
PEMISAHAN CESIUM DALAM PEB U_3Si_2/Al DENSITAS 4,8 gU/cm³ PASCA IRADIASI MENGGUNAKAN METODE PENGENDAPAN CHLOROPLATINATE DAN KOLOM PENUKAR KATION RESIN DOWEX

Arif Nugroho, Boybul, Sutri Indaryati, Iis Haryati, Rosika Kriswarini, Erlina Noerpitasari

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN

Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gd.20 Tangerang Selatan, Banten 15314

e-mail: arif52@batan.go.id

(Naskah diterima: 16-10-2020, Naskah direvisi: 21-10-2020, Naskah disetujui: 29-10-2020)

ABSTRAK

PEMISAHAN CESIUM DALAM PEB U_3Si_2/Al DENSITAS 4,8 gU/cm³ PASCA IRADIASI MENGGUNAKAN METODE PENGENDAPAN CHLOROPLATINATE DAN KOLOM PENUKAR KATION RESIN DOWEX. Pelarutan PEB U_3Si_2/Al dilakukan di dalam *hot cell* 109 menggunakan larutan HCl 6 M dan HNO₃ 6 M. Pemisahan cesium dengan uranium dalam larutan uranyl nitrat dilakukan menggunakan metode pengendapan chloroplatinate dan kolom penukar kation. Pada metode pengendapan chloroplatinate, terlebih dahulu dilakukan proses penghilangan unsur-unsur yang akan mengganggu dalam proses pengendapan, selanjutnya dilakukan pemisahan *heavy element* seperti uranium atau plutonium dengan cara mengendapkan isotop ¹³⁷Cs dalam bentuk Cs₂PtCl₆. Kandungan isotop ¹³⁷Cs di dalam endapan Cs₂PtCl₆ diukur menggunakan menggunakan spektrometer-γ. Pada metode kolom penukar kation resin Dowex, larutan uranyl nitrat dipipet sebanyak 150 μL dan ditambah 2 mL aquadest kemudian ditambahkan Cs *carrier* sebanyak 20 μL dan 1 mL HCl 12 M. Campuran larutan tersebut digunakan sebagai umpan dimasukkan ke dalam kolom penukar anion yang berisi resin R-Cl⁻. Efluen yang keluar dari kolom penukar anion dimasukkan ke dalam kolom penukar kation yang berisi resin R-NH₄⁺. Isotop ¹³⁷Cs yang terikat resin R-NH₄⁺ di dalam kolom kemudian dielusi menggunakan HCl 1 M. Efluen kemudian dikisatkan sampai diperoleh volume ± 2 mL. Kandungan isotop ¹³⁷Cs dalam PEB U_3Si_2/Al densitas 4,8 gU/cm³ hasil pemisahan menggunakan metode chloroplatinate untuk potongan *Middle* kode M diperoleh rerata sebesar 0,000557 g/gPEB dan 0,000652 g/gPEB untuk potongan *Bottom* kode B, sedangkan dengan menggunakan metode kolom penukar kation resin Dowex diperoleh sebesar 0,000747 g/gPEB untuk potongan *Middle* kode M, dan 0,000934 g/gPEB untuk potongan *Bottom* kode B. Rekoveri pemisahan ¹³⁷Cs dengan metode kolom penukar anion lebih besar dibandingkan dengan metode pengendapan Cs₂PtCl₆.

Kata kunci: U_3Si_2/Al , chloroplatinate, resin Dowex, ¹³⁷Cs

ABSTRACT

SEPARATION OF CESIUM IN IRRADIATED U_3Si_2/Al FUEL PLATE WITH A DENSITY OF 4.8 gU/cm^3 USING CHLOROPLATINATE DEPOSITION METHOD AND DOWEX RESIN CATION EXCHANGE COLUMN. Dissolution of the U_3Si_2/Al plate was carried out in hot cell 109 using 6 M HCl and 6 M HNO_3 solutions. The separation of cesium and uranium in uranyl nitrate solution was carried out using chloroplatinate deposition method and a cation exchange column. In the chloroplatinate deposition, the process of removing elements that will interfere with the deposition process was performed first, then the separation of heavy elements such as uranium or plutonium was carried out by depositing the ^{137}Cs in the form of Cs_2PtCl_6 . The isotope content of ^{137}Cs in the Cs_2PtCl_6 deposition was measured with a γ -spectrometer. In the Dowex resin cation exchange column method, the uranyl nitrate solution was pipetted 150 μL to be added to 2 mL of aquadest. To this solution was then added 20 μL of Cs carrier and 1 mL of 12 M HCl. The mixture of the solution was used as feed and put into the anion exchange column containing R-Cl resin. The effluent exiting the anion exchange column was fed into the cation exchange column containing R- NH_4^+ resin. The ^{137}Cs isotope bound to R- NH_4^+ resin in the column was then eluted using 1 M HCl. The effluent was compressed until a volume of ± 2 mL was obtained. The isotope content of ^{137}Cs in U_3Si_2 / Al plate obtained as a result of separation using the chloroplatinate method for middle slices coded M has an average of 0.000557 g/g fuel and 0.000652 g/g fuel for the bottom slices coded B, while the Dowex resin cation exchange column method gave an average of 0.000747 g/g fuel for middle slices coded M, and 0.000934 g/g fuel for bottom slices coded B. The recovery of ^{137}Cs separation by the anion exchange column method was greater than that of the Cs_2PtCl_6 deposition method.

Keywords: U_3Si_2/Al , chloroplatinate, Dowex resin, ^{137}Cs .

PENDAHULUAN

U_3Si_2/Al merupakan bahan bakar reaktor riset hasil pengembangan dari bahan bakar jenis oksida U_3O_8/Al yang banyak digunakan di berbagai reaktor riset dan reaktor uji di seluruh dunia [1]. Dalam hal lisensi penggunaannya, bahan bakar ini telah dievaluasi oleh *US Nuclear Regulatory Commission* karena memiliki sifat yang stabil selama proses iradiasi di Reaktor Serba Guna-G.A.Siwabessy (RSG-GAS) [2]. Dalam proses operasi reaktor ^{235}U sebanyak 19,75% mengalami reaksi fisi menghasilkan energi dan isotop-isotop ^{137}Cs , ^{144}Ba dan ^{90}Sr , serta unsur-unsur lain seperti uranium dan plutonium [3,4]. Energi yang diperoleh akibat reaksi fisi tersebut dan laju pembelahan bahan bakar dapat ditentukan menggunakan penentuan derajat bakar (*burn up*) [5,6,7], dan metode radiokimia [8]. Pemisahan dan pengukuran kandungan isotop hasil reaksi fisi merupakan metode radiokimia yang dapat digunakan untuk menentukan nilai *burn up* suatu bahan bakar. Metode ini penting dilakukan untuk mengevaluasi unjuk kerja bahan bakar dengan mengetahui kesesuaian nilai *burn up* yang dihitung menggunakan perangkat lunak *Origen code*.

Penghitungan nilai *burn up* didasarkan pada jumlah isotop hasil fisi, uranium sisa dan hasil reaksi fisi bermassa berat seperti plutonium dan uranium, yang mengakibatkan terjadinya perubahan kandungan isotop uranium dalam bahan bakar. Selain itu, komposisi hasil reaksi fisi terdiri dari isotop pemancar radiasi- γ dengan umur paruh panjang, isotop stabil dan isotop hasil pembelahan ^{238}U yang menjadi ^{239}Pu sebagai pemancar radiasi- α . Semua data yang berkaitan dengan kandungan isotop-isotop tersebut akan bermanfaat dalam penentuan *burn up* suatu bahan bakar.

Menurut studi sebelumnya, analisis komposisi isotop cesium dan uranium yang dianalisis menggunakan metode

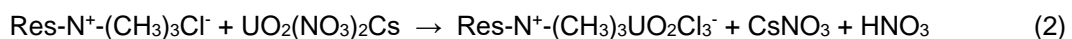
spektrometri massa dan spektrometri- α/γ , dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penentuan nilai *burn up* [9]. Salah satu persyaratan dalam analisis isotop dengan metode spektrometri massa adalah sampel yang dianalisis tidak terdapat unsur lain dengan massa yang sama (isobar) dengan radionuklida yang dianalisis. Hal ini akan menyebabkan gangguan berypa penambahan kontribusi pada tingginya puncak spektrum [10]. Kemampuan spektrometri- α/γ dalam menganalisis isotop pemancar radiasi α maupun γ mengakibatkan radioaktivitas sampel yang terukur menjadi terganggu dan mengakibatkan ketidaksesuaian hasil analisis, sehingga dibutuhkan proses penyiapan dan preparasi sampel untuk memisahkan sampel dari penggangguannya

Dalam penelitian sebelumnya, telah diperoleh reoveri pemisahan ^{137}Cs sebesar 70% dan 98% dalam PEB U_3Si_2/Al densitas $2,96 \text{ gU/cm}^3$ menggunakan metode pengendapan chloroplatinate dan kolom penukar kation resin Dowex [11,12]. Untuk mengembangkan hasil penelitian sebelumnya tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis isotop ^{137}Cs di dalam PEB U_3Si_2/Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ dengan menggunakan metode pengendapan chloroplatinate dan kolom penukar kation resin Dowex, sehingga diharapkan akan diperoleh prosentasi reoveri isotop ^{137}Cs di dalam PEB dengan U_3Si_2/Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ yang lebih besar.

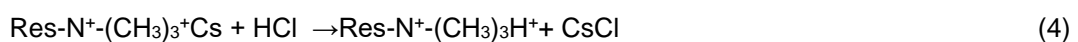
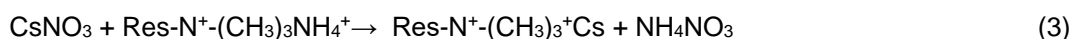
Bahan bakar U_3Si_2/Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ setelah diiradiasi memiliki kandungan isotop pemancar γ yaitu cesium, dan pemancar α yaitu uranium dan plutonium. Keduanya harus dipisahkan karena dapat mengganggu analisis isotop uranium. Proses pemisahan tersebut dilakukan dengan metode pertukaran kation menggunakan zeolit atau resin Dowex, metode pengendapan sebagai $CsClO_4$, pengendapan chloroplatinate, dan ekstraksi [11, 13, 14]. Pada penelitian ini, pemisahan

^{137}Cs dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ dilakukan dengan menggunakan metode pengendapan chloroplatinate dan pertukaran kation menggunakan resin Dowex.

Metode pengendapan chloroplatinate diawali dengan penghilangan pengotor yang dapat mengganggu proses ini, dengan cara menambahkan bahan *carrier* Fe dan NaOH ke dalam larutan uranil nitrat ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$) agar terbentuk endapan coklat $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Setelah ditambahkan dengan asam chloroplatinate pada suhu rendah dibawah 0°C , endapan Cs_2PtCl_6 akan terbentuk, karena asam chloroplatinate memiliki sifat yang selektif terhadap unsur cesium dalam



Berdasarkan persamaan reaksi (2) di atas terlihat bahwa isotop uranium terikat dengan resin anion, sedangkan isotop cesium terlepas bersama larutan HNO_3 . Isotop ^{137}Cs yang terikat di dalam CsNO_3 kemudian dilewatkan ke dalam kolom penukar kation Dowex (R-NH_4^+). Pada proses pertukaran kation ini, isotop cesium terikat erat dengan resin kation, sedangkan ion ammonium terlepas bersama ion nitrat membentuk amonium nitrat seperti



METODOLOGI

Bahan yang digunakan adalah PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi *burn up* 40%, standar Cs, asam chloroplatinate, FeCl_3 , methyl red, NaOH, CsNO_3 *carrier*, resin Dowex 50Wx8H⁺, resin R-Cl⁻, NH_4OH , HCl, $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, aquadest. Peralatan yang digunakan adalah spectrometer- γ , labu pisah, *hot plate* dan peralatan gelas lainnya. PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ potongan bagian *Middle* (M) dan *Bottom* (B) dipotong secara duplo

larutan uranil nitrat. Senyawa CsNO_3 ditambahkan sebagai *carrier* untuk meningkatkan jumlah endapan Cs_2PtCl_6 . Kandungan isotop ^{137}Cs di dalam endapan Cs_2PtCl_6 diukur menggunakan spektrometer- γ . Reaksi yang terjadi pada pengendapan Cs-chloroplatinate mengikuti persamaan reaksi (1) [9].

Pada metode kolom penukar kation resin Dowex, terlebih dahulu unsur-unsur *heavy element* di dalam larutan uranil nitrat ($\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$) seperti uranium dipisahkan dengan cesium menggunakan kolom penukar anion Dowex (R-Cl⁻). Proses pengikatan uranium ke dalam resin dowex mengikuti persamaan reaksi (2) [15,16,17].

persamaan reaksi (3). Isotop ^{137}Cs yang terikat di dalam resin $\text{Res-N}^+(\text{CH}_3)_3^+\text{Cs}$, kemudian dielusi menggunakan larutan HCl konsentrasi rendah. Larutan HCl konsentrasi rendah akan melepaskan isotop ^{137}Cs [18], reaksi pelepasan isotop ^{137}Cs menggunakan larutan HCl mengikuti persamaan reaksi (4). Kandungan Isotop ^{137}Cs yang terkandung di dalam larutan CsCl, kemudian diukur menggunakan spektrometer- γ .

dengan berat masing masing M-1=0,056 gPEB, M-2=0,075 gPEB, B-1=0,055 gPEB dan B-2=0,024 gPEB, kemudian dilarutkan menggunakan larutan HCl dan HNO_3 . Larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ kemudian dipipet 1 mL untuk dipindahkan dari *hotcell* ke R.135 dan diencerkan menjadi 25 mL dan siap untuk dipisahkan isotope hasil fisinya[19]. Proses pemisahan cesium dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi dilakukan menggunakan dua metode yaitu metode pengendapan chloroplatinate dan kolom penukar kation resin Dowex.

Metode pemisahan cesium dengan pengendapan chloroplatinate

Larutan PEB U_3Si_2-Al densitas 4,8 gU/cm³ dipipet 150 μ L dimasukkan ke dalam beaker gelas, ditambah dengan 2 tetes larutan *carrier* Fe dan 20 ml aquades kemudian diaduk merata. Larutan homogen ditambah NaOH sampai endapan cokelat berhenti terbentuk, kemudian dipanaskan perlahan sampai mendidih dan didinginkan di udara sampai terjadi dua fase sehingga dapat dipisahkan. Larutan supernatan dituang ke dalam tabung *centrifuge* 50 mL dan endapan dibuang sebagai limbah. Ke dalam larutan supernatan ditambahkan 3 tetes larutan indikator metil merah dan HCl tetes demi tetes sampai terbentuk warna merah. Ke dalam larutan ditambahkan 2 tetes larutan *carrier* Fe dan NaOH sampai endapan cokelat berhenti terbentuk, kemudian dipanaskan perlahan-lahan sampai mendidih dan didinginkan sehingga dapat dipisahkan antara fase cair dan endapan. Fase cair yang mengandung ¹³⁷Cs ditambah HCl sampai terbentuk warna merah dan ditambahkan 2 mL larutan asam chloroplatinate dan 10 mL etanol kemudian dinginkan di dalam *ice bath* sehingga terbentuk endapan Cs_2PtCl_6 . Kandungan isotop ¹³⁷Cs di dalam endapan Cs_2PtCl_6 dan supernatan diukur menggunakan spektrometer- γ dengan waktu cacah 500 detik.

Metode pemisahan cesium dengan kolom penukar kation resin Dowex

Langkah awal yang dilakukan untuk pemisahan cesium dengan metode kolom penukar kation adalah mengaktifasi resin Dowex 50Wx8H⁺ menjadi dowex 50Wx8NH₄⁺ dengan cara menambahkan larutan NH₄OH 6 M sebanyak 500 mL ke dalam resin Dowex 50Wx8H⁺ kemudian dinetralkan dengan aquadest pada resin (pH larutan =7). Resin Dowex R-NH₄⁺ atau R-NH₄⁺ yang diperoleh dikeringkan dalam oven pada temperatur 35 °C selama 2 hari. Proses aktivasi

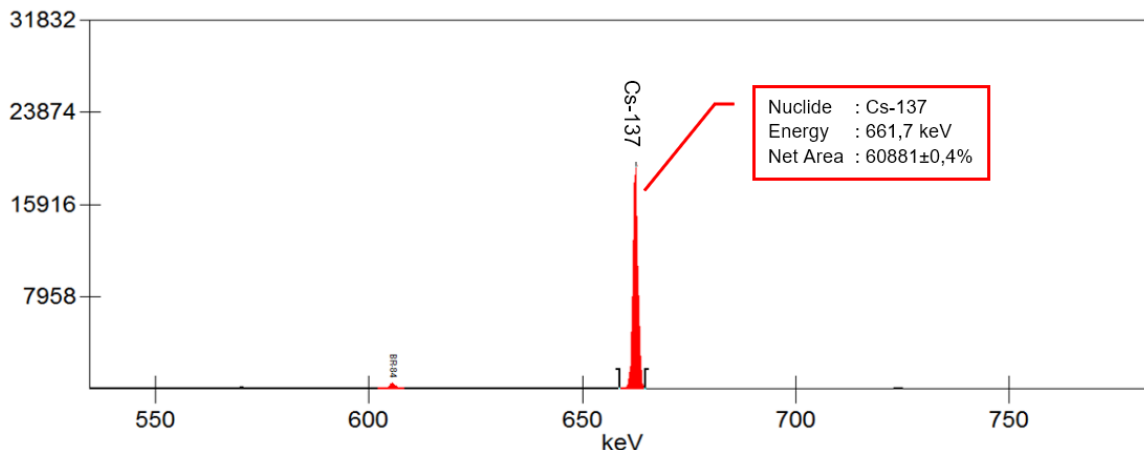
bertujuan agar semua kation yang berada dalam resin R-H⁺ dapat digantikan dengan kation amonium secara homogen atau monokationik R-NH₄⁺. Kation NH₄⁺ mempunyai jari-jari ion 331 pm dan Cs⁺ mempunyai jari-jari ion sebesar 329 pm, sehingga kation Cs⁺ mudah bertukar dengan kation NH₄⁺.

Langkah selanjutnya melakukan pemisahan uranium dengan cesium di dalam larutan PEB U_3Si_2/Al densitas 4,8 gU/cm³ pasca iradiasi. Larutan sampel PEB U_3Si_2/Al dipipet sebanyak 150 μ L kemudian ditambah 2 mL aquadest dan dimasukkan ke dalam botol gelas 10 mL, kemudian ditambah Cs *carrier* sebanyak 20 μ L dan 1 mL HCl 12 M. Campuran larutan diaduk dan dimasukkan ke dalam kolom penukar anion (kolom pertama) yang berisi resin R-Cl⁻ dengan berat 2 g menggunakan pipet kapiler. Pipet kapiler dibilas dengan 2 mL larutan HCl 6 M dan air bilasan dimasukkan kembali ke dalam kolom penukar anion. Proses pembilasan dilakukan 3 kali menggunakan 10 mL HCl 6 M. Larutan yang keluar dari kolom penukar anion ditampung ke dalam beaker gelas, dikisatkan kemudian ditambah 50 μ L HCl 6 M dan 3 mL aquades. Efluen dari kolom pertama dimasukkan ke dalam kolom penukar kation (kolom kedua) yang telah berisi resin R-NH₄⁺ dengan berat 2 g menggunakan pipet kapiler [17]. Pipet kapiler dibilas menggunakan 3 mL air dan air bilasan dimasukkan kembali ke dalam kolom penukar kation. Cesium yang terikat dengan resin R-NH₄⁺ di dalam kolom dielusi secara bertahap menggunakan HCl 1 M 15 mL, H₂C₂O₄ 0,5 M 25 mL dan aquadest 5 mL. Larutan bilasan ditampung dan diukur kandungan isotop ¹³⁷Cs. Tahap akhir, isotop ¹³⁷Cs yang terikat dengan resin R-NH₄⁺ dielusi dengan larutan HCl 1 M sebanyak 25 mL. Efluen yang diperoleh dipanaskan dan dikondisikan menggunakan larutan HCl 6 M sampai diperoleh volume \pm 2 mL. Kandungan isotop ¹³⁷Cs di dalam efluen diukur menggunakan spektrometer- γ dengan waktu cacah 500 detik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum dilakukan proses pemisahan pada pengendapan chloroplatinate, larutan sampel diukur

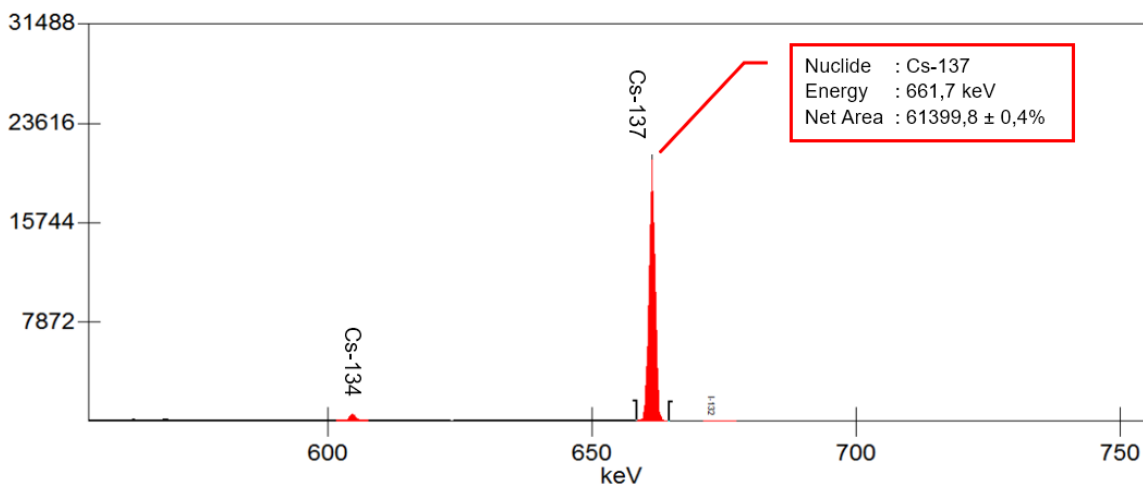
menggunakan spektrometer gamma. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1, yang menampilkan spektrum isotop ^{137}Cs dalam larutan uranil nitrat dengan jumlah cacahan yang ditampilkan dalam Tabel 1.



Gambar 1. Spektrum isotop ^{137}Cs di dalam larutan uranil nitrat sebelum dilakukan pemisahan

Upaya untuk mengetahui efisiensi proses pemisahan isotop ^{137}Cs menggunakan metode pengendapan chloroplatinate digunakan indikator rekoveri. Rekoveri adalah perbandingan antara jumlah kandungan isotop ^{137}Cs di dalam endapan Cs_2PtCl_6 dengan sampel awal (hasil pengukuran langsung). Semakin besar nilai rekoveri, mengindikasikan bahwa metode proses pemisahan semakin baik karena

jumlah isotop ^{137}Cs yang diperoleh semakin besar. Besar cacahan isotop ^{137}Cs dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ kode M-1 dan M-2 hasil pengukuran langsung seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Sementara itu, hasil pengukuran secara kualitatif kandungan isotop ^{137}Cs di dalam endapan Cs_2PtCl_6 menggunakan spektrometer gamma ditunjukkan pada Gambar 2 dan besar rekoveri dapat dilihat pada Tabel 1.



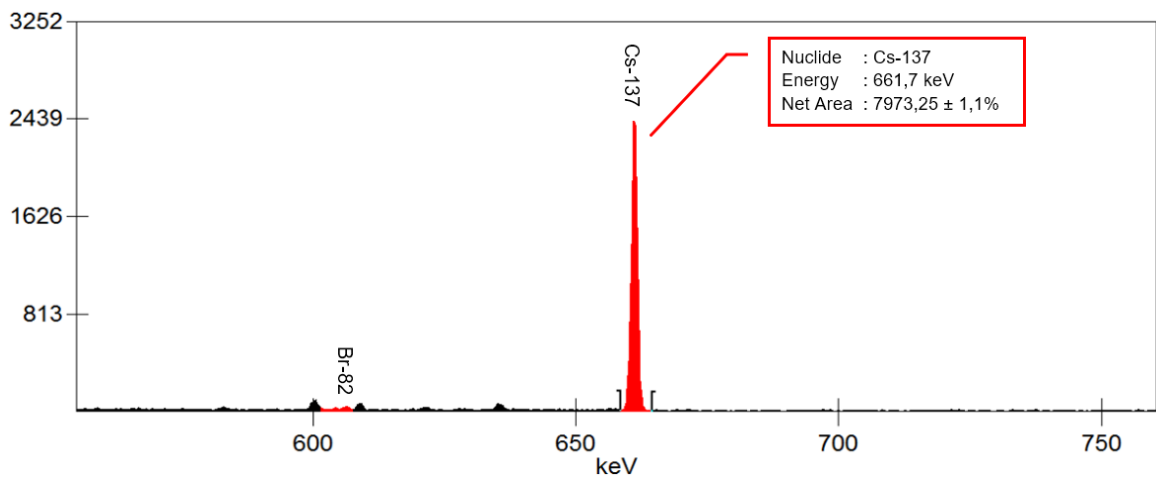
Gambar 2. Spektrum isotop ^{137}Cs di dalam endapan Cs_2PtCl_6

Tabel 1. Rekoveri pemisahan isotop ^{137}Cs di dalam endapan Cs_2PtCl_6

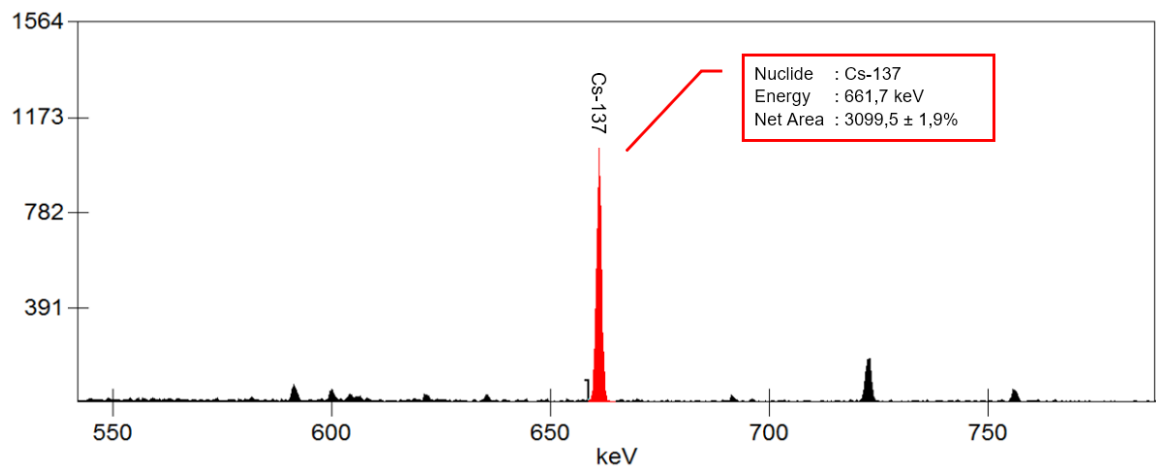
Kode sampel	Kandungan isotop ^{137}Cs (Cps)		Kandungan isotop ^{137}Cs (g/gPEB)		Rekoveri (%)
	Sampel awal	Endapan Cs_2PtCl_6	Sampel awal	Endapan Cs_2PtCl_6	
M1-1	122,1790	123,1690	0,000806	0,000568	70,4065
M1-2	122,2377	122,6004	0,000807	0,000565	70,0478
Rerata M-1				0,0005665	70,2272

Pemisahan ^{137}Cs menggunakan metode pengendapan Cs_2PtCl_6 belum menunjukkan hasil yang maksimal karena masih banyak isotop ^{137}Cs yang terkandung di larutan supernatan dan endapan coklat yang sebenarnya tidak dikehendaki. Upaya yang dilakukan untuk mengetahui keberadaan isotop ^{137}Cs di dalam supernatan dan

endapan coklat dilakukan pengukuran kandungan isotop ^{137}Cs di dalam supernatan dan endapan coklat. Hasil pengukuran kandungan isotop ^{137}Cs di dalam supernatan dan endapan coklat dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4, sedangkan kandungan isotop ^{137}Cs dan rekoveri pemisahan ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3.



Gambar 4. Spektrum isotop ^{137}Cs di dalam supernatan



Gambar 4. Spektrum isotop ^{137}Cs di dalam endapan coklat.

Tabel 2. Rekoveri isotop ^{137}Cs di dalam supernatan

Kode sampel	Kandungan isotop ^{137}Cs (Cps)		Kandungan isotop ^{137}Cs (g/g PEB)		Rekoveri (%)
	Sampel awal	Supernatan	Sampel awal	Supernatan	
M1-1	122,1790	0,0291	0,000806	0,0000002	0,0239
M1-2	122,2377	1,4167	0,000807	0,000009	1,1590
Rerata M-1				0,0000048	0,5914

Tabel 3. Rekoveri isotop ^{137}Cs di dalam endapan coklat

Kode sampel	Kandungan isotop ^{137}Cs (Cps)		Kandungan isotop ^{137}Cs (g/g PEB)		Rekoveri (%)
	Sampel awal	Endapan coklat	Sampel awal	Endapan coklat	
M1-1	122,1790	0,9752	0,000806	0,000004	0,5577
M1-2	122,2377	2,4373	0,000807	0,000011	1,3925
Rerata M-1				0,0000079	0,9750

Tabel 2 dan 3 menunjukkan bahwa nilai rekoveri pemisahan diperoleh sangat kecil, hal ini mencerminkan keberhasilan proses pemisahan dengan metode pengendapan chloroplatinate. Semakin kecil rekoveri di dalam supernatan dan endapan coklat menunjukkan bahwa semakin besar isotop ^{137}Cs yang terendapkan dalam endapan

Cs_2PtCl_6 Dari hasil pengukuran sampel PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ dengan kode M-1 di atas, telah dilakukan analisis menggunakan cara yang sama terhadap sampel dengan kode M-2, B-1 dan B-2, sehingga diperoleh kandungan isotop ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ dengan masing-masing rekoveri seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kandungan isotop ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ dan rekoveri untuk potongan *Middle* (M) dan *Bottom* (B)

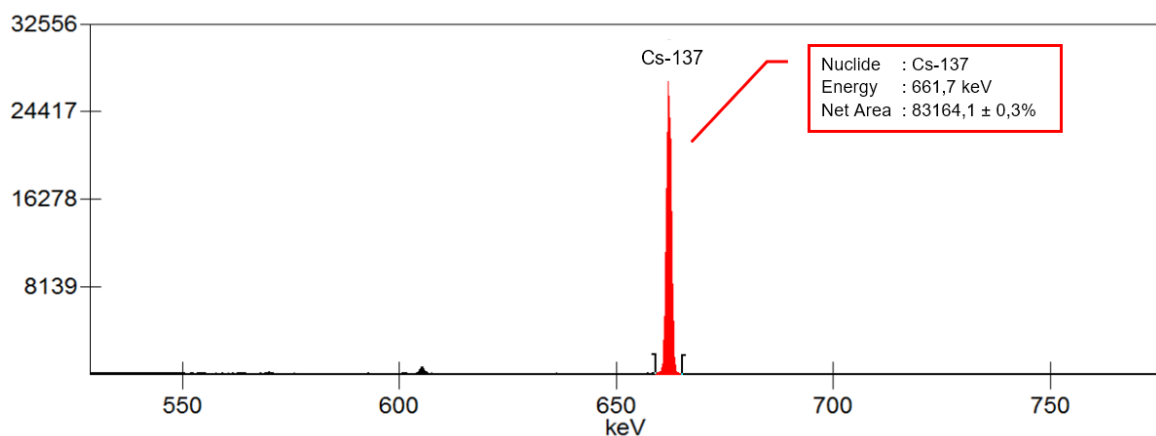
Kode sampel	Kandungan isotop ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ (g/gPEB)				Rekoveri (%)
	Sampel awal	Endapan coklat	Supernatan	Endapan Cs_2PtCl_6	
M1-1	0,000806	0,000004	0,0000002	0,000568	70,4065
M1-2	0,000807	0,000011	0,000009	0,000565	70,0478
Rerata M-1				0,000567	70,2272
M2-1	0,000770	0,0000082	0,0000006	0,000535	69,4252
M2-2	0,000772	0,0000016	0,0000006	0,000557	72,0807
Rerata M-2				0,000546	70,7530
B1-1	0,000943	0,0000034	0,0000005	0,000673	71,3308
B1-2	0,000937	0,0000021	0,0000090	0,000604	64,4014
Rerata B-1				0,000639	67,8661
B2-1	0,000957	0,0000064	0,00000006	0,000661	69,0583
B2-2	0,000957	0,0000036	0,0000006	0,000668	69,7086
Rerata B-2				0,000665	69,3835

Tabel 4 menunjukkan bahwa besar rekoveri yang diperoleh masih belum optimal yaitu sebesar 67,87% sampai 70,75%. Hal ini dimungkinkan oleh faktor preparasi sampel selama proses pengendapan yang belum sempurna dan masih perlu adanya evaluasi terhadap langkah pemisahan sehingga faktor kesalahan dapat diminimalisir terutama masih ada isotop ^{137}Cs yang menempel di dalam peralatan gelas selama pemisahan. Faktor lain adalah pada proses penambahan asam chloroplatinate dan ethanol ke dalam sampel uranyl nitrat yang penambahannya dilakukan secara bergantian, kemungkinan diperlukan adanya jeda waktu yang lebih lama sehingga pembentukan endapan Cs_2PtCl_6 yang diperoleh lebih sempurna.

Hasil perhitungan berdasarkan Tabel 4, diperoleh kandungan isotop ^{137}Cs dalam PEB U_3Si_2/Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ menggunakan metode pengendapan

chloroplatinate, dengan memperhatikan faktor penimbangan, pelarutan dan pengenceran diperoleh berat rerata isotop ^{137}Cs sebesar $0,000557 \text{ g/gPEB}$ untuk potongan *Middle* kode M, dan $0,000652 \text{ g/gPEB}$ untuk potongan *Bottom* kode B.

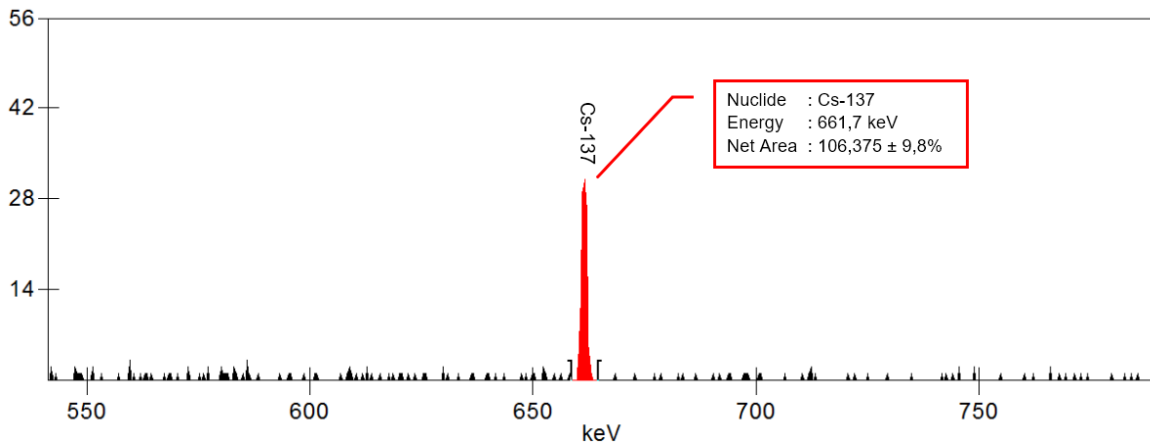
Hasil pemisahan ^{137}Cs menggunakan metode kolom penukar anion (R-Cl) diperoleh kandungan isotop ^{137}Cs yang terikat dalam resin sangat sedikit, sedangkan kandungan ^{137}Cs yang lolos dari kolom cukup besar, sama halnya pada larutan awal seperti yang terlihat pada Gambar 5. Hal ini disebabkan karena resin anion R-Cl tidak dapat mengikat atau bertukar dengan kation cesium. Resin R-Cl dalam bentuk anion hanya dapat mengikat anion uranium $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$ menjadi senyawa kompleks $\text{Res-N}^+(\text{CH}_3)_3\text{UO}_2\text{Cl}_3$, sedangkan isotop ^{137}Cs lolos keluar dari kolom.



Gambar 5. Spektrum ^{137}Cs dalam efluen sebelum melalui kolom penukar anion

Berdasar penelitian sebelumnya, berat resin anion R-Cl yang digunakan sebesar 2 g. Pemilihan larutan HCl 6 M sebagai bahan eluen sangat sesuai untuk mengelusi isotop ^{137}Cs dalam resin anion, sehingga ^{137}Cs dapat berpisah dengan isotop uranium. Fenomena ini menunjukkan bahwa isotop ^{137}Cs sudah keluar dari kolom dan telah terelusi secara sempurna oleh larutan HCl 6 M. Sementara itu, hasil pemisahan ^{137}Cs menggunakan metode kolom penukar

kation (R-NH_4^+) dengan berat resin 2 gram pada kolom kedua (sebelum dielusi) diperoleh efluen-1 yang mengandung ^{137}Cs dalam jumlah sangat kecil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Hal ini menunjukkan isotop ^{137}Cs telah terikat secara sempurna dengan resin R-NH_4^+ membentuk $\text{Res-N}^+(\text{CH}_3)_3^{137}\text{Cs}$ di dalam kolom. Besarnya kandungan ^{137}Cs sebelum dan setelah melalui kolom penukar anion ditunjukkan pada Tabel 5.



Gambar 6. Spektrum isotop ^{137}Cs dalam efluen-1 setelah melalui kolom penukar kation

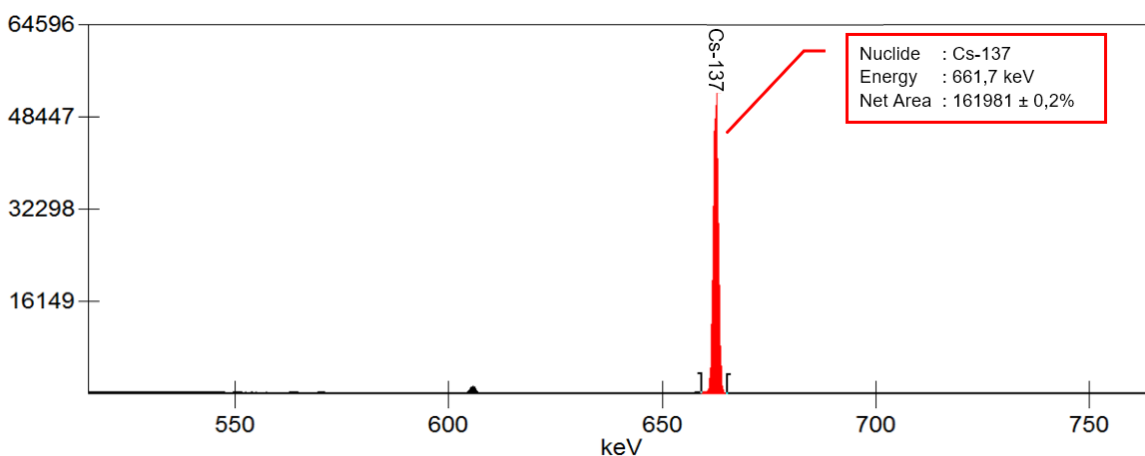
Tabel 5. Kandungan isotop ^{137}Cs sebelum dan sesudah melalui kolom penukar kation

Kode sampel	Kandungan isotop ^{137}Cs dalam potongan <i>Middle</i> (cps)				Rekoveri (%)
	Sampel awal	Sesudah masuk kolom 2 (efluen-1)	Sesudah masuk kolom 2 (efluen-2)	Sesudah masuk kolom 2 (efluen-3)	
M2-1	156,03	0,1296	0,1303	143,5802	92,0220
M2-2	155,90	0,1334	0,1264	146,8366	94,1852
Rerata M-2					93,1036

Tabel 5 menunjukkan bahwa jumlah cacahan per detik isotop ^{137}Cs sebelum melewati kolom penukar kation (umpan) sebesar 155,90 cps hingga 156,03 cps, Namun setelah melewati kolom penukar kation cacahan isotop ^{137}Cs dalam efluen-1 hanya sekitar 0,1296 cps hingga 0,1334 cps. Hal ini menunjukkan bahwa isotop ^{137}Cs telah terikat bersama resin R-NH_4^+ di dalam kolom dan hanya sedikit yang lolos keluar kolom.

Isotop ^{137}Cs yang terikat di dalam resin kation dielusi menggunakan larutan HCl

encer sehingga isotop ^{137}Cs terbawa larutan elusi (eluen) keluar dari kolom sebagai efluen-2 dan efluen-3. Hasil pengukuran kandungan ^{137}Cs di dalam efluen-3 dengan spektrometer gamma diperoleh spektrum ^{137}Cs pada energi 661,45 keV seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Berdasarkan hasil evaluasi luas cacahan dari spektrum isotop ^{137}Cs untuk efluen-3 pada Gambar 7, diperoleh kandungan ^{137}Cs di dalam potongan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ bagian *Middle* (M-2) seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6.



Gambar 7. Spektrum isotop ^{137}Cs dalam efluen-3 setelah melalui kolom penukar kation

Tabel 6. Kandungan isotop ^{137}Cs sebelum dan sesudah masuk kolom penukar kation

Kode sampel	Kandungan isotop ^{137}Cs dalam potongan <i>Middle</i> (g/gPEB)				Rekoveri (%)
	Sampel awal	Sesudah masuk kolom 2 (efluen-1)	Sesudah masuk kolom 2 (efluen-2)	Sesudah masuk kolom 2 (efluen-3)	
M2-1	0,000775	0,000001	0,000001	0,000714	92,1290
M2-2	0,000773	0,000001	0,000001	0,000728	94,1785
Rerata M-2				0,000721	93,1538

Dari hasil pengukuran sampel PEB U_3Si_2/Al dengan kode M-2 di atas, telah dilakukan analisis menggunakan cara yang sama terhadap sampel dengan kode M-1, B-1 dan

B-2 sehingga diperoleh kandungan isotop ^{137}Cs di dalam PEB U_3Si_2/Al potongan *Middle* (M) dan *Bottom* (B) dan rekoveri seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7. .

Tabel 7. Kandungan isotop ^{137}Cs di dalam PEB U_3Si_2/Al dan rekoveri untuk potongan *Middle* (M) dan *Bottom* (B)

Kode sampel	Kandungan isotop ^{137}Cs di dalam PEB U_3Si_2/Al (g/gPEB)				Rekoveri (%)
	Sampel awal	Sesudah masuk kolom 2 (efluen-1)	Sesudah masuk kolom 2 (efluen-2)	Sesudah masuk kolom 2 (efluen-3)	
M1-1	0,000814	0,000001	0,000001	0,000783	96,2836
M1-2	0,000785	0,000001	0,000001	0,000762	97,0013
Rerata M-1				0,000773	96,6425
M2-1	0,000775	0,000001	0,000001	0,000714	92,1290
M2-2	0,000773	0,000001	0,000001	0,000728	94,1785
Rerata M-2				0,000721	93,1538
B1-1	0,000943	0,000001	0,000000	0,000937	99,5580
B1-2	0,000937	0,000001	0,000001	0,000914	96,9796
Rerata B-1				0,000926	98,2688
B2-1	0,000958	0,000001	0,000001	0,000941	98,2450
B2-2	0,000958	0,000001	0,000001	0,000940	98,1044
Rerata B-2				0,000941	98,1747

Tabel 7. menunjukkan bahwa pemisahan ^{137}Cs diperoleh rekoveri pemisahan sebesar 93,1538% sampai 98,2688%. Rekoveri pemisahan ^{137}Cs menggunakan metode kolom penukar anion lebih besar dibanding dengan metode pengendapan chloroplatinate. Semakin besar nilai rekoveri mengindikasikan bahwa metode proses pemisahan semakin baik karena unsur maupun isotop penggangguanya

semakin kecil. Hasil perhitungan berdasarkan Tabel 7, diperoleh kandungan isotop ^{137}Cs dalam PEB U_3Si_2/Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ menggunakan metode kolom penukar anion, dengan memperhatikan faktor penimbangan, pelarutan dan pengenceran diperoleh berat rerata isotop ^{137}Cs sebesar $0,000747 \text{ g/gPEB}$ untuk potongan *Middle* kode M, dan $0,000934 \text{ g/gPEB}$ untuk potongan *Bottom* kode B.

SIMPULAN

Kandungan isotop ^{137}Cs dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ hasil pemisahan menggunakan metode chloroplatinate untuk potongan *Middle* dengan kode M diperoleh rerata sebesar $0,000557 \text{ g/gPEB}$ dan $0,000652 \text{ g/gPEB}$ untuk potongan *Bottom* kode B, sedangkan dengan menggunakan metode kolom penukar kation resin Dowex diperoleh sebesar $0,000747 \text{ g/gPEB}$ untuk potongan *Middle* kode M, dan $0,000934 \text{ g/gPEB}$ untuk potongan *Bottom* kode B. Rekoveri pemisahan ^{137}Cs dengan metode kolom penukar anion lebih besar dibandingkan dengan metode pengendapan Cs_2PtCl_6 .

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ir. Aslina Br. Ginting atas bimbingannya selama penelitian dan juga kepada Sayyidatun Nisa, S.ST dan Ariyanti Saputri, S.Si atas bantuannya di dalam proses pengukuran sampel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A. Zhang and Y. Kang, "Design of $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ plate-type fuel element for China Advanced Research Reactor," *Proceedings of the 18th International Conference on Nuclear Engineering ICONE 18, May 17-21, 2010, Xi'an, China*, pp. 19-25.
- [2]. Supardjo, Boybul, A. Kadarjono, "Pengaruh fabrikasi pelat elemen bakar U-7Mo/Al dengan variasi densitas uranium terhadap pembentukan pori di dalam meat dan tebal kelongsong", *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir Urania*, vol. 8, no. 2, 2012.
- [3]. A. B. Ginting dan D. Anggraini, "Metode pengendapan dan penukar kation pada proses pemisahan cesium dalam bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ ", *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir Urania*, vol. 22 no. 2, Juni 2016.
- [4]. A. B. Ginting, D. Anggraini, A. Nugroho, "Pengaruh penambahan zeolit terhadap pemisahan isotop ^{137}Cs dalam pelat elemen bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi", *Jurnal Teknologi Bahan Bakar Urania*, vol. 7, no. 2, 2011.
- [5]. Y. Nampira, S. Ismarwanti, "Uji tidak merusak bahan Bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ tingkat muat uranium $4,8 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi fraksi bakar 20% dan 40%", *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir*, vol. 10, no.2, hal. 53-64, 2014.
- [6]. A. B. Ginting, Boybul, A. Nugroho, D. Anggraini, R. Kriswarini, "Pemisahan dan analisis ^{137}Cs dan ^{235}U dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi untuk penentuan *burn up*", *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir Urania*, vol. 11, no.2, 2015.
- [7]. H. Okashita and H. Natsume, "A Comparison of radiochemical methods for cesium-137 determination", *Journal of Nuclear Science and Technology*, 1972.
- [8]. D. Anggraini, Noviarthy, Yanlinastuti, A. B. Ginting, R. Kriswarini, A. Nugroho., Boybul, "Pemisahan dan analisis ^{137}Cs dari larutan pelat elemen bakar U-7\%Mo/Al ", *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir Urania*, vol. 22, no. 3, 2016.
- [9]. Boybul, Yanlinastuti, D. Anggraini, A. Nugroho, R.Kriswarini, A. B. Ginting, "Analisis kandungan cesium dan uranium dalam bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi", *Jurnal Teknologi Bahan Nuklir Urania*, vol. 23, no. 2, 2017.
- [10]. T. Dickel, *et al.*, "Isobar separation in a multiple-reflection time-of-flight mass spectrometer by mass-selective re-trapping," *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, vol. 28, pp. 1079-10907, 2017.
- [11]. A. Nugroho, Boybul, S. Indaryati, I.Haryati, R. Kriswarini, A. B. Ginting, "Pemisahan cesium dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $2,96 \text{ gU/cm}^3$ pasca

- iradiasi dengan metode pengendapan chloroplatinate”, *Jurnal Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 25, no. 2, 2019.
- [12]. A. Nugroho, D. Anggraini, Boybul, S. Indaryati, I. Haryati, R. Kriswarini, A. B. Ginting, “Pemisahan cesium dalam PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi dengan metode kolom penukar kation menggunakan resin dowex,” *Jurnal Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 24, no. 2, hal 125-134, 2018.
- [13]. ASTM E-320-79, *Standard Test Methods for Cesium-137 in Nuclear Fuel Solutions by Radiochemical Analysis*, 1972.
- [14]. ASTM E 692-08, *Standard Test Method for Determining the Content of Cesium-137 Irradiated Nuclear Fuels by High Resolution Gamma-Ray Spectral Analysis*, 2008.
- [15]. S. A. Abo-Farha, N. A. Badawy, A. A. Emam and N. M. Moursy, “Anion exchange behavior of some elements in acetic acid-hydrochloric acid media,” *Journal of American Science*, vol. 6, no.10, 2010.
- [16]. J. Real, F. Persin, C. Camarasa Cauret, “Mechanism of desorption cesium and strontium aerosols deposited on urban surfaces,” *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 62, no.1, 2012.
- [17]. Boybul, Yanlinastuti, D. Anggraini, A. B. Ginting, A. Nugroho dan R. Kriswarini, “Pengaruh penambahan ion sulfat terhadap rekoveri pemisahan uranium menggunakan metode kolom penukar anion”, *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 23, no.3, hal 195-204, 2017.
- [18]. A. Lesniewicz, I. Polowczyk, K. Checmanowski, T. Szkozecki, P. Pohl, D. Jermakowicz-Bartkowiak, “Surface activated anion exchange resins for synthesis and immobilization of gold and palladium nano and microstructures,” *Reactive and Functional Polymers Journal*, vol.124, pp. 90-103, 2018.
- [19]. A. Nugroho, Yanlinastuti, S. Indaryati, I. Haryati, “Pemisahan dan analisis isotop cesium dan uranium di dalam PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi,” *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016*, Batam 4-5 Agustus 2016.

