

Pengaruh Ukuran Partikel Zeolit dalam Pemisahan Cesium dari PEB U_3Si_2/Al Pasca Iradiasi Neutron Menggunakan Metode Penukar Kation

Effect of Zeolite Particle Size in Separation of Cesium from U_3Si_2/Al Neutron Post Irradiation Using Cation Exchange Method

Rosika Kiswarini*, Arif Nugroho, Boybul, Sutri Indrayati

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)
Kawasan Puspiptek Serpong, Gd. 20 Setu, Tangerang Selatan, Banten 15310, Indonesia

* e-mail : rosika@batan.go.id

ABSTRAK

Pemisahan cesium dari Pelat Elemen Bakar Nuklir (PEB) U_3Si_2/Al pasca iradiasi menggunakan metode penukar kation dengan variasi ukuran partikel zeolit telah dilakukan. Teknik pemisahan cesium dengan menerapkan metode absorpsi dan penukar kation menggunakan zeolit Lampung memberikan efisiensi yang besar. Pemisahan cesium dari hasil fisi lainnya seperti ^{235}U , ^{89}Kr , ^{144}Ba , ^{90}Sr , ^{134}Xe , ^{96}Rb perlu dilakukan karena isotop ^{137}Cs digunakan sebagai monitor burn up. Dalam penelitian ini dipelajari aspek pengaruh ukuran partikel terhadap efisiensi pemisahan cesium pada waktu kontak dan jumlah zeolit yang optimum. Cuplikan larutan PEB U_3Si_2/Al densitas $2,96 \text{ gU/cm}^3$ pasca iradiasi sebanyak $150 \mu\text{L}$ diencerkan menggunakan HCl 0,1N menjadi 2 mL. Pemisahan cesium dalam larutan cuplikan dilakukan menggunakan zeolit Lampung dengan variabel ukuran partikel -100+170 mesh, -170+270 mesh, -270+400 mesh dan -400 mesh. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa zeolit dengan ukuran partikel -270+400 mesh dengan berat 1 g dan waktu pengadukan selama 1 jam diperoleh kandungan isotop ^{137}Cs dalam $150 \mu\text{L}$ larutan pasca iradiasi sebesar $0,0543 \mu\text{g}$ dengan *recovery* sebesar 99,1%.

Kata kunci: Bahan bakar pelat U_3Si_2/Al , cesium, penukar kation, zeolit, ukuran partikel

ABSTRACT

The separation of cesium from post irradiation U_3Si_2/Al nuclear fuel plate using cation exchange method with various zeolite particle sizes has been done. Cesium separation technique by absorption and cation exchanger methods using Lampung's zeolite gives great efficiency. Cesium separation from other fission products of ^{235}U , ^{89}Kr , ^{144}Ba , ^{90}Sr , ^{134}Xe , ^{96}Rb must be done because the ^{137}Cs isotope was used as a burn-up monitor. In this experiment, the aspect of particle size effect on cesium separation efficiency at contact time and at the optimum amount of zeolite was studied. Around $150 \mu\text{L}$ of U_3Si_2/Al post irradiation plate with density of 2.96 gU/cm^3 was diluted into 0.1N of HCl to produce 2 mL mixed solution. Separation of cesium from sample solution was assayed using a Lampung zeolite with varied particle size in the range of -100+170 mesh, -170+270 mesh, -270+400 mesh and -400 mesh. The result showed that 1 gram of zeolit of having particle size in the range of -270+400 mesh which was stirred for 1 hour was able to produce $0.0541 \mu\text{g}$ of ^{137}Cs in $150 \mu\text{L}$ isotope solution and its recovery as big as 99.1%.

Keywords: U_3Si_2/Al fuel plate, cesium, cation exchange, zeolite, particle size

PENDAHULUAN

Cesium pada bahan bakar nuklir pasca iradiasi digunakan sebagai monitor untuk mengetahui tingkat *burn-up* bahan bakar secara merusak. *Burn-up* merupakan salah satu parameter *Post Irradiation Examination* (PIE) untuk mempelajari unjuk kerja bahan bakar dalam

reaktor [1]. Sebagai produk fisi, isotop cesium masih bercampur dengan bahan fisi yang lain yaitu Sr, Kr, Rb, Ba, dan U, sehingga cesium perlu dipisahkan. Berdasarkan hal tersebut maka perlu dilakukan pemisahan cesium dari hasil fisi sehingga diperoleh cesium yang murni.

Metode pemisahan cesium dapat dilakukan melalui proses ekstraksi, pengendapan atau kromatografi. Metode ekstraksi dan pengendapan telah diterapkan dan diperoleh *recovery* sampai dengan 94%, sedangkan metode kromatografi pertukaran ion memberikan *recovery* sebesar 99% [2].

Pada penelitian sebelumnya, optimasi parameter yang berpengaruh dalam proses pemisahan dengan metode kromatografi menggunakan zeolit alam telah dilakukan. Zeolit alam banyak tersedia di Indonesia dan memiliki sifat-sifat yang memenuhi syarat sebagai adsorban dan penukar kation [3], [4]. Beberapa jenis dan parameter zeolit yang telah diperoleh dalam penelitian yaitu jenis zeolit, waktu kontak dan jumlah zeolit yang dibutuhkan untuk mengikat cesium [5], [6]. Parameter lain yang penting diketahui adalah pengaruh ukuran partikel terhadap efisiensi/ *recovery* pemisahan. Parameter tersebut belum dilakukan pada penelitian sebelumnya. Pustaka menyatakan bahwa semakin kecil ukuran partikel zeolit maka semakin besar luas permukaan dan volume porinya [7], [8]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan optimasi pengaruh ukuran partikel terhadap efisiensi pemisahan cesium dalam larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi pada kondisi waktu kontak dan jumlah zeolit yang optimum, karena dengan rentang ukuran partikel yang berbeda akan mempengaruhi jumlah cesium yang terserap oleh zeolit. Pada rentang ukuran partikel yang lebih kecil maka ukuran partikel lebih homogen. Diharapkan pada rentang tersebut dengan penambahan zeolit dan waktu kocok yang optimum dapat meningkatkan efisiensi penggunaan zeolit sebagai adsorban dan media penukar kation. Hal ini berdasarkan teori bahwa, semakin kecil rentang ukuran partikel, maka luas permukaan partikel semakin besar [8], [9].

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah serbuk zeolit yang sudah diaktivasi menggunakan NH_4Cl dan dipisahkan sesuai ukuran butirannya, larutan pasca iradiasi dari cuplikan PEB U_3Si_2/Al posisi tengah/medium (kode M1 dan M3), larutan HCl 0,1N untuk dan aquadest.

Alat yang diperlukan adalah botol plastik untuk tempat larutan PEB, mikropipet dan pipet ukur untuk mentransfer larutan, timbangan

analitik untuk menimbang botol/vial/sampel, shaker untuk proses pengocokan sampel, nampan sebagai wadah/alas sampel, spektrometer- γ untuk pengukuran isotop ^{137}Cs dan *surveymeter* sebagai alat pemantau paparan radiasi.

Tata kerja

Zeolit Lampung sebanyak 500 g disiapkan untuk dilakukan aktivasi menggunakan NH_4Cl jenuh selama 4 jam. Setelah proses aktivasi dilakukan proses dekantasi selama 24 jam sehingga terbentuk 2 lapisan. Lapisan padatan di bagian bawah dan cairan (supernatan) di bagian atas. Selanjutnya padatan zeolit yang sudah dipisahkan dari larutannya dikeringkan menggunakan oven pada suhu $70^\circ C$ selama 16 jam. Setelah padatan kering, kemudian dipisahkan sesuai dengan ukuran partikel menggunakan ayakan ukuran 100, 170, 270 dan 400 mesh. Hasil ayakan disimpan dalam botol sampel.

Larutan pasca iradiasi yang berasal dari cuplikan PEB U_3Si_2/Al posisi tengah/medium (kode M1) dimasukkan ke dalam 8 botol vial (digunakan untuk 4 variasi ukuran partikel zeolit dan dibuat duplo) masing-masing sebanyak $150\mu L$ menggunakan pipet eppendorph. Selanjutnya ditambahkan 2 mL larutan HCl 0,1 N ke dalam masing-masing botol vial tersebut.

Zeolit teraktivasi yang sudah diayak berdasarkan klasifikasi ukuran partikel ditimbang sebanyak 1 g dan dimasukkan ke dalam botol vial yang berisi 2 mL larutan pasca iradiasi. Selanjutnya larutan tersebut dikocok menggunakan shaker selama 1 jam, dan setelah pengocokan, dinding vial dibilas menggunakan HCl sebanyak 1 mL. Larutan yang berisi zeolit didiamkan selama 24 jam sehingga membentuk 2 lapisan padatan pada bagian bawah dan lapisan supernatan pada bagian atas. Lapisan supernatan dipisahkan, kemudian diambil sebanyak 2 mL untuk pengukuran kandungan cesium. Padatan Cs-zeolit dikeringkan di bawah lampu infra-red, untuk selanjutnya kandungan cesium diukur menggunakan spektrometer gamma.

Zeolit dengan ukuran partikel yang optimum selanjutnya digunakan untuk pemisahan cesium larutan M1 dengan variasi berat zeolit yang ditambahkan yaitu 0,5, 0,7, 1 dan 2 gram. Proses optimasi berat zeolit yang ditambahkan seperti yang dilakukan pada optimasi ukuran partikel.

Selanjutnya dilakukan optimasi waktu kontak pada ukuran partikel optimum dan jumlah

zeolit optimum yang ditambahkan. Variasi waktu pengocokan yang dilakukan selama 15, 30, 60, 90, 120 dan 180 menit. Peralatan spektrometer gamma sebelum digunakan untuk analisis, dilakukan kalibrasi menggunakan standar ^{60}Co . Spektrum ^{60}Co akan muncul pada energi gamma 1173 keV dan 1332 keV, sedangkan untuk konfirmasi spektrum ^{137}Cs digunakan *Standard Reference Material (SRM) 4233E* yang muncul pada energi 661,5 keV.

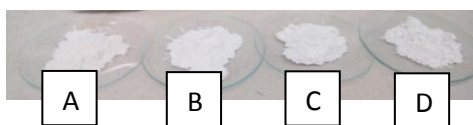
Hasil pengukuran kandungan cesium dalam zeolit untuk masing-masing parameter (ukuran partikel, zeolit yang ditambahkan dan waktu pengocokan) dihitung nilai *recovery*. Kondisi optimal diperoleh melalui persamaan kurva kuadratik. Zeolit dengan ukuran partikel, jumlah yang ditambahkan dan waktu pengocokan yang optimum, digunakan untuk pemisahan cesium dalam larutan cuplikan PEB U_3Si_2/Al posisi tengah/medium triplo (kode M3).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ukuran partikel resin yang digunakan untuk pemisahan pada umumnya berkisar antara 100-200 mesh. Untuk mendapatkan ukuran partikel dengan rentang tertentu maka perlu dilakukan proses pengayakan. Proses pengayakan dan hasil ayakan dengan rentang ukuran partikel yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Proses pengayakan zeolit



Gambar 2. Hasil pengayakan zeolit

Sesuai dengan Gambar 2 maka zeolit sudah dipisahkan sesuai dengan rentang ukuran partikelnya.

Proses aktivasi partikel zeolit bertujuan agar ukuran ion yang terdapat di dalam zeolit sesuai dengan ukuran ion yang dipertukarkan. Dengan demikian, zeolit tersebut dapat digunakan untuk pemisahan cesium dari larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi.

Metode penukar kation menggunakan zeolit untuk penyerapan cesium diterapkan pada larutan PEB U_3Si_2/Al . Tingkat Muat Uranium (TMU) $2,96 \text{ gU/cm}^3$ dari potongan plat pada posisi tengah (M1). Cacah cesium dalam cuplikan larutan sebelum ditambah zeolit diukur menggunakan spektrometer gamma yang terkalibrasi tercantum pada Tabel 1. Cacah cesium dalam larutan standar cesium sebelum ditambah zeolit juga dilakukan oleh peneliti sebelumnya menggunakan metode modifikasi [10].

Tabel 1. Cacah cesium/waktu (cps) dalam 2 mL larutan PEB U_3Si_2/Al TMU $2,96 \text{ gU/cm}^3$

Ukuran partikel, mesh	cps rerata
-100+170	289,138
-170+270	290,483
-270+400	290,523
-400	291,575

Sampel yang digunakan untuk proses pertukaran kation menggunakan zeolit dengan ukuran butir yang bertingkat, sebelum dilakukan penambahan zeolit, diperoleh nilai cacah/waktu yang relatif homogen. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan cesium dalam larutan PEB U_3Si_2/Al relatif sama. Nilai tersebut digunakan sebagai data awal sebelum dilakukan proses pertukaran kation menggunakan zeolit dan sebagai pembandingan terhadap cesium yang telah dikenakan proses pertukaran kation.

Hasil penambahan zeolit sebanyak 1 g dilakukan terhadap larutan pasca iradiasi dalam 8 vial seperti pada Tabel 1. Proses pengocokan menggunakan shaker dilakukan agar terjadi proses adsorpsi dan pertukaran kation antara zeolit dan larutan pasca iradiasi. Lapisan padatan dan supernatan yang sudah terpisah sempurna. Diharapkan cesium yang terdapat di dalam larutan sebagian besar telah terikat oleh zeolit sesuai dengan ukuran butir zeolit yang ditambahkan ke dalam larutan pasca iradiasi, sehingga cairan yang sudah dipisahkan tidak mengandung cesium. Hasil pemisahan antara padatan dan supernatan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Padatan dan supernatan hasil pemisahan menggunakan zeolit

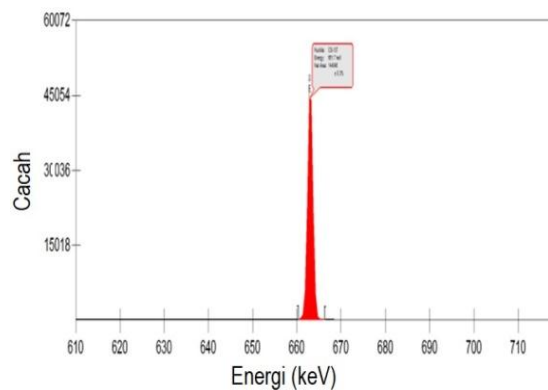
Padatan yang sudah dikeringkan dan supernatan diukur cacah cesium menggunakan spektrometer gamma yang telah terkalibrasi tercantum pada Tabel 2. Hal ini juga sesuai dengan yang dilakukan peneliti sebelumnya dalam analisis isotop cesium menggunakan spektrometer gamma [10].

Tabel 2. Cacah/ waktu (cps) cesium dalam padatan dan supernatan

Ukuran partikel (mesh)	cps rerata padatan	cps rerata supernatan
-100+170	251,184	44,671
-170+270	272,741	28,533
-270+400	287,810	12,839
-400	289,122	11,933

Tabel 2 menunjukkan bahwa sebagian besar cesium terserap ke dalam zeolit sehingga hanya sebagian kecil cesium yang tersisa di dalam supernatan. Spektrum cesium yang terserap zeolit ditunjukkan pada Gambar 4.

Sesuai dengan Gambar 4 dapat dinyatakan bahwa larutan pasca iradiasi yang terserap zeolit dalam padatan hanya mengandung radionuklida cesium. Berdasarkan perhitungan cesium yang terserap dalam zeolit dibandingkan dengan cesium dalam larutan awal maka diperoleh grafik hubungan antara cesium setelah dipisahkan dibanding cesium sebelum dipisahkan dengan variasi ukuran partikel. Nilai cps cesium yang terdapat di dalam padatan zeolit (Tabel 2) dibandingkan dengan nilai cps cesium sebelum dikenakan proses pertukaran kation (Tabel 1) dapat diperoleh nilai *recovery* (%). Hasil perhitungan *recovery* ditunjukkan pada Tabel 3.

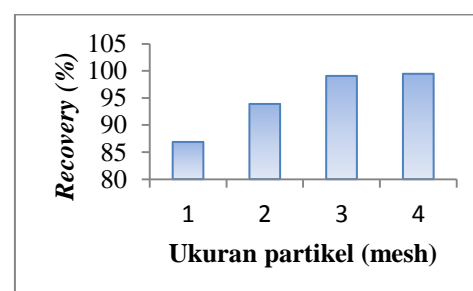


Gambar 4. Spektrum cesium dalam padatan Cs-zeolit, *live time* (LT = 500 detik)

Tabel 3. *Recovery* pemisahan cesium terhadap variasi ukuran partikel zeolit

Ukuran partikel (mesh)	<i>Recovery</i> (%)
-100+170	86,9
-170+270	93,9
-270+400	99,1
-400	99,5

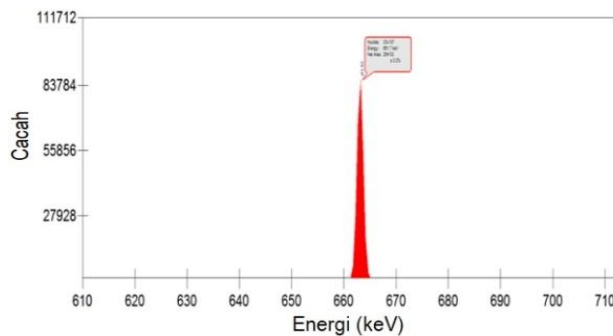
Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin kecil ukuran butir zeolit, maka semakin banyak cesium yang terserap dalam zeolit, dengan kata lain *recovery* meningkat dari 86,9% menjadi 99,1%. Hal ini dimungkinkan karena semakin kecil ukuran partikel, maka semakin besar luas permukaan kontak butir zeolit untuk menyerap cesium [9]. *Recovery* cesium dalam zeolit dengan ukuran partikel lebih besar dari 400 mesh tidak bertambah secara signifikan dibandingkan dengan ukuran partikel -270+400 mesh. Selain itu pemisahan antara padatan dan supernatan untuk ukuran partikel yang lebih besar dari 400 mesh relatif sulit, sehingga serbuk zeolit yang mengandung cesium sebagian terambil di fase supernatan. Berdasarkan hal tersebut maka ukuran partikel zeolit yang digunakan untuk pengambilan cesium dari larutan pasca iradiasi pada ukuran partikel optimum yaitu -270+400 mesh.



Gambar 5. Pengaruh ukuran partikel zeolit terhadap kandungan cesium yang terserap dalam zeolit. Sumbu-

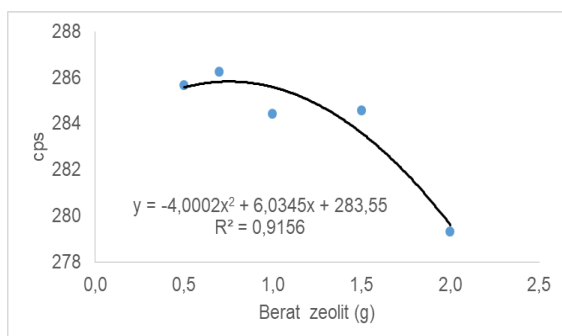
X: (1) -100+170 mesh (2) -170+270 mesh (3) -270+400 mesh (4) -400 mesh

Supernatan yang sudah dipisahkan dari fase padat dicacah menggunakan spektrometer gamma untuk memastikan bahwa ada atau tidak ada cesium yang tersisa di supernatan. Hasil pengukuran supernatan ditunjukkan pada Gambar 6. Supernatan hasil pemisahan dari padatan masih mengandung cesium, tetapi jumlah cesium yang terkandung dalam supernatan jauh lebih kecil dibandingkan cesium yang terserap zeolit. Oleh karena itu, untuk menunjukkan spektrum cesium yang masih tertinggal di supernatan, diperlukan waktu pencacahan yang lama ($LT = 20000$ detik) dibanding waktu pencacahan cesium dalam padatan ($LT = 500$ detik). Kandungan cesium dalam bentuk cacah/ waktu (cps) ditunjukkan pada Tabel 2.



Gambar 6. Spektrum cesium dalam supernatan, $LT = 20000$ detik

Zeolit dengan ukuran partikel optimum selanjutnya digunakan untuk proses pertukaran kation dengan penambahan berat zeolit yang bervariasi seperti yang dilakukan pada penelitian sebelumnya [5]. Hasil perhitungan *recovery* tertuang pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh penambahan zeolit terhadap kandungan cesium dalam zeolit setelah proses pertukaran kation

Berdasarkan Gambar 7, diperoleh persamaan kurva kuadratik,

$$y = -4,0002x^2 + 6,035x + 283,55 \quad (1)$$

dengan nilai R^2 sebesar 0,9156. Persamaan (1) diturunkan untuk memperoleh berat zeolit optimum yang ditambahkan, sehingga persamaan tersebut menjadi

$$\frac{dy}{dx} = -8,0004x + 6,0345 \quad (2)$$

Nilai optimum bisa didapatkan dengan membuat nilai turunan persamaan kurva menjadi sama dengan 0, sehingga diperoleh nilai x [11].

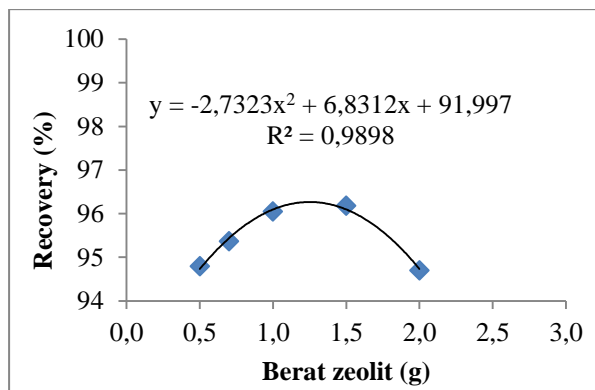
$$\begin{aligned} 0 &= -8,0004x + 6,0345 \\ 8,0004x &= 6,0345 \\ x &= \frac{6,0345}{8,0004} \\ x &= 0,7543 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan secara teoritis tersebut, didapatkan bahwa berat optimum zeolit yang dapat ditambahkan sebesar 0,7543 g. Bila nilai cacahan pada Gambar 7 dikonversi menjadi nilai *recovery*, maka diperoleh hasil perhitungan seperti pada Tabel 4.

Nilai *recovery* maksimum yang tercantum pada Tabel 4 sebesar 96,2% pada penambahan berat zeolit sebanyak 1,5 g. Nilai *recovery* yang diperoleh lebih rendah daripada 99,1% pada optimasi ukuran partikel. Hal ini disebabkan adanya faktor geometri yang mempengaruhi hasil pengukuran cesium. Semakin banyak zeolit yang ditambahkan pada larutan maka volume zeolit semakin besar sehingga geometri zeolit juga berbeda [12]. Berdasarkan hal tersebut maka penambahan berat zeolit ditetapkan sebanyak 1 g sesuai dengan kondisi optimasi ukuran partikel zeolit. Tabel 4 bila dituangkan dalam bentuk grafik seperti tercantum pada Gambar 8.

Tabel 4. *Recovery* pemisahan cesium terhadap variasi penambahan berat zeolit

Berat zeolit yang ditambahkan (g)	<i>Recovery</i> (%)	Uji beda (t-test)
0,5	94,8	122,5
0,7	95,4	2,3
1,0	96,1	3,0
1,5	96,2	0,0
2,0	94,7	4,5



Gambar 8. Hubungan antara penambahan zeolit ke dalam larutan pasca iradiasi terhadap recovery cesium dalam padatan Cs-zeolit

Bila diturunkan dari persamaan yang tercantum pada Gambar 8.

$$y = -2,7323x^2 + 6,8312x + 91,997 \quad (3)$$

menjadi

$$\frac{dy}{dx} = -5,4646x + 6,8312 \quad (4)$$

Nilai optimum diperoleh bila $dy/dx = 0$, sehingga nilai $x = 1,25$, berarti berdasarkan perhitungan tersebut maka berat zeolit optimum yang ditambahkan sebanyak 1,25 g. Perhitungan berat optimum berdasarkan Gambar 7 berbeda dengan Gambar 8. Hal ini disebabkan oleh trendline kurva Gambar 7 dibuat dengan pendekatan persamaan polinomial, sedangkan pada Gambar 8 persamaan polinomial bersinggungan pada semua data. Untuk membuktikan nilai tersebut berbeda secara signifikan atau tidak maka dilakukan konfirmasi dengan perhitungan secara statistik menggunakan uji beda (uji-t). Hasil perhitungan uji-t tertuang pada Tabel 4. Berdasarkan tabel uji-t yang tercantum dalam pustaka [13] menunjukkan nilai uji-t = 12,7. Data uji-t pada Tabel 4 kurang dari nilai tabel, maka recovery penambahan zeolit dengan variasi berat 0,75 sampai dengan 1,5 g tidak memberikan perbedaan yang signifikan. Berdasarkan perhitungan tersebut penambahan berat zeolit 0,75 g sebagai acuan.

Zeolit dengan ukuran partikel -270+400 mesh dan berat 0,75 g digunakan untuk menentukan waktu pengocokan optimum dalam proses pertukaran kation. Pengaruh waktu pengocokan terhadap recovery ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Pengaruh waktu pengocokan terhadap recovery

Waktu (menit)	Recovery (%)	Uji beda (t-test)
15	93,1	2,5
30	92,3	3,0
60	93,9	12,2
90	93,9	0,0
120	93,6	2,0
180	94,2	1,9

Berdasarkan Tabel 5, setelah dilakukan perhitungan statistik melalui uji beda diperoleh nilai maksimum 5,33. Nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan nilai Tabel referensi [13] yaitu 12,7, sehingga dapat dinyatakan bahwa waktu pengocokan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap recovery. Recovery yang tercantum pada Tabel 5 diperoleh rata-rata sekitar 93%. Nilai ini lebih rendah dibanding nilai recovery pada variasi jumlah zeolit yang ditambahkan yaitu sekitar 96%. Hal ini disebabkan oleh adanya penambahan zeolit sebesar 0,75 g berdasarkan perhitungan teoritis. Sehingga kemungkinan untuk memperoleh recovery yang lebih besar diperlukan penambahan zeolit yang lebih banyak, maksimal 1,25 g berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan 3 dan 4. Dengan demikian waktu pengocokan ditetapkan berdasarkan waktu yang digunakan untuk penentuan ukuran partikel zeolit yang optimum yaitu 1 jam.

Untuk membuktikan efisiensi pengaruh ukuran butir terhadap recovery, maka dilakukan pemisahan cesium dalam cuplikan larutan pasca iradiasi posisi M3, dengan penambahan zeolit sebanyak 1 g dan waktu kontak 1 jam. Hasil perhitungan recovery pemisahan cesium dari cuplikan larutan tercantum dalam Tabel 6.

Tabel 6. Recovery pemisahan cesium dengan interval ukuran partikel yang berbeda

Kode sampel	Ukuran butir zeolit	Recovery (%)
M3 mix	-100+400 mesh	83,6
M3 sieving	-270+400 mesh	94,6

Sesuai dengan Tabel 6 maka hipotesis yang menyatakan bahwa ukuran partikel mempengaruhi efisiensi pengambilan cesium menggunakan metode penukar kation sesuai dengan hasil yang diperoleh. Hal ini juga dibuktikan oleh peneliti lain yang mempelajari pengaruh ukuran partikel pada proses pertukaran ion [9], [14].

KESIMPULAN

Ukuran partikel zeolit sangat berpengaruh terhadap pemisahan cesium dalam larutan PEB U_3Si_2/Al pasca iradiasi. Zeolit yang mempunyai ukuran partikel -270+400 mesh sebanyak 1 g, dengan waktu pengocokan 1 jam dapat mengikat cesium dalam cuplikan larutan pasca iradiasi secara optimal. Nilai *recovery* sebesar 99,1% dengan kandungan ^{137}Cs yang diperoleh sebesar 0,0543 μg .

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Ir. Dian Anggraini, kepala kelompok Fisikokimia Ir. Aslina Br. Ginting dan kepala BUR Ir. Sungkono, MT. yang telah membantu memfasilitasi kegiatan ini dan dana DIPA 2017 dalam pengadaan bahan dan alat yang sangat membantu memperlancar penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ginting, Yanlinastuti, Noviarthy, Boybul, A. Nugroho, D. Anggraini, R. Kriswarini, "Penentuan Burn Up Mutlak Pelat Elemen Bakar U_3Si_2/Al Tingkat Muat Uranium 2,96 g/cm^3 Pasca Iradiasi," *J. Teknol. Bahan Nukl.*, vol. 11, no. 2, pp. 83-98, 2015.
- [2] Boybul, Yanlinastuti, Dian Anggraini, Arif Nugroho, Rosika Kriswarini, Aslina Ginting "Analisis Kandungan Cesium Dan Uranium Dalam Bahan Bakar U_3Si_2/Al Pasca Iradiasi," *J. Ilm. Daur Bahan Bakar Nukl. Urania*, vol. 23, no. 2, pp. 107-116, 2017.
- [3] R. Pabalan, F. P. Bertetti, *Cation-Exchange Properties of Natural Zeolites*. CNWRA A Center Of Excellence In Earth Sciences And Engineering, 2000.
- [4] D. Rosalia, "Ion Exchange," 2012. [Online]. Available: shintarosalia.lecture.ub.ac.id/files/2012/03/SRD_ion-exchange.pptx.
- [5] A. Ginting, A. Dian, "Pengaruh Penambahan Zeolit Terhadap Pemisahan Isotop ^{137}Cs dalam Pelat Elemen Bakar Nuklir U_3Si_2-Al Pasca Iradiasi," *J. Teknol. Bahan Nukl.*, vol. 7, no. 2, pp. 123-135, 2011.
- [6] A. Ginting, A. Dian, S. Indaryati, R. Kriswarini "Karakterisasi Komposisi Kimia, Luas Permukaan Pori dan Sifat Termal Dari Zeolit Bayah, Tasikmalaya, dan Lampung," *J. Teknol. Bahan Nukl.*, vol. 3, no. 1, pp. 38-48, 2007.
- [7] Y. Sun, J. Wang, X. Li, H. Du, Q. Huang, X. Wang, "The Effect of Zeolite Composition and Grain Size on Gas Sensing," *Sensors*, vol. 18, no. 2, pp. 1-14, 2018.
- [8] P. Czapiak, M. Czechowicz, "Effects of Natural Zeolite Particle Size on The Cement Paste Properties," *Struct. Environ.*, vol. 9, no. 3, pp. 180-190, 2017.
- [9] I. Dubois, S. Holgersson, S. Allard, M.E. Malmstrom, "Correlation Between Particle Size and Surface Area for Chlorite and K-Feldspar," in *Water-Rock Interaction*, 2010, pp. 717-720.
- [10] A. Nugroho, D. Anggraini, Noviarthy, "Analisis Isotop Cs dalam Proses Pemisahan Cs dengan Zeolit Menggunakan Spektrometri- γ ," *J. Zeolit Indones.*, vol. 9, no. 2, pp. 75-78, 2010.
- [11] K. Soetaert, T. Petzoldt, and R. W. Setzer, "Solving Differential Equation in R," *R J.*, vol. 2, no. 2, pp. 5-15, 2010.
- [12] H. Candra, Pujadi, G. Wurdianto, "Pengaruh Efek Geometri Pada Kalibrasi Efisiensi Detektor Semikonduktor HPGe Menggunakan Spektrometer Gamma," in *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXIV, HFI Jateng & DIY*, 2010, pp. 258-264.
- [13] R. Anderson, *Practical Statistics for Analytical Chemists*. Van Nostrand Reinhold Company, 1987.
- [14] M. Octavia, A. Halim, R. Indriani, "Pengaruh Besar Ukuran Partikel Terhadap Sifat - Sifat Tablet Metronidazol," *J. Farm. Higea*, pp. 75-91, 2012.

