

Urania

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Beranda jurnal: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/urania/>



PEMISAHAN DAN ANALISIS ISOTOP ^{137}Cs DALAM LARUTAN ELEMEN BAKAR UJI $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ DENSITAS $4,8 \text{ gU/cm}^3$ DENGAN *BURNUP* 60% MENGGUNAKAN METODE PENUKAR KATION

Yanlinastuti¹, Arif Nugroho¹, Aslina Br. Ginting¹, Noviarty¹, Boybul¹, Iis Haryati¹, Agus Jamaludin¹, Erlina Noerpitasari¹, Rosika Kriswarini¹

¹Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif – BRIN
Kawasan Sains dan Teknologi B.J. Habibie Gd.20, Tangerang Selatan, Banten 15314
e-mail: yanl001@brin.go.id

(Naskah diterima: 15–09–2022, Naskah direvisi: 29–09–2022, Naskah disetujui: 15–10–2022)

ABSTRAK

PEMISAHAN DAN ANALISIS ^{137}Cs DALAM LARUTAN ELEMEN BAKAR UJI $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ DENSITAS $4,8 \text{ gU/cm}^3$ DENGAN *BURNUP* 60% MENGGUNAKAN METODE PENUKAR KATION. Telah dilakukan pemisahan dan analisis isotop cesium dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ kode CBBJ 250 *burnup* 60% dengan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung dan resin Dowex. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui berat ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ *burnup* 60%. Potongan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pada bagian *Bottom* (B), *Middle* (M) dan *Top* (T) masing-masing secara duplo dilarutkan dengan HCl 6 M dan HNO_3 6 M sehingga diperoleh larutan bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$. Pemisahan ^{137}Cs dengan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung, larutan bahan bakar sebanyak 50 μL dalam suasana 2 mL HNO_3 0,1 M diukur dengan spektrometer gamma untuk mengetahui berat ^{137}Cs awal. Larutan tersebut dimasukkan ke dalam kolom yang telah berisi zeolit Lampung kemudian dialirkan dengan kecepatan 0,3 mL/menit. Hasil pemisahan isotop ^{137}Cs terikat pada zeolit dan efluen mengandung isotop hasil fisi lainnya. Pemisahan menggunakan resin Dowex, larutan bahan bakar ditambahkan Cs *carrier* dan HCl kemudian dimasukkan ke dalam kolom berisi resin R-Cl⁻. Efluen yang keluar dari kolom dimasukkan kembali ke dalam kolom berisi resin R-NH₄⁺. Isotop ^{137}Cs yang terikat resin R-NH₄⁺ di elusi menggunakan HCl 1 M, kemudian diukur isotop ^{137}Cs menggunakan spektrometer gamma. Hasil pengukuran isotop ^{137}Cs pemisahan menggunakan zeolit Lampung diperoleh masing-masing berat isotop ^{137}Cs dengan kode B1=0,1772 $\mu\text{g/g}$; B-2=0,1635 $\mu\text{g/g}$; M-1=0,1395 $\mu\text{g/g}$; T-1=0,1230 $\mu\text{g/g}$ dan T-2=0,1036 $\mu\text{g/g}$ dengan *recovery* sebesar B-1=99,54%; B-2=98,98%; M-1=98,99%; T-1=99,38% dan T-2=98,98%. Sementara itu, berat rerata isotop ^{137}Cs pemisahan dengan resin Dowex diperoleh masing-masing sebesar B-1=0,1575 $\mu\text{g/g}$; B-2=0,1470 $\mu\text{g/g}$; M-1=0,1263 $\mu\text{g/g}$; T-1=0,1140 $\mu\text{g/g}$ dan T-2=0,0952 $\mu\text{g/g}$ dengan *recovery* sebesar B-1=94,80%; B-2=95,35%; M1=97,94%; T-1=98,15% dan T-2=98,89%. Dari berat ^{137}Cs yang diperoleh disimpulkan bahwa metode pemisahan isotop ^{137}Cs dalam larutan bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ menggunakan zeolit Lampung maupun resin Dowex tidak mempunyai perbedaan yang signifikan, sehingga kedua metode tersebut dapat digunakan untuk pemisahan ^{137}Cs dalam bahan bakar nuklir. Hasil analisis ini digunakan melengkapi data untuk menghitung nilai *burnup*.

Kata kunci: pemisahan cesium, penukar kation, $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$, zeolit Lampung, resin Dowex.

ABSTRACT

SEPARATION AND ANALYSIS OF ^{137}Cs ISOTOPE IN $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ OF 4.8 gU/cm^3 FUEL SOLUTION WITH 60% BURNUP BY CATION EXCHANGE METHOD. Separation and analysis of cesium isotope in $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ fuel with a density of 4.8 gU/cm^3 and 60% burnup by cation exchange using Lampung zeolite and Dowex resin has been carried out. The purpose of this research was to determine the weight of ^{137}Cs in the fuel. The $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ fuel pieces by the Bottom (B), Middle (M) and Top (T) sections were dissolved in duplicate with 6 M HCl and 6 M HNO_3 to obtain a $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ fuel solution. The separation of ^{137}Cs started with the measurement $50 \mu\text{L}$ of fuel solution in 2 mL of 0.1 M HNO_3 with a gamma spectrometer to determine the initial weight of ^{137}Cs . The solution was put into a column containing Lampung zeolite and then flowed at a speed of 0.3 mL/minute. The resulting ^{137}Cs isotope was bound to the zeolite and effluent containing other fission isotopes. Dowex resin, Cs carrier, and HCl was added into fuel solution, then put into a column containing R-Cl- resin. The effluent that left the column was put back into the column containing the R-NH $_4^+$ resin. The ^{137}Cs isotope that was bound to R-NH $_4^+$ resin was eluted using 1 M HCl, then the ^{137}Cs isotope was measured using a gamma spectrometer. The results of the ^{137}Cs isotope measurement shows the weight of each sample with code B1=0.1772 $\mu\text{g/g}$; B-2=0.1635 $\mu\text{g/g}$; M-1=0.1395 $\mu\text{g/g}$; T-1=0.1230 $\mu\text{g/g}$ and T-2=0.1036 $\mu\text{g/g}$ with a recovery of B-1=99.54%; B-2=98.98%; M-1=98.99%; T-1=99.38% and T-2=98.98%. Meanwhile, the average weight of the ^{137}Cs isotope separated by Dowex resin was B-1=0.1575 $\mu\text{g/g}$; B-2=0.1470 $\mu\text{g/g}$; M-1=0.1263 $\mu\text{g/g}$; T-1=0.1140 $\mu\text{g/g}$ and T-2=0.0952 $\mu\text{g/g}$ with a recovery of B-1=94.80%; B-2=95.35%; M1=97.94%; T-1=98.15% and T-2=98.89%. It was concluded that the method for separating ^{137}Cs isotopes in $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ fuel solution by using Lampung zeolite and Dowex resin did not have a significant difference. Both methods can be used to separate ^{137}Cs in nuclear fuel. This analysis is used to complement the data to calculate the burnup value.

Keywords: cesium separation, cation exchange, $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$, Lampung zeolite, Dowex resin.

Pemisahan dan Analisis ^{137}Cs dalam Larutan Elemen Bakar Uji $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ Densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ Dengan *Burnup* 60% Menggunakan Metode Penukar Kation (Yanlinastuti, Arif Nugroho, Aslina Br. Ginting, Noviarty, Boybul, Iis Haryati, Agus Jamaludin, Erlina Noerpitasari, Rosika Kriswarini)

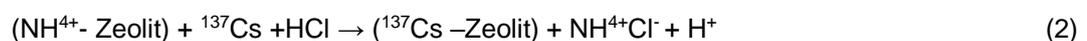
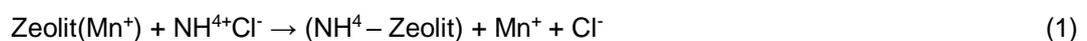
PENDAHULUAN

Elemen bakar uji (EBU) $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ yang berisi tiga pelat elemen bakar/PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ masing-masing dengan densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$, salah satunya kode CBBJ 250 telah diiradiasi di Reaktor Serba Guna G.A.Siwabessy (RSG-GAS) hingga *burnup* 60%. Selama proses iradiasi hingga *burnup* 60 %, EBU tersebut menghasilkan beberapa hasil fisi dan *heavy element* seperti ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{90}Sr , ^{235}U , ^{238}U , ^{234}U , ^{236}U , ^{239}Pu , ^{148}Nd , dan ^{143}Ce [1,2]. Adanya hasil fisi dan *heavy element* tersebut dapat mempengaruhi unjuk kerja bahan bakar, sehingga perlu dibuktikan dengan melakukan uji pasca iradiasi. Pada 26 November 2018, PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ kode CBBJ 250 telah dikirim ke *hot cell* Instalasi Radiometalurgi (IRM) untuk dilakukan uji pasca iradiasi baik secara tidak merusak dan merusak. Uji tidak merusak bertujuan untuk mengetahui adanya *swelling*, cacat pada permukaan, distribusi gamma, ketebalan PEB, sedangkan uji merusak bertujuan untuk mengetahui perubahan struktur mikro yang disebabkan adanya interaksi antara bahan bakar U_3Si_2 dengan matriks Al / kelongsong AlMg2 dan uji fisikokimia untuk mengetahui kandungan isotop hasil fisi seperti uranium dan cesium sebagai pemancar radiasi sinar alpha dan gamma.

Pada penelitian tahun 2020 telah dilakukan uji tak merusak dan merusak terhadap PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ g/cm}^3$ kode CBBJ 251 *burnup* 40% [1],[3]. Hasil uji tak merusak menunjukkan bahwa tidak anomali pada kelongsong maupun PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ akibat iradiasi[3]. Sementara itu, hasil uji merusak

telah diperoleh nilai *burnup* merata untuk bagian *Middle* sebesar 40% dengan menggunakan isotop ^{137}Cs dan ^{235}U sebagai indikator[1]. Untuk melengkapi data uji pasca iradiasi diatas khususnya analisis fisikokimia, maka pada penelitian ini dilakukan pemisahan cesium di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ kode CBBJ 250 dengan *burnup* 60%. Kandungan cesium selanjutnya digunakan untuk perhitungan *burnup*, untuk membuktikan kesesuaian *burnup* yang diperoleh dengan perhitungan *software Origen code*[4].

Beberapa metode dapat digunakan untuk pemisahan isotop ^{137}Cs dalam bahan bakar nuklir diantaranya adalah metode ekstraksi, pengendapan langsung sebagai CsClO_4 dan penukar kation dengan menggunakan zeolit Lampung [4]-[5]. Validasi metode penukar kation menggunakan standar ^{137}Cs SRM 4233E dengan penambahan zeolit Lampung maupun resin mempunyai *recovery* sebesar 99,93%[4],[6]. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan metode penukar kation dengan penambahan zeolit Lampung dan resin Dowex untuk pemisahan cesium dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ kode CBBJ 250 dengan *burnup* 60%. Pemisahan ^{137}Cs dengan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung diperoleh hasil bahwa cesium terikat dengan zeolit dalam fasa padat dan hasil fisi lainnya berada dalam fasa cair seperti persamaan (1) dan (2) [4]-[7]. Kandungan isotop ^{137}Cs dalam fasa padat selanjutnya diukur menggunakan spektrometer gamma sehingga diperoleh berat ^{137}Cs dalam bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ [7].

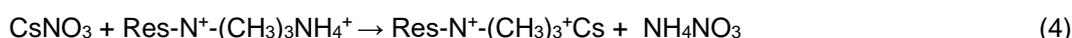
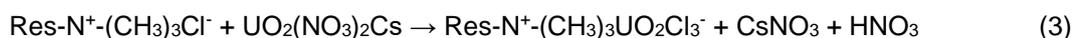


Zeolit memiliki rumus empiris $x/n \text{ Mn} + [(x/n) \text{ AlO}_2 + (y/n) \text{ SiO}_2] \cdot z \text{ H}_2\text{O}$. Mn^+ berupa jenis kation yang dapat bergerak bebas dan dapat disubstitusi oleh kation lain. Zeolit digunakan sebagai bahan penukar kation karena merupakan kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi dan banyak diperoleh di Indonesia. Kerangka dasar struktur zeolit terdiri dari unit tetrahedral AlO_2 dan SiO_2 yang saling berhubungan melalui atom O. Atom Si^{4+}

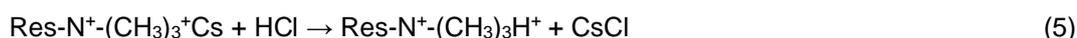
akan digantikan oleh Al^{3+} , sehingga terjadi defisiensi muatan positif. Defisiensi muatan ini akan dinetralkan oleh kation alkali atau alkali tanah, seperti Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} dan Cs^+ di dalam rongganya agar menjadi senyawa yang lebih stabil[7,8]. Fenomena inilah dasar pemisahan isotop ^{137}Cs dengan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung. Pemisahan isotop ^{137}Cs dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ setelah iradiasi menggunakan zeolit Lampung dengan larutan sampel bahan bakar cukup kecil

yaitu $50 \mu\text{L}$. Hal ini dilakukan untuk menghindari paparan radiasi terhadap pekerja radiasi di laboratorium.

Penggunaan metode kolom penukar kation menggunakan resin Dowex untuk pemisahan ^{137}Cs dalam bahan bakar nuklir, terlebih dahulu dilakukan pemisahan isotop uranium dengan metode kolom penukar anion menggunakan Dowex (R-Cl). Proses pengikatan uranium ke dalam resin Dowex mengikuti persamaan reaksi (3) [8]-[10].



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 isotope ^{137}Cs [11],[12],



Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui berat isotop ^{137}Cs dalam EBU $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ kode CBBJ 250 *burnup* 60% dengan metode pemisahan. Pemisahan ^{137}Cs dilakukan dengan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung dan resin Dowex.

METODOLOGI

a. Kalibrasi spektrometer gamma dengan SRM ^{137}Cs

Sebelum melakukan pengukuran ^{137}Cs menggunakan Spektrometer gamma dalam larutan bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ kode CBBJ 250 *burnup* 60%, terlebih dahulu dilakukan kalibrasi Spektrometer gamma. Kalibrasi dilakukan dengan pengukuran larutan standar SRM ^{137}Cs sebanyak 7 (tujuh) kali pengulangan. Hasil kalibrasi akan diperoleh standard deviasi, presisi dan akurasi yang menunjukkan unjuk kerja (*performance*) dari alat tersebut untuk penentuan isotop ^{137}Cs .

b. Pemisahan ^{137}Cs menggunakan zeolit Lampung.

Pelat elemen bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ kode CBBJ 250 *burnup* 60% dipotong pada posisi *Bottom* (B), *Middle* (M) dan *Top* (T) dengan ukuran sekitar $(3 \times 3 \times 1,37) \text{ mm}^3$, kemudian dilarutkan

Berdasarkan persamaan reaksi tersebut 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 NH_4^+ terlepas bersama ion nitrat membentuk amonium nitrat seperti persamaan reaksi (4).

reaksi pelepasan isotop ^{137}Cs menggunakan larutan HCl mengikuti persamaan reaksi (5)[11,12]. Isotop ^{137}Cs yang terkandung di dalam larutan CsCl, kemudian diukur menggunakan Spektrometer gamma.

dengan HCl dan HNO_3 sehingga diperoleh larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ *burnup* 60%. Larutan bahan bakar tersebut kemudian dipipet masing-masing sebanyak $50 \mu\text{L}$ secara duplo dan dimasukkan ke dalam botol vial dengan kode (B), (M) dan Top (T). Ke dalam botol vial tersebut ditambahkan 2 mL HNO_3 0,1 N dan dilakukan pengukuran menggunakan spektrometer gamma untuk mengetahui berat isotop ^{137}Cs sebelum dilakukan pemisahan menggunakan zeolit Lampung. Pemisahan ^{137}Cs dengan metode penukar kation dilakukan dengan cara mengalirkan larutan bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ ke dalam kolom yang berisi zeolit Lampung seberat 700 mg dengan bantuan pompa vakum dengan kecepatan alir $0,3 \text{ mL/menit}$. Hasil pemisahan yang keluar dari kolom berupa fasa air (*supernatant*) mengandung hasil fisi lainnya, sedangkan isotop ^{137}Cs terikat dengan zeolit dalam pada fasa padat berupa Cs-zeolit. Padatan ^{137}Cs -zeolit dan *supernatant* kemudian dianalisis berat ^{137}Cs secara kuantitatif masing-masing sebanyak 3 (tiga) kali pengulangan menggunakan spektrometer gamma pada energi 661,7 keV dengan waktu cacah 500 detik pada jarak 17 cm dari detektor. Hasil cacahan berupa area dilakukan evaluasi untuk penentuan berat ^{137}Cs dan *recovery* pemisahan ^{137}Cs dalam larutan sampel PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ *burnup* 60%.

Pemisahan dan Analisis ^{137}Cs dalam Larutan Elemen Bakar Uji $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ Densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ Dengan *Burnup* 60% Menggunakan Metode Penukar Kation (Yanlinastuti, Arif Nugroho, Aslina Br. Ginting, Noviaty, Boybul, Iis Haryati, Agus Jamaludin, Erlina Noerpitasari, Rosika Kriswarini)

c. Pemisahan ^{137}Cs menggunakan resin Dowex

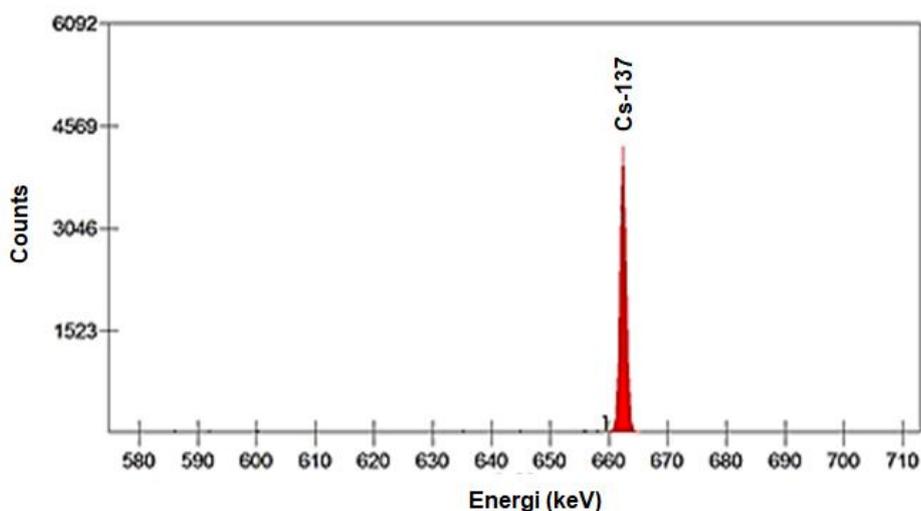
Larutan bahan bakar PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ dipipet $100 \mu\text{L}$ ditambahkan 2 mL air bebas mineral dimasukkan ke dalam botol gelas 10 mL , kemudian ditambahkan Cs *carrier* sebanyak $20 \mu\text{L}$ dan 1 mL HCl 12M , dan diaduk perlahan-lahan hingga homogen. Keseluruhan campuran larutan tersebut dimasukkan ke dalam kolom penukar anion (kolom pertama) yang berisi resin R-Cl⁻ seberat $2,0 \text{ g}$. Larutan yang keluar dari kolom penukar anion dikisatkan hingga mendekati kering, kemudian dibasahi dengan $50 \mu\text{L}$ HCl 6 M hingga terbentuk pasta. Pasta dilarutkan menggunakan air sebanyak 3 mL sambil diaduk merata sehingga diperoleh larutan efluen yang siap dipisahkan kandungan cesiumnya dengan metode kolom penukar kation (kolom kedua), Efluen dari kolom pertama dimasukkan ke dalam kolom berisi resin R-NH₄⁺ dengan berat $2,0 \text{ g}$ kemudian dialirkan dengan kecepatan 3 mL/detik . Cesium yang terikat dengan resin R-NH₄⁺ di dalam kolom, kemudian dielusi secara bertahap. Elusi kolom kation tahap pertama digunakan HCl 1 M sebanyak 15 mL , elusi kedua digunakan H₂C₂O₄ $0,5 \text{ M}$ sebanyak 25 mL dan tahap ketiga digunakan air 5 mL . Larutan bilasan ditampung dan diukur berat isotop ^{137}Cs (^{137}Cs yang lolos). Tahap akhir, isotop ^{137}Cs yang terikat dengan resin R-NH₄⁺ dielusi dengan larutan HCl 1 M sebanyak 25 mL . Efluen Cs dipanaskan di atas *hotplate* lalu ditambah HCl 6 M 3 mL ,

kemudian dikisatkan hingga diperoleh volume $\pm 2 \text{ mL}$. Besarnya berat isotop ^{137}Cs dalam efluen diukur menggunakan Spektrometer gamma dengan waktu cacah 500 detik . Hasil cacahan kemudian dievaluasi untuk mendapatkan *recovery* pemisahan dengan membandingkan hasil pengukuran sebelum dan sesudah pemisahan serta berat ^{137}Cs di dalam sampel PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ *burnup* 60%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil kalibrasi spektrometer gamma

Hasil kalibrasi dengan pengukuran standard SRM ^{137}Cs sebanyak 7 (tujuh) kali pengukuran menggunakan spektrometer gamma diperoleh spektrum ^{137}Cs seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Spektrum hasil pengukuran tersebut, kemudian dievaluasi sehingga diperoleh aktivitas ^{137}Cs hasil pengukuran dan dibandingkan dengan nilai aktivitas ^{137}Cs di dalam sertifikat. Dari perbandingan nilai aktivitas (Bq) tersebut kemudian diperoleh akurasi seperti yang tertera pada Tabel 1. Pada Gambar 1 terlihat bahwa spektrum standar SRM larutan ^{137}Cs hasil pengukuran dengan spektrometer gamma pada energi $661,7 \text{ keV}$, hal ini sesuai dengan spektrum yang terdapat pada rekomendasi data. Spektrum ini selanjutnya digunakan sebagai dasar pengukuran isotop ^{137}Cs yang ada dalam larutan bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ kode CBBJ 250 *burnup* 60% setelah iradiasi.



Gambar 1. Spektrum standar larutan SRM ^{137}Cs pada energi $661,7 \text{ keV}$

Tabel 1. Data Akurasi dan Presisi pengukuran standar SRM ¹³⁷Cs

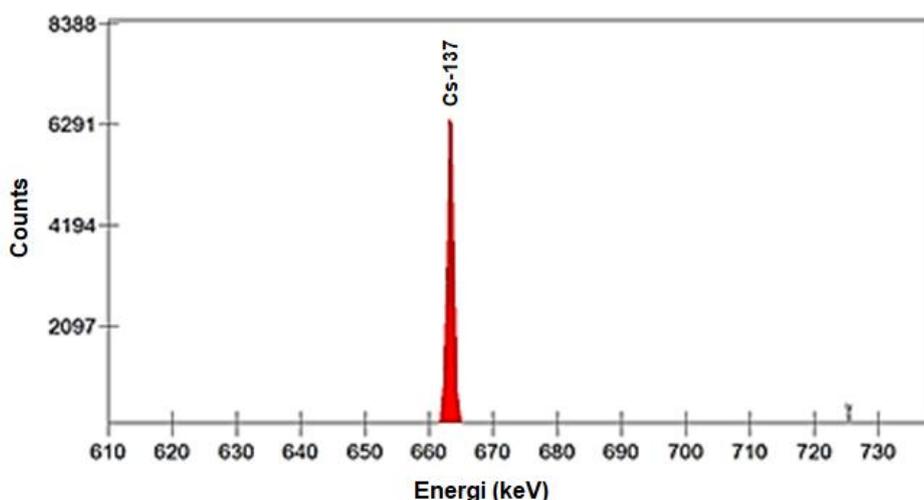
No	Net Area (cacah)	Cacah/detik (cps)	Aktivitas Pengukuran (Bq)	Aktivitas Sertifikat (Bq)
1	39358	39,358	25701,665	25384,49
2	39498	39,498	25793,088	
3	39616	39,616	25870,145	
4	39187	39,187	25589,998	
5	39456	39,456	25765,662	
6	39673	39,673	25907,367	
7	39298	39,298	25662,484	
	Rerata		25755,773	
	SD		113,037	
	RSD (%)		0,439	
	Akurasi (%)		1,463	
	Uji t		1,241	
	t _{tabel}		1,953	
	Kesimpulan hasil t hitung < t tabel		Diterima	

Tabel 1 menunjukkan bahwa data hasil pengukuran menggunakan spektrometer gamma diperoleh aktivitas ¹³⁷Cs rerata sebesar 25755,77 Bq dengan nilai relatif standar deviasi (RSD) cukup kecil yaitu 0,439%, sedangkan aktivitas ¹³⁷Cs dalam sertifikat 25384,49 Bq, dengan akurasi sebesar 1,463% lebih kecil dari 5%. Dengan adanya perbedaan hasil pengukuran dengan nilai yang tercantum pada sertifikat maka perlu dilakukan uji statistik menggunakan uji t dengan nilai konfidensi 95%. Hasil uji t menunjukkan nilai sebesar 1,241 lebih kecil dari pada nilai t_{tabel} (Critical values of student's t distribution, t_{0.05}=1,953)[13]. Artinya tidak ada perbedaan

yang signifikan antara aktivitas hasil pengukuran dengan sertifikat, dengan demikian bahwa hasil pengukuran menggunakan Spektrometer gamma cukup valid digunakan untuk pengukuran ¹³⁷Cs dalam larutan bahan bakar U₃Si₂/Al setelah iradiasi.

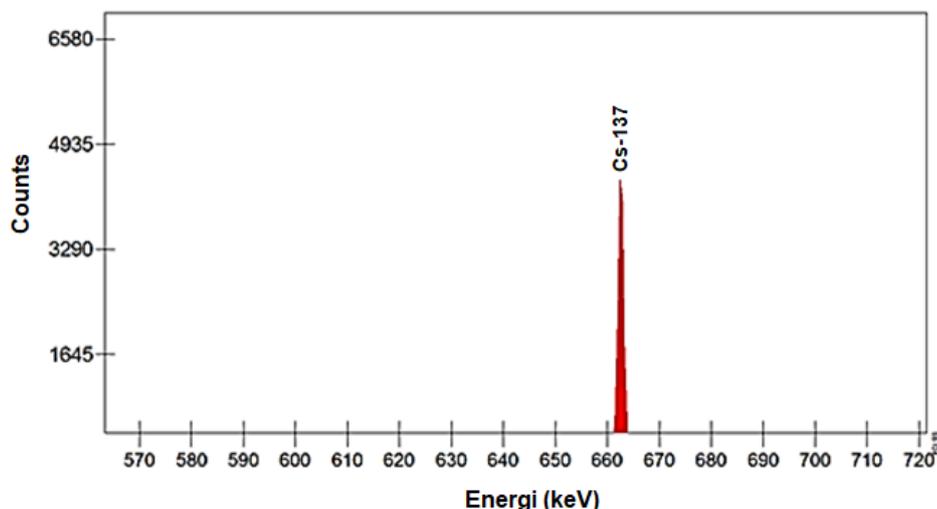
b. Hasil pemisahan ¹³⁷Cs menggunakan zeolit Lampung

Hasil pengukuran ¹³⁷Cs dalam larutan PEB U₃Si₂/Al menggunakan Spektrometer gamma dengan waktu cacah 500 detik sebelum dan sesudah pemisahan diperoleh spektrum ¹³⁷Cs seperti yang terlihat pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Spektrum ¹³⁷Cs dalam larutan bahan bakar sebelum pemisahan

Pemisahan dan Analisis ¹³⁷Cs dalam Larutan Elemen Bakar Uji U₃Si₂/Al Densitas 4,8 gU/cm³ Dengan *Burnup* 60% Menggunakan Metode Penukar Kation (Yanlinastuti, Arif Nugroho, Aslina Br. Ginting, Noviarty, Boybul, Iis Haryati, Agus Jamaludin, Erlina Noerpitasari, Rosika Kriswarini)



Gambar 3. Spektrum ¹³⁷Cs dalam padatan zeolit setelah pemisahan

Spektrum ¹³⁷Cs pada Gambar 2 dan 3 yang dihasilkan pada energi 661,7 keV kemudian dievaluasi untuk mengetahui besarnya berat ¹³⁷Cs sebelum dan sesudah serta *recovery* pemisahan melalui kolom penukar kation menggunakan zeolit Lampung di dalam larutan PEB U₃Si₂/Al densitas 4,8 gU/cm³ *burnup* 60%. Hasil cacahan isotop ¹³⁷Cs sebelum pemisahan diperoleh rerata 34,416 hingga 60,485 cps, sedangkan sesudah pemisahan dengan kolom penukar kation

menggunakan zeolit Lampung diperoleh cacahan isotop ¹³⁷Cs sebesar 34,067 hingga 60,369 cps. Hal ini menunjukkan bahwa isotop ¹³⁷Cs terikat dengan zeolit di dalam kolom sangat baik, dan sedikit yang lolos bersama hasil fisi lainnya dari dalam kolom sebagai supernatan. Hasil cacahan sebelum dan sesudah pemisahan digunakan untuk menghitung berat ¹³⁷Cs di dalam padatan ¹³⁷Cs-zeolit seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data ¹³⁷Cs sebelum dan sesudah pemisahan menggunakan zeolit Lampung

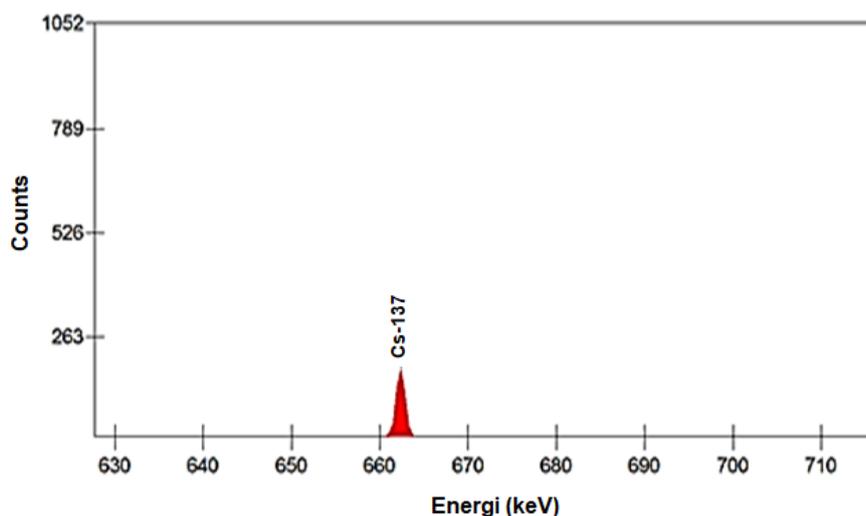
No	Kode Sampel	Net area ¹³⁷ Cs (Cps)		Berat ¹³⁷ Cs (µg/g)		Recovery pemisahan (%)
		Sebelum pemisahan	Sesudah pemisahan	Sebelum pemisahan	Sesudah pemisahan	
1	B1-1	44,007	43,836	0,1770	0,1767	99,83
	B1-2	41,952	41,536	0,1790	0,1776	99,24
	Rerata	42,980	42,686	0,1780	0,1772	99,54
2	B2-1	39,783	39,673	0,1644	0,1631	99,32
	B2-2	40,527	40,228	0,1670	0,1638	98,63
	Rerata	40,155	39,950	0,1657	0,1635	98,98
3	M1-1	34,131	33,659	0,1400	0,1380	98,62
	M1-2	34,701	34,475	0,1420	0,1410	99,35
	Rerata	34,416	34,067	0,1410	0,1395	98,99
4	T1-1	59,892	59,837	0,1227	0,1225	99,91
	T1-2	61,078	60,369	0,1248	0,1234	98,84
	Rerata	60,485	60,103	0,1238	0,1230	99,38
5	T2-1	51,844	51,492	0,1054	0,1047	99,32
	T2-2	51,199	50,496	0,1039	0,1025	98,63
	Rerata	51,521	50,994	0,1047	0,1036	98,98

Tabel 2 menunjukkan bahwa sebelum pemisahan diperoleh berat rerata ^{137}Cs berturut-turut untuk kode B-1=0,1780 $\mu\text{g/g}$; B-2=0,1657 $\mu\text{g/g}$; M-1=0,1410 $\mu\text{g/g}$; T-1=0,1238 $\mu\text{g/g}$; dan T-2=0,1047 $\mu\text{g/g}$, sedangkan sesudah pemisahan diperoleh berat rerata ^{137}Cs berturut-turut sebesar B-1=0,1772 $\mu\text{g/g}$; B-2=0,1635 $\mu\text{g/g}$; M-1=0,1395 $\mu\text{g/g}$; T-1=0,1230 $\mu\text{g/g}$; dan T-2=0,1036 $\mu\text{g/g}$. Berat ^{137}Cs yang diperoleh menunjukkan bahwa pemisahan dengan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung mempunyai selektifitas yang sangat baik untuk mengikat ^{137}Cs . Hal ini dapat dibuktikan juga dengan perolehan *recovery* pada setiap sampel pengukuran ^{137}Cs rerata 98,98 % hingga 99,54%. Fenomena ini menunjukkan bahwa metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung seberat 700 mg dalam 50 μL larutan bahan bakar dapat mengikat isotop ^{137}Cs secara sempurna. Selektifitas isotop ^{137}Cs dengan zeolit dalam fasa padat dibuktikan dengan keberadaan ^{137}Cs dalam supernatan sangat kecil seperti ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 4.

Tabel 3. Berat ^{137}Cs dalam supernatan menggunakan zeolit Lampung

No	Kode sampel	Berat ^{137}Cs ($\mu\text{g/g}$)
1	B1-1	4,837E-06
	B1-2	0,000E+00
	Rerata	2,419E-06
2	B2-1	2,595E-05
	B2-2	1,970E-04
	Rerata	1,115E-04
3	M1-1	0,000E+00
	M1-2	0,000E+00
	Rerata	0,000E+00
4	T1-1	1,063E-04
	T1-2	3,508E-05
	Rerata	7,068E-05
5	T2-1	1,170E-04
	T2-2	2,384E-06
	Rerata	5,968E-05

Tabel 3 terlihat bahwa hasil pengukuran ^{137}Cs dalam supernatan diperoleh berat ^{137}Cs sangat kecil. Hal ini dapat dikatakan bahwa metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung seberat 700 mg dalam 50 μL larutan bahan bakar setelah iradiasi dapat mengikat cesium secara sempurna.



Gambar 4. Spektrum ^{137}Cs dalam supernatan pada energi 661,7 keV.

c. Hasil pemisahan ^{137}Cs menggunakan resin Dowex

Hasil pengukuran ^{137}Cs sebelum dan sesudah pemisahan dengan metode penukar kation menggunakan resin Dowex ditunjukkan pada Tabel 4. Spektrum ^{137}Cs dengan spektrometer gamma diperoleh

berupa cacahan area pada energi 661,7 keV. Hasil cacahan sebelum dan sesudah pemisahan digunakan untuk menghitung berat ^{137}Cs yang terikat dalam resin Dowex seperti yang ditampilkan pada Tabel 4. Tabel 4 terlihat bahwa cacahan isotop ^{137}Cs sebelum pemisahan diperoleh

Pemisahan dan Analisis ^{137}Cs dalam Larutan Elemen Bakar Uji $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ Densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ Dengan *Burnup* 60% Menggunakan Metode Penukar Kation (Yanlinastuti, Arif Nugroho, Aslina Br. Ginting, Noviarty, Boybul, Iis Haryati, Agus Jamaludin, Erlina Noerpitasari, Rosika Kriswarini)

rerata 49,508 cps hingga 86,145 cps, sedangkan cacahan isotop ^{137}Cs sesudah pemisahan dengan kolom penukar kation menggunakan resin Dowex diperoleh cacahan isotop ^{137}Cs rerata 48,963 cps hingga 81,662 cps. Hasil cacahan ini digunakan untuk menghitung berat ^{137}Cs di dalam resin Dowex seperti yang ditampilkan pada Tabel 4. Pada Tabel 4 dapat diketahui bahwa berat ^{137}Cs sebelum melewati kolom penukar kation rerata B-1=0,1575 $\mu\text{g/g}$; B-2=0,1470 $\mu\text{g/g}$; M-1=0,1263 $\mu\text{g/g}$; T-1=0,1140 $\mu\text{g/g}$ dan T-2=0,0963 $\mu\text{g/g}$. Berat ^{137}Cs sebelum pemisahan lebih besar dibandingkan sesudah melewati kolom penukar kation B-1=0,1575 $\mu\text{g/g}$; B-2=0,1541 $\mu\text{g/g}$; M-1=0,1290 $\mu\text{g/g}$; T-1=0,1162 $\mu\text{g/g}$ dan T-2=0,0952 $\mu\text{g/g}$ dengan *recovery* rerata sekitar 94,80% hingga 98,89 %. Hal ini disebabkan karena isotop ^{137}Cs yang terikat di dalam resin kation dielusi menggunakan larutan HCl encer sehingga ^{137}Cs terbawa larutan elusi (eluen) keluar dari kolom sebagai efluen. 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. 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 Res- $\text{N}^+(\text{CH}_3)_3\text{UO}_2\text{Cl}_3$, sedangkan isotop ^{137}Cs lolos keluar dari kolom. Berdasar penelitian sebelumnya, berat resin anion R-Cl yang digunakan sebesar 2 g dan 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 yang mengandung ^{137}Cs dalam jumlah sangat kecil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5. Hal ini menunjukkan isotop ^{137}Cs telah terikat dengan sempurna bersama resin R-NH_4^+ membentuk Res- $\text{N}^+(\text{CH}_3)_3^{137}\text{Cs}$ di dalam kolom. Luas cacahan dari spektrum isotop ^{137}Cs untuk efluen, dievaluasi sehingga diperoleh kandungan ^{137}Cs di dalam potongan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$. Tabel 5 menunjukkan bahwa tidak terdapat isotop ^{137}Cs dalam efluen. Hal ini menunjukkan bahwa metode penukar kation menggunakan resin Dowex seberat 2 g dalam 100 μL larutan bahan bakar sangat selektif untuk pemisahan isotop ^{137}Cs .

Tabel 4. Data ^{137}Cs sebelum dan sesudah pemisahan menggunakan resin Dowex

No	Kode Sampel	Net area ^{137}Cs (Cps)		Berat ^{137}Cs ($\mu\text{g/g}$)		Recovery pemisahan (%)
		Sebelum pemisahan	Sesudah pemisahan	Sebelum pemisahan	Sesudah pemisahan	
1	B1-1	86,473	82,224	0,1664	0,1583	95,10
	B1-2	85,816	81,100	0,1659	0,1567	94,50
	Rerata	86,145	81,662	0,1661	0,1575	94,80
2	B2-1	79,623	76,768	0,1537	0,1482	96,41
	B2-2	80,447	75,847	0,1545	0,1457	94,28
	Rerata	80,035	76,308	0,1541	0,1470	95,35
3	M1-1	68,783	66,891	0,1303	0,1268	97,25
	M1-2	67,322	66,406	0,1276	0,1258	98,64
	Rerata	68,053	66,649	0,1290	0,1263	97,94
4	T1-1	60,195	58,638	0,1171	0,1141	97,41
	T1-2	59,368	58,707	0,1152	0,1139	98,89
	Rerata	59,782	58,673	0,1162	0,1140	98,15
5	T2-1	48,855	47,885	0,0960	0,0941	98,06
	T2-2	50,162	50,041	0,0965	0,0962	99,76
	Rerata	49,508	48,963	0,0963	0,0952	98,89

Tabel 5. Data isotop ^{137}Cs dalam efluen menggunakan resin Dowex.

No	Kode sampel	Berat ^{137}Cs ($\mu\text{g/g}$)
1	B1-1	3,170E-04
	B1-2	3,290E-04
	Rerata	3,230E-04
2	B2-1	3,200E-04
	B2-2	3,340E-04
	Rerata	3,27,E-04
3	M1-1	3,59,E-04
	M1-2	3,62,E-04
	Rerata	3,61,E-04
4	T1-1	3,62E-04
	T1-2	4,52E-04
	Rerata	4,07E-04
5	T2-1	4,20E-04
	T2-2	3,45E-04
	Rerata	3,83,E-04

SIMPULAN

Pemisahan dengan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung diperoleh isotop ^{137}Cs terikat dengan zeolit dalam fasa padat, sedangkan dengan metode kolom penukar kation menggunakan resin Dowex diperoleh ^{137}Cs terikat dengan resin di dalam kolom juga sebagai fasa padat. *Recovery* pemisahan ^{137}Cs menggunakan zeolit diperoleh pada B-1=99,54%; B-2=98,98%; M-1= 98,99%; T1=99,38% dan T-2=98,98%, sedangkan menggunakan resin Dowex diperoleh B-1=94,80%; B-2=95,35%; M-1= 97,94%; T-1=98,15%; dan T-2=98,89%. Berat ^{137}Cs di dalam supernatan pada proses pemisahan baik menggunakan zeolit Lampung maupun resin Dowex yang diperoleh sangat kecil. Metode pemisahan ^{137}Cs dengan penukar kation menggunakan zeolit Lampung diperoleh hasil yang lebih baik, karena sampel yang digunakan lebih kecil, prosesnya lebih mudah dan lebih aman bila dibandingkan menggunakan resin Dowex yang proses pemisahannya menggunakan sampel yang lebih banyak, sehingga waktu yang diperlukan lebih panjang dan mengakibatkan berkurangnya isotop ^{137}Cs pada saat proses. Dari data penelitian yang diperoleh menunjukkan bahwa kedua metode diatas dapat digunakan untuk pemisahan ^{137}Cs di dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$. Hasil analisis ini digunakan melengkapi data untuk mengitung nilai *burnup* bahan bakar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bpk Ir. Supardjo MT, ibu Sutri Indaryati dan rekan-rekan yang telah membantu pelaksanaan penelitian, sehingga dapat dituangkan dalam makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. A. B. Ginting, Supardjo, Yanlinastuti, S.Indaryati, Boybul, "Perhitungan *burn up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi potongan bagian *middle*," *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 25, no. 2, hal. 91–106, 2020.
- [2]. A. B. Ginting dan D. Anggraini, "Metode pengendapan dan penukar kation untuk pemisahan cesium dalam bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$," *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 22, no. 2, hal. 65–132, 2016.
- [3]. R. Artika, R. Sigit, A. B. Ginting, Supardjo, "Uji tak merusak pelat elemen bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas uranium $4,8 \text{ gU/cm}^3$ menggunakan radiografi sinar-X digital," *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 25, no. 1, hal. 49–56, 2020.
- [4]. A. B. Ginting, Boybul, A. Nugroho, D. Anggraini, R. Kriswarini, "Pemisahan dan analisis ^{137}Cs Dan ^{235}U dalam pelat elemen bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi untuk penentuan *burn up*," *Jurnal Teknologi Bahan Bakar Nuklir*, vol.11, no.2, 2015.
- [5]. A. Nugroho, D. Anggraini, Noviarty, "Analisis isotop Cs dalam proses pemisahan Cs dengan zeolit menggunakan spektrometri- γ untuk penentuan *burn up*," *Jurnal Teknologi Bahan Bakar Nuklir*, vol. 11, no. 2, 2015.
- [6]. A. Nugroho, D. Anggraini, Boybul, S. Indaryati, I. Haryati, R. Kriswarini, A. B. Ginting, "Pemisahan cesium dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi dengan metode kolom penukar kation menggunakan resin dowex," *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 24, no. 2, hal. 73–134, 2018.
- [7]. D. Anggraini dan R. Kriswarini, "Penentuan isotop Cs dari unsur Cs dalam larutan aktif CsNO_3 ," *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, Vol.15, No.1, 2009.

Pemisahan dan Analisis ^{137}Cs dalam Larutan Elemen Bakar Uji $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ Densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ Dengan *Burnup* 60% Menggunakan Metode Penukar Kation (Yanlinastuti, Arif Nugroho, Aslina Br. Ginting, Noviarty, Boybul, Iis Haryati, Agus Jamaludin, Erlina Noerpitasari, Rosika Kriswarini)

- [8]. H. Okashita and H. Natsume, "A comparison of radiochemical methods for Cesium-137 determination," *Journal of Nuclear Science and Technology*, 2012.
- [9]. 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.
- [10]. 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.
- [11]. Boybul, Yanlinastuti, D. Anggraini, A. B. Ginting, A. Nugroho dan R. Kriswarini, "Pengaruh penambahan ion sulfat terhadap rekovery pemisahan uranium menggunakan metode kolom penukar anion", *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 23, no.3, hal 195–204, 2017.
- [12]. A. Lesniewicz, I. Polowczyk, K. Checmanowski, T. Szkoczlecki, 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.
- [13]. D. Anggraini, Noviarty, Yanlinastuti, A. B. Ginting, R. Kriswarini, A. Nugroho, Boybul, "Pemisahan dan analisis ^{137}Cs dari larutan pelat elemen bakar U-7%Mo/Al," *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 22, no.3, hal. 133–202, 2016.

Pemisahan dan Analisis ^{137}Cs dalam Larutan Elemen Bakar Uji $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$
Densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ Dengan *Burnup* 60% Menggunakan Metode Penukar Kation
(Yanlinastuti, Arif Nugroho, Aslina Br. Ginting, Noviarty, Boybul, Iis Haryati, Agus Jamaludin,
Erlina Noerpitasari, Rosika Kriswarini)

HALAMAN INI DIBIARKAN KOSONG