

Urania

Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

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



PEMISAHAN CESIUM DALAM BAHAN BAKAR U_3Si_2/Al DENSITAS $4,8 \text{ gU/cm}^3$ *BURN UP* 60% BAGIAN *BOTTOM*

Ariyanti Saputri¹, Sutri Indaryati¹, Iis Haryati¹
Yanlinastuti¹, Hanifah Rifa'atul Mahmudah¹, Aslina Br. Ginting¹

¹Pusat Riset dan Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BRIN
Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gd. 20 Tangerang Selatan, Banten 15314
e-mail: ariy006@batan.go.id

(Naskah diterima: 04–10–2021, Naskah direvisi: 14–10–2021, Naskah disetujui: 28–10–2021)

ABSTRAK

PEMISAHAN CESIUM DALAM BAHAN BAKAR U_3Si_2/Al DENSITAS $4,8 \text{ gU/cm}^3$ *BURN UP* 60% POTONGAN *BOTTOM*. Telah dilakukan pemisahan cesium dalam bahan bakar U_3Si_2/Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ *burn up* 60% menggunakan bahan zeolit Lampung pada metode penukar kation. *Burn up* bahan bakar pasca iradiasi dapat ditentukan dengan indikator *burn up* menggunakan isotop cesium. Pemisahan bertujuan untuk mendapatkan berat cesium yang akurat sehingga perhitungan nilai *burn up* secara merusak juga dapat dilakukan secara tepat. PEB U_3Si_2/Al dipotong pada bagian *Bottom* secara duplo lalu ditambahkan pelarut HCl 6 N dan HNO₃ 6N. Satu mL larutan bahan bakar U_3Si_2/Al dimasukkan ke dalam botol vial dan ditransfer dari hotcell 109 ke laboratorium radiasi aktivitas sedang (R.135). Larutan bahan bakar U_3Si_2/Al diencerkan menjadi 25 mL dan dipipet 50 μL ke dalam vial secara duplo dan ditambahkan 1000 mg zeolit Lampung, kemudian dilakukan pemisahan ¹³⁴Cs dan ¹³⁷Cs dari ²³⁵U dengan metode penukar kation secara *batch* selama 60 menit. Hasil pemisahan diperoleh isotop ¹³⁴Cs dan ¹³⁷Cs dalam fasa padat, sedangkan uranium (²³⁸U, ²³⁵U, ²³⁴U) dan isotop lainnya dalam fasa cair. Besarnya berat isotop ¹³⁴Cs dan ¹³⁷Cs selanjutnya diukur menggunakan spektrometer- γ . Hasil pemisahan diperoleh berat isotop ¹³⁷Cs dan ¹³⁴Cs dalam larutan PEB U_3Si_2/Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ *burn up* 60% potongan *Bottom* masing-masing B-1=0,00003283 g/0,036gPEB dan B-1= 0,000000147 g/0,036gPEB, sedangkan untuk potongan B-2=0,00003290 g/0,037gPEB untuk ¹³⁷Cs dan B-2= 0,000000222 g/0,037gPEB untuk ¹³⁴Cs. Pemisahan cesium dalam 50 μL larutan PEB U_3Si_2/Al *burn up* 60% potongan *Bottom* dengan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung seberat 1000 mg diperoleh hasil yang baik.

Kata kunci: U_3Si_2/Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$, *burn up* 60%, cesium, pemisahan

ABSTRACT

SEPARATION OF CESIUM IN U_3Si_2/Al FUEL OF 4.8 gU/cm³ DENSITY WITH 60% BURN UP AT BOTTOM POSITION. *The separation of cesium in U_3Si_2/Al fuel with a density of 4.8 gU/cm³ and 60% burn up by cation exchange using zeolite from Lampung has been carried out. Cesium isotope is used as a burn-up indicator for irradiated nuclear fuel. The separation aims to obtain an accurate cesium weight so that the calculation of burn up by the destructive method can be carried out correctly. The fuel plate of U_3Si_2/Al was cut in duplicates at the bottom with a weight of B-1=0.036 g and B-2= 0.037g, respectively. The fuel plate of U_3Si_2/Al with this weight was then dissolved using 6N HCl and 6N HNO₃ in 10 mL. The solution of U_3Si_2/Al was then pipetted 1 mL and transferred from the hotcell to R. 135 and diluted to 25 mL. The solution was pipetted 50 μ L into a vial in duplicates and 1000 mg of Lampung zeolite was added. Separation process of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs from ²³⁵U was done by cation exchange for 60 minutes. The results obtained were isotopes ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs in the solid phase while uranium (²³⁸U, ²³⁵U, ²³⁴U) and other isotopes in the liquid phase. The weight of the isotopes of ¹³⁴Cs and ¹³⁷Cs was then measured using a γ - spectrometer. The weight of the isotopes of ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs in solution at Bottom position was B-1=0.00003283 g/0.036g and B-1= 0.000000147 g/0.036 g for ¹³⁷Cs and ¹³⁴Cs respectively while another duplicate was B-2=0.00003290 g/0.037g for ¹³⁷Cs and B-2=0.000000222 g/0.037g for ¹³⁴Cs. It can be concluded that in the separation of cesium in 50 μ L solution of U_3Si_2/Al at Bottom position by cation exchange using 1000 mg of zeolite from Lampung, good results were obtained.*

Keywords : U_3Si_2/Al density 4,8 gU/cm³, burn up 60%, cesium, separation.

Pemisahan Cesium Dalam Bahan Bakar U_3Si_2/Al Densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ *Burn Up* 60% Potongan *Bottom*
(Ariyanti Saputri, Sutri Indaryati, Iis Haryati,
Yanlinastuti, Hanifah Rifa'atul Mahmudah, Aslina Br. Ginting)

PENDAHULUAN

Bahan bakar U_3Si_2/Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ *burn up* 60% setelah mengalami pendinginan di kolam reaktor selama ≥ 101 hari dikirimkan ke *hotcell* Instalasi Radiometalurgi (IRM) untuk dilakukan uji pasca radiasi. Tujuan uji pasca iradiasi adalah untuk performa bahan bakar U_3Si_2/Al selama digunakan di Reaktor Serba Guna G.A.Siwabessy (RSG-GAS). Tahap awal yang dilakukan dalam uji pasca iradiasi yaitu *non-destructive test* dan dilanjutkan dengan *destructive test*. Uji *non-destructive* bertujuan mengetahui dan mendeteksi adanya cacat pada permukaan, distribusi hasil fisi spektrum gamma, pengamatan visual dan mengukur tebal atau diameter pelat elemen bakar (PEB) U_3Si_2/Al . Hasil pengujian *non destructive* terhadap PEB U_3Si_2/Al menunjukkan *performance* yang baik karena tidak ada cacat maupun sifat anomali yang ditunjukkan [1],[2]. Sementara itu, uji merusak bertujuan untuk mengetahui metalografi atau ceramografi yang disebabkan adanya interaksi antara U_3Si_2/Al dengan bahan kelongsong $AlMg_2$ maupun interaksi *meat* U_3Si_2 dengan matriks Al yang disebabkan oleh radiasi serta uji fisiko-kimia untuk mengetahui berat hasil fisi dengan cara melakukan pemisahan cesium maupun uranium dalam bahan bakar yang telah dilakukan iradiasi di reaktor. Berat cesium dan uranium hasil iradiasi dapat digunakan untuk perhitungan *burn-up* mutlak secara merusak. Data hasil pengujian yang telah dilakukan di Instalasi Radiometalurgi selanjutnya digunakan sebagai masukan kepada RSG-GAS dan fabrikator bahan bakar. Hal ini bertujuan untuk menentukan optimasi parameter fabrikasi dalam mengembangkan bahan bakar nuklir dengan tingkat muat uranium tinggi[3],[4].

Pelat elemen bakar (PEB) U_3Si_2/Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ yang telah mengalami iradiasi di RSG-GAS dengan *burn up* 60 % menghasilkan isotop ^{137}Cs , ^{144}Ba , ^{90}Sr , dan unsur bermassa berat. Isotop-isotop tersebut terbentuk akibat adanya reaksi pembelahan ^{235}U yang ditembak oleh neutron sesuai dengan *fission yield* masing-masing isotop tersebut. Berat isotop tersebut digunakan untuk menentukan nilai *burn up* mutlak secara merusak. Isotop ^{137}Cs merupakan salah satu isotop yang digunakan sebagai indikator *burn up* dengan waktu paruh = 30,17 tahun dan ^{95}Zr dengan $T_{1/2} = 64$ hari. Berat isotop hasil fisi

dalam bahan bakar dapat ditentukan dengan menggunakan *Thermal Ionization Mass Spectrometer*, namun PRTBBN tidak memiliki alat tersebut sehingga untuk penentuan *burn up* mutlak harus dilakukan pemisahan uranium dengan cesium dalam bahan bakar dan pengukuran dilakukan menggunakan spektrometer- α/γ . Penentuan berat radionuklida secara kuantitatif menggunakan spektrometer- α/γ memiliki beberapa tantangan antara lain tingkat paparan radiasi yang tinggi sehingga berat sampel uji yang dicacah harus relatif kecil, proses pemisahan yang panjang sehingga sering kali menggunakan pengulangan (*repeatability*) banyak sampel agar diperoleh berat isotop yang akurat[4].

Cesium merupakan logam yang sangat reaktif dan sangat piroforik dan memiliki reaktivitas yang tinggi sehingga diklasifikasikan sebagai bahan berbahaya[5,6]. Cesium memiliki dua jenis isotop yaitu ^{134}Cs dan ^{137}Cs yang dihasilkan ketika logam ^{235}U menyerap neutron dan mengalami reaksi berantai. Cesium yang banyak dikenal ialah radioaktif ^{137}Cs yang memiliki karakteristik berupa cairan pada temperatur kamar, berwarna putih keemasan, dan bersifat sebagai logam alkali yang lunak, pemancar radiasi gamma dan memiliki waktu paruh 30,17 tahun[7],[8].

Radionuklida ^{137}Cs banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang, di antaranya bidang industri nuklir maupun industri lainnya. Dalam industri nuklir isotop ^{137}Cs digunakan sebagai monitor *burn up* dan sebagai indikator tingkat paparan radiasi gamma di suatu daerah kerja. Pada industri lainnya, isotop ^{137}Cs dapat digunakan untuk menentukan performa las pada pipa minyak/gas yang terdapat pada instalasi kilang minyak. Selain itu, radioisotop ^{137}Cs juga berfungsi sebagai bahan perunut yang dapat digunakan untuk mengetahui ketebalan material dan mendeteksi anomali pada pipa secara *non-destructive*[9],[10].

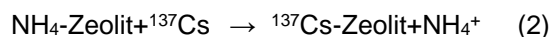
Metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung merupakan salah satu metode pemisahan hasil fisi isotop ^{134}Cs dan ^{137}Cs dari ^{235}U dalam bahan bakar nuklir [10]-[12]. Berdasarkan standar ^{137}Cs SRM 4233E dari *National Institute of Standards Technology* (NIST) telah dilakukan validasi metode. Dari pengujian tersebut diketahui bahwa *recovery* pemisahan isotop ^{137}Cs dengan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung

sebesar 99,03%[13],[14]. Oleh karena itu, hasil validasi metode tersebut menjadi acuan dalam memisahkan cesium dengan uranium pada PEB. Dalam bahan bakar nuklir terdapat beragam radionuklida pemancar sinar- γ sehingga perlu dilakukan proses pemisahan.

Zeolit adalah senyawa mineral yang tersusun dari kation alkali atau alkali tanah, dimana ion-ion logam dapat disubstitusi oleh kation lain. Zeolit memiliki rumus empiris $x/n M^{n+}[(AlO_2)_x(SiO_2)_y] \cdot zH_2O$. M^{n+} berupa jenis kation yang dapat bergerak bebas dan dapat disubstitusi oleh kation lain[13].

Proses substitusi ion dapat terjadi pada cairan yang terdiri dari anion, kation, dan molekul air. Sebagian ion tersebut terikat pada matriks mikropori berfase padat. Mikropori dapat mengandung molekul air dan ion baik kation maupun anion, dimana muatan ion yang terikat berlawanan dengan ion matriks. Pada kondisi tersebut terjadi kesetimbangan muatan. Hal ini menyebabkan ion-ion dapat bergerak bebas di dalam matriks mikropori[11],[12].

Zeolit Lampung merupakan zeolit alam yang memiliki nilai kapasitas tukar kation (KTK) lebih tinggi daripada zeolit lainnya, seperti zeolit Bayah dan zeolit Tasikmalaya. Nilai KTK zeolit Lampung sebesar 1,4269 (meq/g), sedangkan zeolit Bayah sebesar 1,4269 (meq/g) dan zeolit Tasikmalaya sebesar 1,4044 (meq/g). Zeolit Lampung dapat diaktivasi menggunakan NH_4Cl dan membuat suatu ikatan antara zeolit dengan NH_4^+ dalam bentuk NH_4 -Zeolit. Berikut ini reaksi pembentukan ammonium zeolit seperti persamaan (1) dan (2).



Dari persamaan (1) dan (2) diketahui bahwa hasil pemisahan cesium diperoleh dalam bentuk padatan zeolit yang terikat dengan isotop ${}^{137}Cs$ maupun ${}^{134}Cs$. Padatan ${}^{137}Cs$ -zeolit selanjutnya diukur dengan Spektrometer- γ sehingga diperoleh berat dalam bahan bakar[6]. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keefektifan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung untuk memisahkan cesium dalam 50 μL larutan PEB U_3Si_2/Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ *burn up* 60% dari isotop lainnya.

METODOLOGI

PEB U_3Si_2/Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ yang telah dilakukan proses iradiasi di reaktor dengan *burn up* 60 % dilakukan pemotongan pada sisi *Bottom*. Ukuran pelat yang dipotong sebesar $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}$ dan dibuat sebanyak dua buah potongan. Potongan tersebut diberi kode dan berat masing-masing SiBU60B-1= 0,036 gPEB dan SiBU60B-2= 0,037 gPEB, kemudian dilarutkan dengan HCl 6N dan HNO_3 6N dalam 10 mL. Larutan PEB dengan kode SiBU60B-1 dan SiBU60B-2 dipipet sebanyak 1 mL dan diencerkan dalam 25 mL HCl 0,1 N di dalam *fumehood* R.135. Setelah itu, sebanyak 50 μL larutan PEB dipipet dan ditambahkan ke dalam botol vial yang diberi kode (SiBU60B-1-1; SiBU60B-1-2; SiBU60B-2-1; SiBU60B-2-2) lalu ditambahkan 2 mL HCl 0,1 N. Larutan tersebut diukur dengan spektrometer- γ sebelum dipisahkan dengan metode penukar kation untuk mengetahui berat ${}^{137}Cs$. Setelah selesai pengukuran, masing-masing vial (SiBU60B-1-1; SiBU60B-1-2; SiBU60B-2-1; SiBU60B-2-2) ditambahkan zeolit Lampung teraktivasi dengan NH_4Cl sebanyak 1000 mg. Vial yang berisi campuran tersebut dimasukkan ke dalam *shaker* berkecepatan 1000 rpm untuk dilakukan proses substitusi kation dengan metode *batch* selama 60 menit. Larutan hasil pengocokan didiamkan selama 24 jam hingga didapatkan sampel padatan dan cairan. Hasil dari proses penukar kation ditunjukkan dengan ${}^{137}Cs$ terikat dengan zeolit dalam padatan Cs-zeolit pada fasa padat dan isotop uranium berada pada fasa cair atau supernatan (SP_{Irr}). Hasil padatan Cs-zeolit pada fasa padat dipisahkan dari larutan SP_{Irr} dengan cara dipipet, kemudian dikeringkan. Setelah itu, masing-masing padatan Cs-zeolit dan SP_{Irr} dilakukan pengukuran kembali menggunakan spektrometer- γ untuk mengetahui berat ${}^{137}Cs$ setelah pemisahan. Pengukuran dengan spektrometer- γ dilakukan dengan waktu cacah untuk padatan Cs-zeolit selama 500 detik dan untuk SP_{Irr} selama 5000 detik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

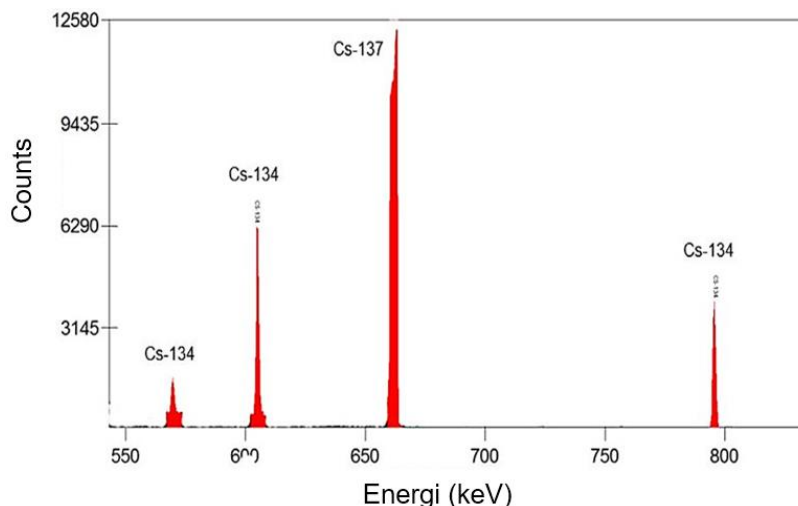
Spektrum spektrometer- γ hasil pengukuran secara langsung sebanyak 50 μL larutan PEB U_3Si_2/Al densitas $4,8 \text{ gU/cm}^3$ *burn up* 60 % bagian *Bottom* ditunjukkan pada Gambar 1. Spektrum yang diperoleh pada Gambar 1 dengan waktu cacah 500 detik sebanyak tiga kali pengulangan. Evaluasi spektrum dilakukan

Pemisahan Cesium Dalam Bahan Bakar U_3Si_2/Al Densitas $4,8\text{ gU/cm}^3$ *Burn Up* 60% Potongan *Bottom*
(Ariyanti Saputri, Sutri Indaryati, Iis Haryati, Yanlinastuti, Hanifah Rifa'atul Mahmudah, Aslina Br. Ginting)

pada energi 661,7 keV dan 604,7 keV. Dari hasil evaluasi tersebut diperoleh berat isotop ^{137}Cs dan ^{134}Cs seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 menunjukkan berat rerata isotop ^{137}Cs dan ^{134}Cs dari pengukuran secara langsung sebelum dipisahkan. Berat rerata

yang diperoleh masing-masing untuk B-1=0,00003283 g/0,036gPEB dan B-1= 0,000000752 g/0,036gPEB, sedangkan untuk potongan B-2=0,00003295 g/0,037gPEB untuk ^{137}Cs dan B-2= 0,000000830 g/0,037gPEB untuk ^{134}Cs .



Gambar 1. Spektrum ^{137}Cs dan ^{134}Cs dalam 50 μL larutan PEB U_3Si_2/Al potongan *Bottom*

Tabel 1. Berat isotop ^{137}Cs dan ^{134}Cs dalam PEB U_3Si_2/Al potongan *Bottom* sebelum pemisahan

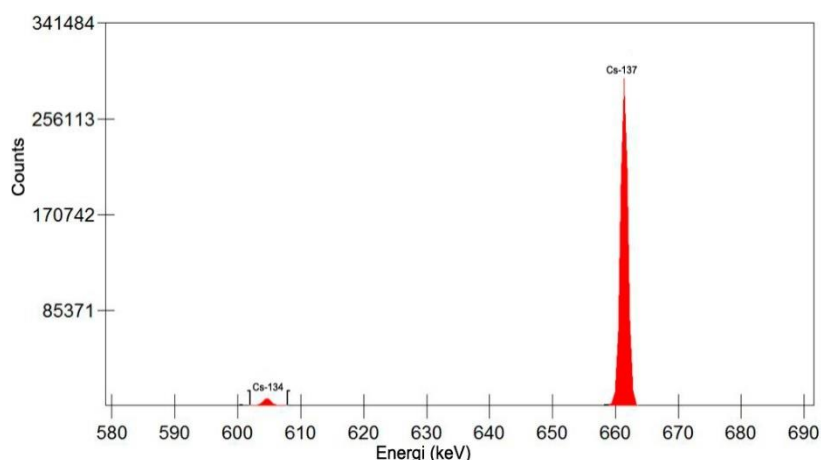
Kode sampel	Isotop ^{137}Cs (661,7keV)	Isotop ^{134}Cs (604,7 keV)	Satuan
(SiBU60 B1-1)	0,00003324	0,000000739	(g/0.036g EBU)
(SiBU60 B1-2)	0,00003242	0,000000765	
Rerata B-1	0,00003283	0,000000752	
Kode sampel	Isotop ^{137}Cs (661,7keV)	Isotop ^{134}Cs (604,7 keV)	Satuan
(SiBU60 B2-1)	0,00003301	0,000000870	(g/0.037g EBU)
(SiBU60 B2-2)	0,00003290	0,000000791	
Rerata B-2	0,00003295	0,000000830	

Hasil pemisahan cesium dengan bahan zeolit Lampung pada metode penukar kation menunjukkan bahwa dalam fasa padat terdapat kandungan isotop ^{137}Cs dan ^{134}Cs yang terikat bersama zeolit. Selain itu, hasil pemisahan juga menunjukkan bahwa isotop uranium serta beberapa isotop lain terdapat dalam fasa cair. Isotop ^{137}Cs dan ^{134}Cs hasil pengukuran spektrometer- γ untuk fasa padat ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2 memperlihatkan spektrum setelah proses pemisahan dengan metode penukar kation. Pada gambar tersebut terlihat hanya ada spektrum pada energi 604,7 dan

661,7 keV yang merupakan energi dari isotop ^{134}Cs dan ^{137}Cs . Pada padatan Cs-zeolit potongan *Bottom* dilakukan penentuan berat isotop ^{134}Cs dan ^{137}Cs yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Bila dibandingkan berat isotop ^{137}Cs dan ^{134}Cs dalam larutan bahan bakar U_3Si_2/Al sebelum dan sesudah pemisahan menunjukkan berat yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan zeolit Lampung pada metode penukar kation sebanyak 1000 mg sangat selektif untuk mengikat kation isotop ^{137}Cs dan ^{134}Cs dalam bentuk padatan Cs-zeolit.



Gambar 2. Spektrum isotop ^{137}Cs dan ^{134}Cs dalam padatan Cs-zeolit potongan *Bottom*

Tabel 2. Kandungan isotop ^{137}Cs dan ^{134}Cs dalam PEB U_3Si_2/Al potongan *Bottom* setelah pemisahan

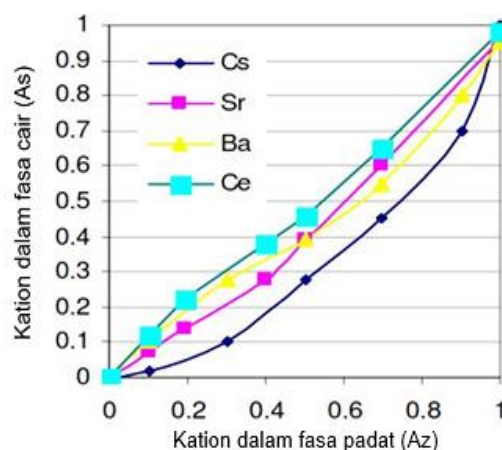
Kode sampel	Isotop ^{137}Cs (661,7keV)	Isotop ^{134}Cs (604,7 keV)	Satuan
(SiBU60 B1-1)	0,00003288	0,000000144	(g/0.036g EBU)
(SiBU60 B1-2)	0,00003278	0,000000151	
Rerata B-1	0,00003283	0,000000147	

Kode sampel	Isotop ^{137}Cs (661,7keV)	Isotop ^{134}Cs (604,7 keV)	Satuan
(SiBU60 B2-1)	0,00003295	0,000000223	(g/0.037g EBU)
(SiBU60 B2-2)	0,00003281	0,000000221	
Rerata B-2	0,00003288	0,000000222	

Berdasarkan hasil penelitian Aslina Ginting, dkk menyatakan bahwa isotop cesium dalam fasa padat mempunyai selektivitas lebih besar dibandingkan Sr, Ba dan Ce dalam fasa cair seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3[7]. Keselektifan zeolit untuk mengikat cesium dalam fasa padat, dibuktikan juga dengan diperolehnya berat isotop ^{134}Cs dan ^{137}Cs . Kedua isotop ini masing-masing berada pada energi 604,7 keV dan 661,7 keV dalam fasa cair (SPIrr) dengan jumlah sangat kecil. Berat isotop ^{137}Cs dan ^{134}Cs di dalam supernatan (SPIrr) ditunjukkan pada Tabel 3

Dari Tabel 3 diketahui bahwa tidak diperoleh kandungan isotop ^{137}Cs dan ^{134}Cs dalam SPIrr. Hal ini menunjukkan bahwa metode penukar kation dengan penambahan zeolit Lampung 1000 mg dapat mengikat secara sempurna cesium yang terdapat dalam 50 μL larutan bahan bakar nuklir dan zeolit sangat selektif untuk pemisahan radionuklida

cesium dalam larutan PEB pasca iradiasi[12,13].



Gambar 3. Selektivitas NH_4 -zeolit dengan kation Cs, Sr, Ba, dan Ce [7]

Pemisahan Cesium Dalam Bahan Bakar U_3Si_2/Al Densitas 4,8 gU/cm³ *Burn Up* 60% Potongan *Bottom*
(Ariyanti Saputri, Sutri Indaryati, Iis Haryati,
Yanlinastuti, Hanifah Rifa'atul Mahmudah, Aslina Br. Ginting)

Tabel 3. Kandungan isotop ¹³⁷Cs dan ¹³⁴Cs dalam SPIrr (fasa cair)

Kode sampel	Isotop ¹³⁷ Cs (661,7keV)	Isotop ¹³⁴ Cs (604,7 keV)	Satuan
SPIrr (B1-1)	0,00000000	0,00000000	g/0,036g PEB)
SPIrr (B1-2)	0,00000000	0,00000000	
Rerata B-1	0,00000000	0,00000000	
Kode sampel	Isotop ¹³⁷ Cs (661,7keV)	Isotop ¹³⁴ Cs (604,7 keV)	Satuan
SPIrr (B2-1)	0,00000003	0,00000000	(g/0,037g PEB)
SPIrr (B2-2)	0,00000000	0,00000000	
Rerata B-2	0,00000003	0,00000000	

SIMPULAN

Proses pemisahan ini menggunakan bahan zeolit Lampung sebesar 1000 mg dengan metode penukar kation. Berat isotop ¹³⁷Cs dan ¹³⁴Cs dalam larutan PEB U_3Si_2/Al densitas 4,8 gU/cm³ *burn up* 60% potongan *Bottom* diperoleh masing-masing B-1=0,00003283 g/0,036gPEB dan B-1=0,000000147 g/0,036gPEB, sedangkan untuk potongan B-2=0,00003290 g/0,037gPEB untuk ¹³⁷Cs dan B-2= 0,000000222 g/0,037gPEB untuk ¹³⁴Cs. Hasil pemisahan ¹³⁷Cs memiliki *recovery* B-1 sebesar 100% dan B-2 sebesar 99,85%. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa pemisahan cesium dalam 50 µL larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi dari isotop lainnya menggunakan metode ini memperoleh hasil yang baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat terlaksana dengan dukungan dana DIPA PRTBBN-BATAN Tahun 2021. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Boybul dan Arif Nugroho yang telah membantu melaksanakan penelitian sehingga pembuatan makalah dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. R. Artika, R. Sigit, A. B. Ginting, Supardjo, "Uji tak merusak pelat elemen bakar U_3Si_2/Al densitas uranium 4,8 gU/cm³ menggunakan radiografi sinar-x digital," *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol. 25, no. 1, hal. 49-56, 2020.
- [2]. S. H. Kim, C. H. Pyeon, A. Ohizumi, M. Fukushima, K. Tsujimoto, and H. Unesaki, "A feasibility study on fast

reactor with low-enriched uranium fuel at Kyoto University critical assembly," *Progress in Nuclear Energy*, vol. 100, pp. 60-70, 2017.

- [3]. Y. Nampira, S. Ismarwanti, H. F. Rahmatullah, and K. Mustopa, "Non destructive test nuclear fuel U_3Si_2/Al 4,8 gU/cm³ post irradiation with 60% burn up research reactor," *Hotlab Conference Proceeding 2016*, Karlsruhe, Germany.
- [4]. A. B. Ginting, D. Anggraini, "Metode pengendapan dan penukar kation untuk pemisahan cesium dalam bahan bakar U_3Si_2/Al ," *Jurnal Daur Bahan Bakar Urania*, vol. 22, no. 2, hal. 65 – 132, 2016.
- [5]. A. B. Ginting, D. Anggraini, "Metode pengendapan dan penukar kation untuk pemisahan cesium dalam bahan bakar U_3Si_2/Al ," *Jurnal Daur Bahan Bakar Urania*, vol. 22, no. 2, hal. 65 – 132, 2016.
- [6]. A. B. Ginting, Supardjo, Yanlinastuti, S. Indaryati, Boybul, "Perhitungan *burn up* PEB U_3Si_2/Al densitas 4,8 gU/cm³ pasca iradiasi potongan bagian *middle*," *Jurnal Daur Bahan Bakar Urania*, vol. 26, no.2, hal. 91 – 106, 2020.
- [7]. A. B. Ginting, S. Amini, Noviarty, *et al.*, "Natural zeolite as a replacement for resin in cesium cation exchange materials for post-irradiation fuel," *Nukleonika*, vol. 66, no. 1, 2021.
- [8]. H. L Sari, W. S. Budi, "Penentuan karakteristik cacahan pada counter dengan menggunakan sumber standar ¹⁵²Eu, ⁶⁰Co, dan ¹³⁷Cs," *Youngster Physics Journal*, vol. 6, no. 2, hal. 151-156, 2017.
- [9]. A. Nugroho, Boybul, S. Indaryati, I. Haryati, R. Kriswarini, A. B. Ginting, "Pemisahan cesium dalam PEB U_3Si_2/Al

- densitas $2,96 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi dengan metode pengendapan *chloroplatinate*," *Jurnal Daur Bahan Bakar Urania*, vol. 25, no. 2, hal. 103 – 114, 2019.
- [10]. D. Anggraini, A. Nugroho, A. B. Ginting, Y. Nampira, Boybul, "Penentuan parameter optimum proses pengendapan $CsClO_4$ pada pemisahan isotop ^{137}Cs dari larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi," *Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir Urania*, vol.19, no. 2, hal. 63-74, 2013.
- [11]. A. Sukur, A. Azira and M. H. A. Husni, "Determination of cation exchange capacity of natural zeolite," *Malaysian Journal of Soil Science*, vol. 21, pp.102-112, 2017.
- [12]. M. M. Febri, P. Ardian, "Pemanfaatan batu apung sebagai sumber silika dalam pembuatan zeolit sintetis," *Jurnal Fisika Unand*, vol. 2, no. 4, hal. 262-268, 2013.
- [13]. P. Francesco, G. Bruno, A. Paolo, C. Domenico, "Natural zeolites for heavy metals removal from aqueous solutions: Modeling of the fixed bed Ba^{2+}/Na^+ Ion-exchange process using a mixed phillipsite/chabazite-rich tuff," *Chemical Engineering Journal*, vol. 219, pp. 37-42, 2013.
- [14]. B. Wiyantoko, N. Rahmah, "Measurement of cation exchange capacity (CEC) on natural zeolite by percolation methode," *AIP conference Proceedings 1911*, 020012, 2017. Published On line 05 December 2017.