeV) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spektrum isotop Pu (²³⁹Pu dan ²³⁸Pu) dan isotop-U (²³⁴U, ²³⁵U, dan ²³⁸U) sebelum dilakukan pemisahan dengan resin penukar anion

Dari spektrum yang ditunjukkan pada Gambar 3 dapat diketahui kandungan isotop U dan Pu dalam sampel uji dan kandungan isotop di dalam PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi dengan cara menghitung luas spektrumnya masing-masing. Hasil kandungan isotop U dan Pu dalam larutan supernatan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi sebelum dilakukan pemisahan dengan penambahan resin Dowex ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan isotop U dan Pu dalam supernatan sebelum dilakukan pemisahan dengan resin

Sampel	Kandungan isotop dalam sampel uji, μg			Kandungan isotop dalam 1 gram PEB, g		
	^{235}U	^{239}Pu	^{238}Pu	^{235}U	^{239}Pu	^{238}Pu
T1	5378,06	0,5409	0,2526	0,0664	6,68E-06	3,12E-06
T2	4908,08	0,6127	0,2122	0,0564	7,04E-06	2,44E-06
T3	4405,48	0,4435	0,2081	0,0506	5,10E-06	2,39E-06

Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil analisis kandungan isotop U dan Pu dalam supernatan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi sebelum dilakukan pemisahan dengan resin Dowex. Hasil pengukuran isotop tersebut belum sempurna karena isotop U dan Pu dalam larutan masih ada faktor pengganggu atau saling mempengaruhi pada proses analisis. Pengganggu tersebut dimulai dari proses elektrodeposisi sampai dengan pengukuran isotop dengan spektrometer- α . Pengaruh terhadap hasil cacahan tidak hanya disebabkan oleh saling mempengaruhi antara isotop U dan Pu tetapi juga disebabkan oleh unsur lain yang terdapat dalam larutan pasca iradiasi. Adanya isotop atau unsur pengotor tersebut menyebabkan hasil proses elektrodeposisi isotop U dan Pu menjadi tebal, bukan merupakan lapisan tipis seperti yang dikehendaki. Hal tersebut akan berpengaruh terhadap pencacahan dengan spektrometer- α yang mengakibatkan hasil cacahan isotop akan menjadi lebih besar dari yang seharusnya. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pemisahan isotop-isotop tersebut sebelum dilakukan proses elektrodeposisi.

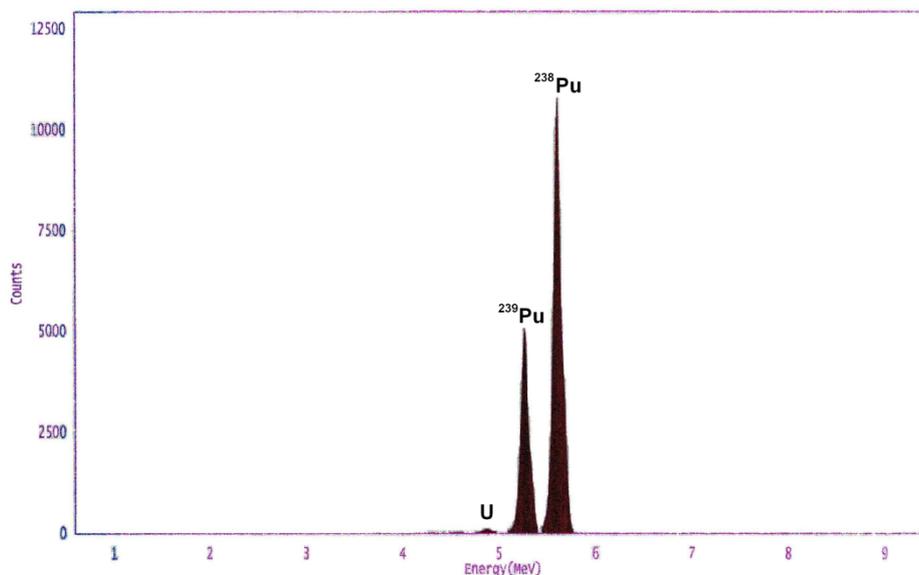
Pada penelitian ini pemisahan isotop U dan Pu dilakukan dengan metode kolom penukar ion dengan penambahan resin Dowex 1x8. Pemilihan resin Dowex 1x8 sebagai bahan penukar ion didasarkan kepada prosedur ASTM C1411-01 dan ASTM C1415-01. Resin Dowex 1x8-Cl mempunyai selektivitas yang sangat tinggi terhadap isotop U dan Dowex 1x8- NO_3 selektif terhadap isotop Pu. Untuk pemisahan isotop Pu dari isotop U digunakan resin Dowex 1x8 dengan larutan HNO_3 8M sebagai bahan media asam, sedangkan untuk melulusi isotop Pu dari resin digunakan campuran larutan HCl 0,36M dan HF 0,01M sebagai eluen^[9].

Pemisahan isotop Pu menggunakan resin Dowex sebagai penukar anion yang dapat ditukarkan dengan anion-anion dalam larutan umpan, dimana umpan terlebih dahulu dikondisikan dalam suasana HNO₃ 8M. Efluen Pu yang keluar dari kolom kemudian dikisatkan dan dilakukan proses elektrodeposisi kemudian dicacah menggunakan spektrometer-α. Hasil analisis isotop Pu dalam supernatan PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi hasil pemisahan dengan resin kolom penukar anion ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil analisis elusi Pu menggunakan eluen HCl 0,36M dan HF 0,01M

Sampel	Kandungan isotop dlm sampel, µg			Kandungan isotop dlm 1 gram PEB, g		
	²³⁵ U	²³⁹ Pu	²³⁸ Pu	²³⁵ U	²³⁹ Pu	²³⁸ Pu
T1	0,07	0,86	0,0023	0,0001	1,05E-05	2,88E-08
T2	0,00	0,75	0,0012	0,0000	8,67E-06	1,39E-08
T3	0,00	0,64	0,0014	0,0000	7,37E-06	1,61E-08

Dari Tabel 4 diketahui bahwa hasil analisis kandungan isotop Pu setelah dilakukan proses pemisahan dengan resin penukar anion menunjukkan hasil yang lebih besar jika dibandingkan dengan pengukuran langsung tanpa dilakukan pemisahan pada Tabel 3. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh isotop uranium dan unsur lain sudah jauh berkurang atau boleh dikatakan hampir tidak ada. Fenomena ini dibuktikan dengan hasil analisis kandungan isotop uranium dalam larutan elusi Pu sangat kecil, bahkan untuk sampel T2 dan T3 kandungan isotop ²³⁵U tidak terdeteksi seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Spektrum hasil elusi isotop Pu dengan eluen HCl 0,36M dan HF 0,01M

Dari data Tabel 4 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa pemisahan isotop Pu dari isotop uranium dan unsur pengotor lainnya dengan metode resin penukar anion menggunakan resin Dowex 1x8 sudah menunjukkan hasil yang baik.

KESIMPULAN

Telah dipersiapkan metoda pengujian dan analisis isotop Pu dalam larutan PEB U_3Si_2/Al TMU $4,8 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi dengan menyusun SOP. Metode uji yang telah dipersiapkan meliputi pelarutan pelat elemen bakar U_3Si_2/Al pasca iradiasi, penentuan *recovery* pemisahan dan analisis isotop standar ^{242}Pu menggunakan metode kolom penukar ion, pemisahan dan analisis isotop ^{239}Pu dan ^{238}Pu dalam supernatan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi menggunakan metode kolom penukar ion. Pembakuan metode dilakukan berdasarkan ASTM dan hasil penelitian terhadap PEB U_3Si_2/Al dengan TMU $2,96 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi. Metode baku yang diperoleh siap digunakan untuk melakukan analisis isotop dalam larutan PEB U_3Si_2/Al TMU $4,8 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi setelah bahan bakar tersebut berada di *hotcell* IRM.

Penentuan kandungan isotop PU yang terdapat di dalam PEB U_3Si_2/Al bagian ujung atas (T1, T2 DAN T3) menggunakan metode penukar kation menunjukkan hasil yang baik, dan telah diperoleh hasil *recovery* pemisahan sebesar 65,11% dengan ketelitian sebesar 3,29 %. Kandungan isotop ^{239}Pu di dalam PEB U_3Si_2/Al diperoleh masing-masing sebesar T1= $1,05 \text{ E-05 G}$, T2 = $8,67 \text{ E-06 G}$ DAN T3 = $7,37 \text{ E-06 G}$.

SARAN

Proses dengan metode kolom penukar ion untuk penentuan isotop Pu dalam larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terutama aspek pengukuran radioaktivitas dan parameter yang digunakan dalam proses pemisahan menggunakan kolom penukar anion, sehingga hasil pemisahan dan pengukuran isotop Pu dapat tertelusur dengan baik dan diperoleh data yang akurat dan valid.

UCAPAN TERIMAKASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

1. S.Amini, D.Anggraini, Y.Nampira, Rosika, Novianti, Dan A.Nugroho, Keselektifan Zeolit Lampung Terhadap Kation-kation Matrik Hasil Fisi Uranium, Jurnal Zeolit Indonesia, ISSN 1411-6723, Vol 2, No.1 9-14,(2003)
2. American Standar Test Methods, C-1411-01.Vol. 12.01, (1992)
3. Iis Haryati, Boybul, "Studi Pemisahan Uranium Dari Larutan Uranil Nitrat Dengan Resin Penukar Anion", Prosiding Seminar Nasional VIII SDM Teknologi Nuklir, Sekolah Tinggi Teknologi Nuklir – BATAN, Yogyakarta, 31 Oktober 2012, ISSN 1978-0176.
4. K.V.Chetty, P.M.Mapara, A.G.Godbole, R.Swaup, , Effect of Mixed Solvent Media on The Sorption and Separation of Uranium and Plutonium on Macroporous Resins, Fuel Chemistry Division Bhabha Atomic Research Center, Trombay, Bombay 400-085, India, (1997)
5. M.H. Lee, C.J. Kim, B. H. Boo, Electrodeposition of Alpha-emitting Nuclides from Ammonium Oxalate-Ammonium Sulfate Electrolyte, Bull. Journal of Korean Chem.Soc. Vol 21 No.2 ,page 175., (2000).
6. O. A. Dumitru, R. Cs. Begy, D. C. Nita, L. D. Bobos, C. Cosma, Uranium Electrodeposition for Alpha Spectrometric Source Preparation, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry (2013) 298:1335–1339
7. A. Nugroho, Boybul, A. Br. Ginting, Pemungutan Isotop Hasil Fisi ^{137}Cs Dan Unsur Bermassa Berat Dari Bahan Bakar U_3Si_2-Al Pasca Iradiasi, Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, Vol. 10, No.1, Juni 2014, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN, 2014.

8. A. Br. Ginting,(2011) Analisis Isotop Transuranium dalam Bahan Bakar U_3Si_2 -Al Pasca Irradiasi Menggunakan Spektrometer Alpha, URANIA, Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir, Vol. 17 No.2, Juni 2011, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN
9. Boybul, Noviarty, Yanlinastuti, “Analisis Isotop Transuranium Dalam Bahan Bakar Nuklir U_3Si_2 -Al Pasca Irradiasi”, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan – BATAN, Yogyakarta, 19 Juli 2011, ISSN 0216-3128.