

PEMISAHAN ZIRKONIUM DALAM LARUTAN PEB U_3Si_2/Al DENSITAS 2,96 gU/cm^3 PASCA IRADIASI MENGGUNAKAN METODE KOLOM PENUKAR ANION

Yanlinastuti, Boybul, Noviarthy, Iis Haryati, Ariyanti Saputri, S. Fatimah, Aslina Br.
Ginting
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir. BATAN-Serpong Tangerang Selatan
email : ellyhasta@yahoo.com

ABSTRAK

PEMISAHAN ZIRKONIUM DALAM LARUTAN PEB U_3Si_2/Al DENSITAS 2,96 gU/cm^3 PASCA IRADIASI MENGGUNAKAN METODE KOLOM PENUKAR ANION. Isotop ^{95}Zr merupakan isotop mempunyai waktu paruh pendek dan sangat stabil digunakan untuk perhitungan *burn up* dalam bahan bakar pasca iradiasi. Pemilihan isotop ini bertujuan untuk mengetahui kandungan hasil fisi dengan waktu paruh pendek dalam bahan bakar pasca iradiasi, sedangkan isotop ^{137}Cs digunakan untuk perhitungan *burn up* yang mempunyai waktu paruh panjang. Dalam usaha untuk mengetahui *burn up* menggunakan waktu paruh pendek dilakukan penelitian dengan menggunakan isotop ^{95}Zr . Dalam bahan bakar pasca iradiasi terkandung hasil-hasil fisi yang mengandung isotop-isotop, untuk itu perlu dilakukan pemisahan. Pemisahan dan pengukuran isotop ^{95}Zr dalam larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex 1x-8 berukuran 100-200 mesh dan pengukurannya menggunakan spektrometer gamma. Dalam penelitian ini digunakan kolom kromatografi dengan tinggi 10 cm, diameter 0,9 cm, fasa diam resin Dowex-1x8, berat resin 1,5 g, dalam suasana H_2SO_4 2M dengan kecepatan alir 0,5 mL/menit, sebagai larutan elusi H_2SO_4 3M. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan isotop ^{95}Zr dalam larutan PEB U_3Si_2/Al densitas 2,96 gU/cm^3 pasca iradiasi. Larutan PEB U_3Si_2/Al densitas 2,96 gU/cm^3 pasca iradiasi dipipet sebanyak 150 μL kemudian dimasukkan ke dalam kolom yang diberi resin Dowex 1x-8 sebanyak 1,5 g sambil dialirkan dengan kecepatan 0,5 mL/menit. Larutan efluen yang mengandung hasil fisi lainnya maupun pengotor ditampung, sedangkan ^{95}Zr yang tertahan di dalam resin di elusi menggunakan larutan H_2SO_4 3M. Efluen hasil elusi diukur dengan spektrometer gamma selama 60000 detik. Diperoleh kandungan isotop ^{95}Zr setelah pemisahan dalam larutan efluen hasil elusi pada energi 724,2 dan 756,7 keV berturut-turut diperoleh untuk kode T-2 = $5,557E-09$ $\mu g/g$; $1,370E-09$ $\mu g/g$; M-3 = $2,062E-08$ $\mu g/g$; $3,866E-08$ $\mu g/g$ dan B-1 = $1,694E-08$ $\mu g/g$; $3,676E-08$ $\mu g/g$ dan dalam efluen pada energi 724,2 dan 756,7 keV masing-masing diperoleh untuk kode T-2 = $2,685E-09$ $\mu g/g$; $7,175E-09$ $\mu g/g$; M-3 = $1,326E-08$ $\mu g/g$; $2,610E-08$ $\mu g/g$ dan B-1 = $1,198E-08$ $\mu g/g$; $1,958E-08$ $\mu g/g$. Kandungan isotop ^{95}Zr yang diperoleh selanjutnya dapat digunakan sebagai masukan untuk perhitungan *burn up*.

Kata kunci : pemisahan, kolom penukar anion, isotop ^{95}Zr , PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi, spektrometer gamma

PENDAHULUAN

Beberapa isotop yang mempunyai waktu paruh panjang dan dapat digunakan sebagai monitor *burn up* adalah ^{235}U , ^{239}Pu , ^{148}Nd , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{90}Sr , ^{143}Ce , sedangkan isotop yang mempunyai waktu paruh pendek adalah ^{103}Ru , ^{95}Zr dan ^{95}Nb (waktu paruh $^{103}\text{Ru} = 371,5$ hari, $^{95}\text{Zr} = 65$ hari dan isotop $^{95}\text{Nb} = 35$ hari^[1,2]). Besarnya kandungan isotop ^{235}U , ^{239}Pu , ^{148}Nd , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{90}Sr , ^{143}Ce , ^{103}Ru , ^{95}Zr , ^{95}Nb dan ^{140}La dalam bahan bakar pasca iradiasi dianalisis menggunakan metode spektrometri gamma^[3]. Peneliti C. Perteda, et.al^[1] dari Chile telah melakukan perhitungan *burn up* menggunakan isotop ^{95}Zr dengan waktu pendinginan 30 hari. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa isotop ^{95}Zr sangat stabil digunakan untuk perhitungan *burn up* untuk isotop yang mempunyai waktu paruh yang pendek. Pemilihan isotop ini bertujuan untuk mengetahui kandungan hasil fisi dengan waktu paruh pendek dalam bahan bakar pasca iradiasi, sedangkan isotop ^{137}Cs biasanya digunakan untuk perhitungan *burn up* yang mempunyai waktu paruh panjang (30,17 tahun). Perbandingan kandungan isotop ^{95}Zr dengan ^{137}Cs dalam perhitungan *burn up* didasarkan kepada besar *fission yield* antara ^{95}Zr dengan ^{137}Cs hampir sama yaitu masing masing 6,49 % untuk ^{95}Zr dan 6,02 % untuk ^{137}Cs . Dari perbedaan *fission yield* tersebut, perlu dilakukan suatu penelitian penggunaan isotop ^{95}Zr untuk perhitungan *burn up* pelat elemen bakar (PEB) $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi yang selama ini telah digunakan sebagai bahan bakar reaktor G.A.Siwabessy (RSG-GAS).

Selama ini, perhitungan *burn up* bahan bakar $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ densitas $2,96 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi dilakukan dengan menggunakan isotop ^{137}Cs dan ^{235}U ^[4]. Beberapa negara menggunakan jenis isotop sebagai indikator *burn up*. Korea menggunakan isotop Nd, U dan Pu, Amerika dan India menggunakan isotop Cs, U dan Pu, sedangkan di Chile menggunakan isotop ^{95}Zr . Di laboratorium IRM telah dilakukan perhitungan *burn up* bahan bakar PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi dengan menggunakan isotop Cs, U dan Pu dengan waktu paruh masing-masing 30,17 tahun dan $2,41 \times 10^4$ tahun untuk isotop ^{137}Cs dan ^{239}Pu , sedangkan isotop U mempunyai waktu paruh yaitu $^{234}\text{U} = 2,45 \times 10^5$ tahun, $^{235}\text{U} = 7,04 \times 10^8$ dan $^{238}\text{U} = 4,48 \times 10^9$ tahun^[6,7].

Upaya untuk menggunakan isotop ^{95}Zr sebagai indikator *burn up* yang menggunakan waktu pendinginan 30 hari perlu dilakukan beberapa kegiatan yang berkaitan dengan penentuan *burn up* PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ antara lain adalah proses pemisahan isotop hasil fisi dengan unsur-unsur bermassa berat yang terkandung di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi seperti pemisahan isotop hasil fisi (Cs, Nd, Ce, Zr)

dan transuranium (U,Pu)^[6]. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pemisahan zirkonium dalam larutan PEB U_3Si_2/Al densitas 2,96 gU/cm^3 pasca iradiasi menggunakan metode kolom penukar anion.

Metode penukar anion dapat digunakan untuk pemisahan zirkonium, hal ini disebabkan karena metode penukar anion memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan metode lainnya diantaranya lebih sederhana, mampu memisahkan unsur dengan konsentrasi rendah (*trace element*) serta limbah yang dihasilkan dalam jumlah sedikit. Resin penukar ion yang digunakan untuk pemisahan berupa campuran senyawa kimia ionik, pada kromatografi pertukaran ion. Pemisahan ini berdasarkan kapasitas penukar ion dimana kemampuan resin dalam mempertukarkan ion sebanding dengan jumlah gugus aktif yang terikat pada resin. Semakin banyak jumlah gugus yang terikat, maka semakin besar nilai kapasitas pertukaran anion yang dihasilkan. Penggunaan metode kolom penukar anion mempunyai dua bentuk umpan yaitu umpan berbentuk Zr-sulfat anion dan resin jenis penukar anion Dowex 1-X8. Resin Dowex 1-X8 merupakan resin jenis basa kuat yang memiliki gugus aktif berbasis *polystyrene* dengan matriks $R-CH_2N+(CH_3)_3$ (resin trimethyl alkyl atau benzyl ammonium type 1) bermuatan Cl yang berbentuk bola^[8,9]. Berdasarkan pustaka^[10] pemilihan umpan berbentuk Zr-sulfat karena mempunyai faktor pemisah lebih besar dibandingkan dalam bentuk Zr-klorida. Selain itu, Zr-sulfat lebih stabil dan kurang korosif dibandingkan dengan Zr-Cl. Untuk mendapatkan $Zr(SO_4)_3^{-2}$ atau anion yang sejenis perlu dilakukan pembuatan zirkonium dalam larutan H_2SO_4 untuk menghasilkan $Zr(SO_4)_{2.4}H_2O$, agar zirkonium dapat dipertukarkan dengan resin penukar anion. Zirkonium dibuat dalam bentuk kompleks anion yaitu $ZrO(SO_4)_2^{-2}$ atau $Zr(SO_4)_3^{-2}$ atau bentuk anion yang lain. Zirkonium anion kompleks akan terikat lebih kuat pada resin Dowex 1-X8, sehingga zirkonium dapat dipisahkan secara mudah dengan cara mengelusi menggunakan H_2SO_4 pada konsentrasi yang lebih tinggi.

Pada penelitian sebelumnya, telah diperoleh parameter optimal untuk pemisahan zirkonium dalam PEB U_3Si_2/Al pra iradiasi menggunakan metode kromatografi penukar anion dan analisisnya dilakukan dengan spektrofotometer UV-Vis^[6]. Dalam penelitian ini digunakan larutan pasca iradiasi yang mempunyai tingkat kontaminasi cukup tinggi, untuk menghindari hal itu dilakukan pengukuran dengan spektrometer gamma menggunakan parameter optimum tersebut. Spektrometer gamma adalah suatu metode pengukuran untuk mengidentifikasi zat radioaktif baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisisnya dilakukan dengan cara mengamati spektrum karakteristik yang ditimbulkan oleh interaksi foton gamma yang dipancarkan

oleh zat radioaktif tersebut dengan detektor. Interaksi foton gamma dengan detektor akan menghasilkan signal pulsa, dimana tinggi pulsa tersebut sesuai dengan energi foton gamma yang mengenai detektor. Signal pulsa tersebut selanjutnya diproses secara elektronik dalam serangkaian peralatan yang membentuk perangkat spektrometri gamma^[11]. Biasanya dalam pengujian bahan bakar nuklir pasca iradiasi di IRM, spektrometer gamma digunakan sebagai teknik untuk menganalisis isotop-isotop hasil fisi pemancar gamma seperti isotop ¹³⁷Cs, namun pada penelitian ini tidak hanya digunakan untuk analisis isotop ¹³⁷Cs, tetapi digunakan juga untuk penentuan isotop ⁹⁵Zr. Kandungan isotop ⁹⁵Zr yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk penghitungan *burn up* PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan isotop ⁹⁵Zr dalam larutan PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi melalui pemisahan dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex 1-x8. Besar kandungan isotop ⁹⁵Zr hasil pemisahan kemudian diukur menggunakan spektrometer gamma untuk selanjutnya digunakan dalam perhitungan *burn up*.

METODOLOGI

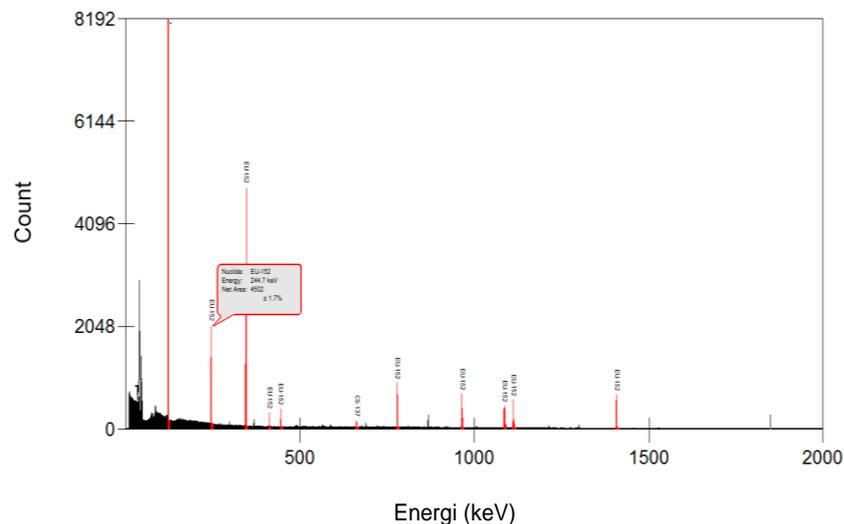
Sebelum melakukan pengukuran isotop ⁹⁵Zr yang terdapat di dalam larutan PEB U₃Si₂/Al densitas 2,96 gU/cm³ pasca iradiasi (larutan Pirr) menggunakan spektrometer gamma, terlebih dahulu dilakukan pengukuran standar ¹⁵²Eu selama 1000 detik. Pengukuran standar ¹⁵²Eu bertujuan mengkalibrasi dan untuk menentukan efisiensi detektor alat spektrometer gamma. Larutan PEB U₃Si₂/Al pasca iradiasi dengan kode T-2 (*Top*) sebanyak 150 µL dimasukkan ke dalam botol vial, kemudian ditambahkan 2 mL H₂SO₄ 2M, campuran ini merupakan larutan umpan. Disiapkan kolom penukar anion berdiameter 0,9 cm dengan panjang kolom 10 cm, bagian ujung bawah kolom diisi dengan glass wool. Resin Dowex 1-X8 dalam bentuk Cl⁻ 100-200 mesh sebanyak 1,5 g yang telah dibasahi dengan air bebas mineral (ABM), kemudian dimasukkan perlahan-lahan ke dalam kolom (tanpa ada udara yang terjebak). Masukkan larutan U₃Si₂/Al pasca iradiasi ke dalam kolom, kemudian dialirkan dengan kecepatan 0,5 mL/menit. Tampung larutan efluen dalam vial, dan zirkonium yang terikat resin di dalam kolom, kemudian dielusi dengan H₂SO₄ 3M sebanyak 2 mL dan selanjutnya secara perlahan-lahan dialirkan dengan kecepatan 0,5 mL/menit. Efluen hasil elusi ditampung dalam vial untuk dilakukan pengukuran menggunakan spektrometer gamma dengan waktu cacah 60000 detik. Dengan cara yang sama

dilakukan pemisahan untuk larutan U_3Si_2/Al pasca iradiasi dengan kode sampel M-3 (*Middle*) dan B-1 (*Bottom*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Spektrometer gamma

Hasil pengukuran standar ^{152}Eu diperoleh beberapa puncak spektrum pada berbagai energi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Spektrum standar isotop ^{152}Eu pada berbagai energi

Standar ^{152}Eu mempunyai beberapa energi mulai dari 121,78; 244,70, 344,28; 778,90; 964,08; 1085,86; 1112,08 dan 1408,01 keV. Penggunaan isotop ^{152}Eu sebagai standar pengukuran untuk ^{95}Zr karena ^{152}Eu mempunyai rentang energi yang panjang mulai dari 121,78 keV hingga 1408,01 keV, sedangkan energi isotop ^{95}Zr berada pada energi 724,2 keV dan 756,7 keV sehingga masih meliputi energi yang dimiliki oleh ^{152}Eu .

Analisis isotop ^{95}Zr dalam larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi (Iar Pirr)

Hasil evaluasi besar cacahan isotop ^{95}Zr dalam larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi potongan bagian *Top*, *Middle* dan *Bottom* pada masing-masing energi sebelum pemisahan (pengukuran langsung) ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data net area dan Cps isotop ^{95}Zr dalam larutan pasca iradiasi (Pirr) sebelum pemisahan

Kode sampel	Net area		Cacah per detik (Cps)	
	E=724,2 keV	E=756,7keV	E=724,2 keV	E=756,7keV
Larutan Pirr T-2	2078	474	0,0342	0,0079
Larutan Pirr M-3	8059	1821	0,1339	0,0303
Larutan Pirr B-1	7305	1631	0,1213	0,0272

Hasil pengukuran langsung isotop ^{95}Zr pada potongan sampel terlihat ada perbedaan cacahan (Cps). Hal ini menunjukkan bahwa kandungan ^{95}Zr pada potongan T-2 PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi lebih sedikit bila dibandingkan dengan potongan pada posisi M-3 dan B-1. Besar Cps isotop ^{95}Zr , selanjutnya dihitung untuk mengetahui besar aktivitas (Bq) dan kandungan (berat) masing-masing energi isotop. Hasil perhitungan aktivitas dan berat isotop sebelum pemisahan dituangkan pada Tabel 2.

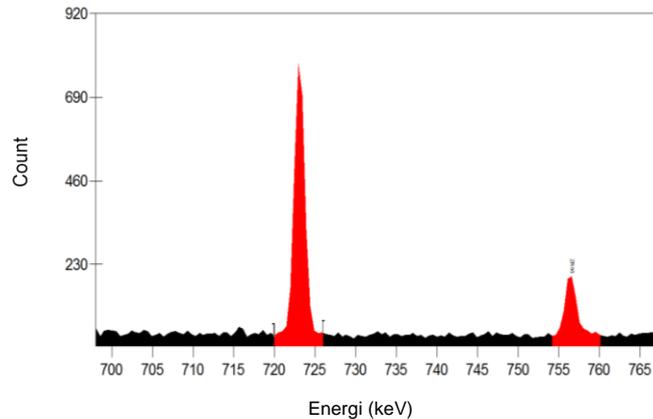
Tabel 2. Data aktivitas dan berat isotop ^{95}Zr dalam larutan Pirr sebelum pemisahan

Kode sampel	Aktivitas (Bq)		Berat isotop ^{95}Zr ($\mu\text{g/g}$)	
	E=724,2 keV	E=756,7keV	E=724,2 keV	E=756,7keV
Larutan Pirr T-2	4,581E+02	9,834E+01	8,861E-09	1,902E-09
Larutan Pirr M-3	1,793E+03	3,789E+02	3,466E-08	7,325E-09
Larutan Pirr B-1	1,625E+03	3,394E+02	3,079E-08	6,431E-09

Pada Tabel 2 terlihat bahwa aktivitas dan berat isotop ^{95}Zr dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi, untuk potongan kode T-2 diperoleh kandungan isotop ^{95}Zr lebih sedikit dibandingkan dengan potongan kode M-3 dan B-1. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan isotop ^{95}Zr dalam larutannya berbeda-beda. Hasil ini akan dibandingkan dengan kandungan isotop ^{95}Zr setelah dipisahkan dengan metode penukar anion.

Hasil pemisahan isotop ^{95}Zr dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex diperoleh efluen, larutan efluen yang dihasilkan pada saat pemisahan pada kolom pertama. Larutan tersebut mengandung unsur pengotor dari hasil fisi lainnya. Diharapkan pada larutan ini, isotop ^{95}Zr tidak terbawa pada saat dialirkan, sehingga isotop ^{95}Zr tetap terikat dengan resin dalam kolom. Zirkonium yang terikat dengan resin kemudian dielusi menggunakan H_2SO_4 3M dengan harapan ikatan ^{95}Zr dengan resin dapat terlepas secara maksimal. Hasil pengukuran isotop ^{95}Zr dalam

larutan efluen hasil elusi pada kolom diperoleh 2 (dua) spektrum ^{95}Zr masing masing pada energi 724,2 keV dan 756,7 keV seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spektrum isotop ^{95}Zr dalam larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi

Hasil pengukuran isotop ^{95}Zr dalam efluen hasil elusi menggunakan larutan H_2SO_4 3M untuk potongan bagian *Top* dengan kode T-2, *Middle* kode M-3 dan *Bottom* kode B-1 setelah dilakukan pemisahan diperoleh Cps isotop ^{95}Zr seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data net area dan Cps isotop ^{95}Zr setelah pemisahan efluen hasil elusi

Kode sampel	Net area		Cacah per detik (Cps)	
	E=724,2 keV	E=756,7 keV	E=724,2 keV	E=756,7 keV
Larutan elusi T-2	1313	342	0,0214	0,0057
Larutan elusi M-3	4804	962	0,0796	0,0160
Larutan elusi B-1	4031	933	0,0668	0,0155

Terlihat pada Tabel 3 besar cacahan pada masing-masing energi setelah dilakukan pemisahan diperoleh Cps yang berbeda untuk masing-masing potongan T-2, M-3 dan B-1. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan isotop ^{95}Zr dalam larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi untuk potongan T-2 lebih sedikit bila dibandingkan dengan potongan M-3 dan B-1. Besar Cps isotop ^{95}Zr , selanjutnya dievaluasi untuk mengetahui besar aktivitas (Bq) dan kandungan (berat) pada masing-masing energi isotop. Hasil perhitungan aktivitas dan berat isotop setelah pemisahaan dituangkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Aktivitas dan kandungan isotop ^{95}Zr dalam efluen hasil elusi

Kode sampel	Aktivitas (Bq)		Berat isotop ^{95}Zr ($\mu\text{g/g}$)	
	E=724,2 keV	E=756,7keV	E=724,2 keV	E=756,7keV
Larutan elusi T-2	2,873E+02	7,084E+01	5,557E-09	1,370E-09
Larutan elusi M-3	1,067E+03	2,000E+02	2,062E-08	3,866E-09
Larutan elusi B-1	8,941E+02	1,940E+02	1,694E-08	3,676E-09

Tabel 4 menunjukkan bahwa aktivitas dan berat isotop ^{95}Zr dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi, untuk potongan dengan kode T-2 menghasilkan kandungan ^{95}Zr lebih sedikit dibandingkan dengan potongan kode M-3 dan B-1. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan isotop isotop ^{95}Zr untuk masing masing potongan berbeda-beda. Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan isotop ^{95}Zr sebelum pemisahan diperoleh lebih kecil, hal ini disebabkan karena pada saat proses pemisahan dengan resin Dowex, isotop ^{95}Zr tidak semua terikat dengan resin, sehingga ^{95}Zr lolos dan berada pada larutan efluennya. Hasil pengukuran isotop ^{95}Zr dalam larutan efluen atau setelah pemisahan dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Data net area isotop ^{95}Zr dalam efluen setelah pemisahan pada kolom pertama

Kode sampel	Net area		Cacah per detik (Cps)	
	E=724,2 keV	E=756,7keV	E=724,2 keV	E=756,7keV
Larutan efluen T-2	648	180	1,036E-02	2,968E-03
Larutan efluen M-3	3099	650	5,121E-02	1,080E-02
Larutan efluen B-1	2857	498	4,718E-02	8,268E-03

Tabel 6. Aktivitas dan kandungan isotop ^{95}Zr dalam efluen pada kolom pertama

Kode sampel	Aktivitas (Bq)		Berat isotop ^{95}Zr ($\mu\text{g/g}$)	
	E=724,2 keV	E=756,7keV	E=724,2 keV	E=756,7keV
Larutan efluen T-2	1,388E+02	3,709E+01	2,685E-09	7,175E-10
Larutan efluen M-3	6,860E+02	1,350E+02	1,326E-08	2,610E-09
Larutan efluen B-1	6,320E+02	1,033E+02	1,198E-08	1,958E-09

Dari Tabel 1 hingga 6 diketahui bahwa aktivitas dan berat isotop ^{95}Zr dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi pada potongan dengan kode *Top* mempunyai kandungan lebih sedikit dibandingkan dengan potongan bagian *Middle* dan *Bottom*. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan isotop ^{95}Zr dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2/\text{Al}$ pasca iradiasi berbeda-beda.

KESIMPULAN

Pemisahan isotop ^{95}Zr dalam larutan PEB U_3Si_2/Al densitas 2,96 gU/cm³ pasca iradiasi dengan metode kolom penukar anion menggunakan resin Dowex-1x8 dapat dilakukan. Telah diperoleh hasil isotop ^{95}Zr dalam larutan pasca iradiasi untuk kode *Top*, *Middle* dan *Bottom* yang masing-masing mempunyai dua energi yang sama yaitu 724,2 dan 756,7 keV dan telah diperoleh berat isotop ^{95}Zr dalam larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi. Hasil isotop ^{95}Zr dalam larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi selanjutnya akan digunakan untuk perhitungan *burn up*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih diucapkan kepada Bapak Ir. Agus Sumaryanto, M.S.M sebagai Ka. PTBBN dan Bapak Ir. Sungkono, MT selaku Ka. Bidang Uji Radiometalurgi yang telah memberikan kegiatan penelitian DIPA tahun 2019 dan kepada rekan-rekan kerja di kelompok Fisikokimia yang telah membantu kegiatan ini hingga makalah dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. C. Perteda, C. Henriquez, J. Merdel, J. Klein, G. Navarro, "Zr-95 fuel burn up measurements using gamma spectrometry technique," Universidad Diego Portales, Santiago de Chile, Chile, 2004
2. Jung S.K., Young S.J., Soon D.P., Yeong-K.H., Kyuseok S. Analysis Of High Burnup Pressurized Water Reactor fuel Using Uranium, Plutonium, Neodymium, and Cesium Isotope Correlations With Burnup. Nuclear Engineering Technologi. 2015; Volume 47:page 924 - 933. Nuclear Chemistry Research Division, Korea Atomic Energy Research Institute, Korea
3. T. Ikehara, Y. Ando, and M. Yamamoto, "Fission product model for BWR analysis with improved accuracy in high burn up," Journal of Nuclear Science and Tecnology, vol. 35, no. 8, pp. 527537, 1998.
4. A. B. Ginting and P. H. Liem, Absolute burnup measurement of LEU silicide fuel plate irradiated in the RSG GAS multipurpose reactor by destructive radiochemical technique, *Annals Nuclear Energy*, vol. 85, pp. 613–620, 2015

5. D. Anggraini, Yanlinastuti, Noviarty, Masrukan, "Analisis Zr dalam paduan UZr (6%) melalui pengukuran senyawa Zr-Arsenazo III menggunakan spektrofotometri UV-Vis," *Jurnal Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 18, no. 2, 2012.
6. Yanlinastuti, Noviarty, Iis Haryati, Syamsul Fatimah, Boybul, Aslina Br. Ginting, Optimasi Parameter Pemisahan Zr Dalam PEB U_3Si_2/Al Pra Iradiasi Menggunakan Metode Kromatografi Penukar Anion, *Urania* Vol. 25 No. 2, Juni 2019: 71–140
7. Rosika Kriswarini dan Dian Anggraini, Perbandingan Metoda Otomatis dan Manual dalam Penentuan Isotop Cs-137 Menggunakan Spektrometer Gamma, *Urania* Vol. 15 No. 2, April 2009 : 61 – 115, ISSN 0852-4777
8. Endang Susiantini, Moch. Setyadji, Pemisahan Zr-Hf Dalam Asam Sulfat Dengan Resin Penukar Anion, *J.Tek. Bhn. Nukl.* Vol. 8 No. 2 Juni 2012: 67 – 78, ISSN 1907 – 2635, 416/AU2/P2MI-LIPI/04/2012
9. Kris Tri Basuki, Dwi Biyantoro, Kinetika Reaksi Pemisahan Zr-Hf Pada Ekstraksi Cair-cair Dalam Media Asam Nitrat. *J.Tek Bhn Nuklir* Vol 7 No 1, Januari 2011 1-73. ISSN 1907 – 2635, 261/AU1/P2MBI/05/2010
10. Endang Susiantini, Pembuatan Zr $(SO_4)_{2-x} H_2O$ Melalui Jalur *Zirconium Basic Sulphate* (ZBS) Sebagai Umpan Pada *Continuous Annular Chromatography* (CAC), *J.Tek. Bhn. Nukl.* Vol. 9 No. 2 Juni 2013: 55 – 113, ISSN 1907 – 2635 416/AU2/P2MI-LIPI/04/2012, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, BATAN
11. Agus Tri Purwanto, Elin Nuraeni, Optimasi parameters pektroskopi gamma dengan detector HPGe, Prosiding seminar penelitian dan pengelolaan perangkat Nuklir Pusat Teknologi Akselerator don Proses Bahan Yogyakarta, Rabu, 11 September 2013