

## PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT TERHADAP PEMISAHAN ISOTOP $^{137}\text{Cs}$ DALAM PELAT ELEMEN BAKAR $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ PASCA IRADIASI

**Aslina Br.Ginting, Dian Anggraini**

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir - BATAN  
aslina@batan.go.id

(Diterima 13-7-2011, disetujui 22-9-2011)

### ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN ZEOLIT TERHADAP PEMISAHAN ISOTOP  $^{137}\text{Cs}$  DALAM PELAT ELEMEN BAKAR  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  PASCA IRADIASI. Tujuan penelitian ini adalah untuk penentuan derajat bakar dan penanganan limbah uranium teriradiasi PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi yang masih mempunyai paparan radiasi yang sangat tinggi. Sehingga sebelum melakukan analisis isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam Pelat Elemen Bakar (PEB)  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi terlebih dahulu dilakukan simulasi analisis menggunakan isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard dari NIST (*National Institute of Standards Technology*). Analisis kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard sebanyak 50  $\mu\text{L}$  dalam 2 ml  $\text{H}_2\text{O}$  dilakukan menggunakan penambahan zeolit Lampung dengan variasi berat 100; 150; 200;300 dan 400 mg, selanjutnya aktivitas isotop  $^{137}\text{Cs}$  diukur menggunakan Spektrometer gamma. Hasil analisis menunjukkan bahwa berat zeolit yang paling banyak mengikat isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard adalah pada penambahan zeolit 300 mg yaitu dari 0,0098  $\mu\text{g}$  (sebelum ditambah zeolit) menjadi 0,0127  $\mu\text{g}$  (setelah ditambah zeolit) atau sekitar 96,21 %. Kondisi yang relatif baik ini kemudian digunakan untuk melakukan analisis kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi. Larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi dipipet sebanyak 50  $\mu\text{L}$  dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi yang berisi 2 ml  $\text{H}_2\text{O}$ , kemudian ke dalam tabung ditambahkan zeolit sebanyak 300 mg, selanjutnya dikocok dan dibiarkan selama 24 jam sehingga terpisah antara endapan dan supernatan. Isotop  $^{137}\text{Cs}$  yang terikat di dalam endapan dan supernatan di analisis menggunakan Spektrometer gamma. Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  di dalam 50  $\mu\text{L}$  larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi diperoleh sebesar 0,0341  $\mu\text{g}$  dengan aktivitas 109222 (Bq/g). Hasil analisis ini dapat digunakan sebagai langkah lanjut dalam hal memahami aspek aspek pemisahan larutan pasca iradiasi dalam menunjang perhitungan *burn up*.

Kata kunci: PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi, Spektrometer gamma , isotop  $^{137}\text{Cs}$ , zeolit dan proses pemisahan isotop.

## **ABSTRACT**

*THE EFFECT OF ZEOLITE ADDITION ON THE SEPARATION OF  $^{137}\text{Cs}$  IN IRRADIATED  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  FUEL ELEMENT PLATE. The objective of this research is to determine burn up and handle the waste of irradiated uranium. Irradiated  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  fuel element plate still emits high radiation exposure. Therefore it was necessary to perform analysis simulation using standard  $^{137}\text{Cs}$  from NIST (National Institute of Standards Technology) prior to the analysis of  $^{137}\text{Cs}$  in irradiated  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  fuel solution. The analysis of  $^{137}\text{Cs}$  standard used sample of 50  $\mu\text{L}$  in 2 ml  $\text{H}_2\text{O}$  and the addition of Lampung zeolite with weight variation of 100, 150, 200, 300 dan 400 mg. The activity of  $^{137}\text{Cs}$  solution samples were measured with gamma spectrometer. The result showed that the greatest adsorption of standard  $^{137}\text{Cs}$  was occurred at addition of 300 mg zeolite, i.e increasing from 0,0098  $\mu\text{g}$  of  $^{137}\text{Cs}$  before addition to 0,0127  $\mu\text{g}$  after the addition of zeolite, or approximately 96,21 %. This optimum condition was used in the analysis of  $^{137}\text{Cs}$  content in irradiated  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  solution. Fifty micro liter of irradiated  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  solution was mixed into 2 ml  $\text{H}_2\text{O}$  and 300 mg of zeolite was added to the mixture. Sample mixture was shaken and kept for 24 hours to separate the precipitate from the supernatant. The  $^{137}\text{Cs}$  adsorbed in the precipitate and the supernatant were subsequently analyzed with gamma spectrometer. The analysis result showed that 50  $\mu\text{L}$  of irradiated  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  solution contained 0,0341 of  $^{137}\text{Cs}$  with the activity of 109222 (Bq/g). This result might be become a contribution to the study of the separation of isotopes in irradiated nuclear fuel as well as to the calculation of burn up.*

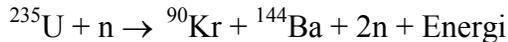
*Free Terms: irradiated  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ , gamma spectrometer,  $^{137}\text{Cs}$ , zeolite, isotope separation*

## **I. PENDAHULUAN**

Pelat elemen bakar (PEB)  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  yang telah mengalami radiasi di reaktor akan menghasilkan beberapa hasil fisi diantaranya adalah transuranium (U,Pu), isotop  $^{137}\text{Cs}$  dan hasil fisi lainnya (seperti  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ). Dalam melakukan analisis *burn up* (fraksi bakar), banyak larutan hasil analisis elemen bakar nuklir pasca-iradiasi disimpan dalam bilik-panas (*hot cell*) dengan keaktifan yang sangat tinggi dan belum dapat dilimbahkan karena mengandung unsur-unsur berat dari uranium serta transuranium yang mempunyai umur paroh panjang. Beberapa jenis isotop mempunyai umur paroh panjang khususnya isotop  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{235}\text{U}$  dan  $^{239}\text{Pu}$  sehingga belum memenuhi persyaratan pengelolaan atau pengolahan limbah yang ada di BATAN. Hal ini menjadikan latar belakang untuk melakukan pemisahan hasil fisi tersebut untuk dipreparasi dan dianalisis kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam bahan bakar bekas tersebut, sekaligus juga membantu BATAN dalam rangka pengendalian limbah

radioaktif. Hasil fisi isotop  $^{137}\text{Cs}$  adalah pemancar radioaktif gamma yang dapat diisolasi dengan zeolit Lampung guna mendapatkan sumber radiasi  $\gamma$  yang dapat dimanfaatkan dalam penelitian sebagai isotop monitor *burn-up* bahan bakar nuklir<sup>[1]</sup>.

Analisis *burn-up* merupakan salah satu kegiatan analisis fisiko kimia yang dimulai dari penentuan aspek-aspek analisis *burn up* hingga perhitungan *burn-up*. Analisis *burn-up* dapat digunakan untuk mengetahui unjuk kerja PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  selama di reaktor. Salah satu kegiatan analisis *burn up* adalah dengan melakukan analisis kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi. PEB pasca-iradiasi memancarkan berbagai jenis radioaktif sinar- $\alpha$ ,  $\beta$  dan  $\gamma$  yang berasal dari berbagai jenis isotop sisa bahan bakar dan hasil fisinya. Secara umum reaksi fisi yang terjadi mengikuti persamaan reaksi *thermal neutron* sebagai berikut:



$^{90}\text{Kr}$ ,  $^{144}\text{Ba}$  adalah isotop hasil fisi yang masih dapat meluruh dan menghasilkan isotop-isotop lain sebagai hasil fisi yang lebih stabil, diantaranya adalah isotop radioaktif pemancar- $\gamma$  dengan waktu paroh panjang yaitu  $^{90}\text{Sr}$  dan  $^{137}\text{Cs}$  [2,3,4].

Data-data fisi tersebut sangat penting diketahui untuk digunakan menghitung *burn-up* dengan tujuan untuk mengetahui, verifikasi, evaluasi dan validasi unjuk kerja bahan bakar nuklir baik dari sisi pabrikasi maupun unjuk kerja di reaktor. Data hasil fisi yang dibutuhkan untuk menghitung *burn-up* adalah jumlah isotop  $^{235}\text{U}$  atau fraksi bakar U secara mutlak dan isotop  $^{137}\text{Cs}$  [5,6]. Ada beberapa cara pengukuran yang dilakukan untuk mengukur isotop, secara umum biasanya dilakukan dengan menggunakan Spektrometer-massa, namun BATAN belum mempunyai alat tersebut sehingga dilakukan dengan cara pengukuran komposisi isotop radioaktif dengan menggunakan Spektrometri- $\alpha$  maupun Spektrometri- $\gamma$ . Hasil analisis menggunakan Spektrometer gamma adalah berupa cacahan per detik (cps) yang selanjutnya dapat di estimasi menjadi besaran aktivitas (Bq/g) dengan menggunakan rumus efisiensi detektor sbb:

$$eff = \frac{C_i * f_{cal}}{Akt * Yield} \quad (1)$$

$$N = \frac{Akt}{\epsilon \cdot I_{rel} \cdot \lambda} \quad (2)$$

Keterangan:

$C_i$  = Jumlah cacahan, dihitung dari *net counts* isotop ( $C - C_{bg}$ )

$f_{cal}$  = koreksi peluruhan dari isotop selama interval waktu ( $t_2$ ) pengukuran cacahan

Yield = Faktor intensitas dari isotop  $^{137}\text{Cs}$  (lihat daftar tabel isotop).

$N$  = jumlah isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam berat tertentu sampel bahan bakar nuklir

Akt = keaktifan isotop  $^{137}\text{Cs}$ , dps atau Bq

$\epsilon$  = efisiensi detektor

$I_{rel}$  = Intensitas relatif puncak isotop  $^{137}\text{Cs}$  pada energi yang diukur

$\lambda$  = konstanta peluruhan atau  $(\ln 2)/T_{1/2}$

$T_{1/2}$  = waktu paruh dari isotop  $^{137}\text{Cs}$ , tahun (365 hari atau 31536000 detik)

Pada tulisan ini, hanya dilakukan analisis isotop  $^{137}\text{Cs}$  sebagai salah satu isotop pemancar- $\gamma$  yang dapat digunakan sebagai pemonitor pada penentuan *burn-up*. *Fission Yields* (FY)  $^{134}\text{Cs}$  ( $t_{1/2}$  : 2,08 tahun) = 7,68%, sedangkan FY  $^{137}\text{Cs}$  ( $t_{1/2}$  : 30,17 tahun) = 6,26%. Rumus umum yang digunakan untuk menghitung *burn-up* adalah<sup>[7,8]</sup>:

$$\begin{aligned} & (A/Y) \\ \% \text{ BU} &= \frac{\text{HE} + (A/Y)}{[(N^{137}\text{Cs}/ \text{Yield}^{137}\text{Cs})]} \times 100\% \quad \text{atau} \\ \% \text{ BU} &= \frac{\text{HE}(U_i, \text{Pu}) + [(N^{137}\text{Cs}/ \text{Yield}^{137}\text{Cs})]}{[(N^{137}\text{Cs}/ \text{Yield}^{137}\text{Cs})]} \times 100\% \quad (3) \end{aligned}$$

Dimana,

$A$  = *Number of fission product* monitoring atom (pada tulisan ini isotop  $^{137}\text{Cs}$ )

$\text{HE}$  = *Heavy of Element* (isotop U dan Pu)

$Y$  = *Yield (kelimpahan isotop)* untuk  $^{137}\text{Cs}$  dan  $\text{HE}$  (Tabel)

$N^{137}\text{Cs}$  = Jumlah atom isotop  $^{137}\text{Cs}$

$U_i$  = Jumlah isotop  $^{235}\text{U}$  yang terbakar

Cesium mempunyai dua jenis isotop yaitu  $^{134}\text{Cs}$  dan  $^{137}\text{Cs}$ , isotop  $^{134}\text{Cs}$  mempunyai waktu paruh ( $t_{1/2}$ ) 2 tahun, dipertimbangkan tidak efektif digunakan sebagai sumber- $\gamma$ , sehingga fokusnya ditujukan kepada  $^{137}\text{Cs}$  yang mempunyai waktu paruh ( $t_{1/2}$ ) 30,17 tahun dan dapat dijadikan sebagai sumber- $\gamma$  yang berumur panjang. Selain itu pula larutan PEB  $U_3Si_2$ -Al pasca iradiasi yang telah ada di laboratorium radiometalurgi selama 15 tahun, keaktifan dari kandungan  $^{134}\text{Cs}$ -nya telah melemah, secara perhitungan masih tersisa 0,06% dari keaktifan semula bahkan akan habis. Sedangkan keaktifan  $^{137}\text{Cs}$  belum

melampaui waktu parohnya, dan masih ada sekitar 80 % dari keaktifan semula sehingga  $^{137}\text{Cs}$  tersebut masih dapat dipergunakan sebagai sumber radiasi- $\gamma$  untuk kurun waktu yang cukup lama mengingat waktu parohnya sekitar 16 tahun lagi.

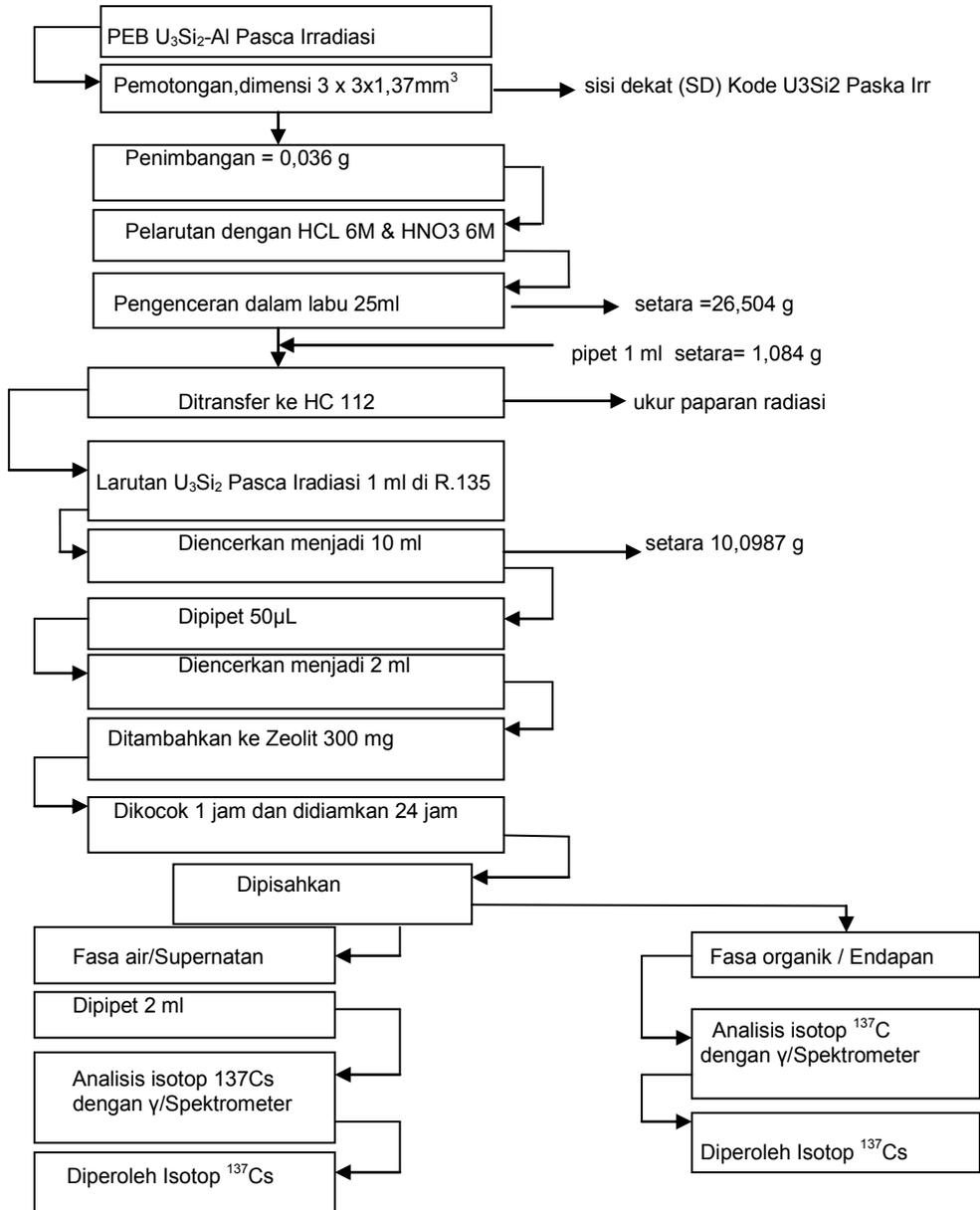
Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian validasi metode dan teknik pemisahan isotop transuranium (U,Pu) dan isotop  $^{137}\text{Cs}$ . Dari hasil penelitian tersebut telah dipahami teknik pemisahan isotop  $^{137}\text{Cs}$  serta besaran kapasitas tukar kation (KTK) antara isotop  $^{137}\text{Cs}$  dengan berbagai jenis zeolit seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1.  
 Kapasitas Tukar Kation Berbagai Zeolit

No	Jenis zeolit	KTK (meq/g)
1.	Bayah	1,4269
2.	Lampung	1,4476
3.	Tasikmalaya	1,4044

Dari Tabel 1 dapat diketahui bahwa zeolit Lampung mempunyai KTK yang lebih besar dari jenis zeolit lainnya. Sehingga untuk menindaklanjuti hasil penelitian tersebut, maka pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh penambahan zeolit Lampung terhadap pemisahan isotop  $^{137}\text{Cs}$ . Hal ini harus dilakukan mengingat PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi masih mempunyai paparan radiasi yang sangat tinggi sehingga peneliti dalam bekerja harus mengikuti prosedur penanganan bahan radioaktif (ALARA = *As Low As Reasonably Achievable*). Oleh karena itu sebelum melakukan analisis isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi terlebih dahulu dilakukan simulasi analisis menggunakan isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard dari NIST (*National Institute of Standards Technology*) sehingga diperoleh berat optimum zeolit Lampung yang digunakan lebih lanjut untuk analisis isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi.

Setelah diperoleh berat zeolit yang paling banyak mengikat isotop  $^{137}\text{Cs}$ , kemudian dilakukan pemisahan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dari campuran isotop-isotop unsur lain yang terdapat dalam larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca-iradiasi sehingga diperoleh kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$ .



Gambar 1. Skema pemisahan isotop <sup>137</sup>Cs dalam PEB U<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>-Al pasca iradiasi menggunakan zeolit

Hasil penelitian ini selanjutnya dapat digunakan untuk melakukan perhitungan *burn up* (fraksi bakar)nya dan proses pelaksanaan penelitian ini dapat meningkatkan pemahaman teknik uji pasca iradiasi dan kompetensi dalam hal penanganan PEB pasca iradiasi baik di dalam *hotcell* maupun di luar *hotcell* dimana harus mengedepankan faktor-faktor keselamatan kerja terhadap bahaya radiasi.

## II. TATA KERJA

Sebelum melakukan analisis terhadap isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi terlebih dahulu dilakukan analisis isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard dari NIST (*National Institute of Standards Technology*) dengan tujuan untuk mendapatkan kondisi pemisahan  $^{137}\text{Cs}$  yang optimum. Analisis kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard sebanyak 50  $\mu\text{L}$  dalam 2 ml  $\text{H}_2\text{O}$  dilakukan dengan penambahan zeolit Lampung dengan variasi berat 100; 150; 200; 300 dan 400 mg, selanjutnya masing masing isotop  $^{137}\text{Cs}$  diukur aktivitasnya menggunakan Spektrometer gamma. Setelah diperoleh berat zeolit yang paling banyak mengikat isotop  $^{137}\text{Cs}$  kemudian dilakukan analisis kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi. PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  dipotong dengan ukuran 3 x 3 x 1,37 mm atau seberat 100 mg kemudian potongan tersebut dilarutkan, disaring ,diencerkan di dalam *hotcell* (HC) 109 hingga paparan radiasinya memenuhi persyaratan untuk diransfer ke R.135 (*medium activity*) ( $\leq 150 \mu\text{Sv/jam}$ ). Di R.135 dilakukan pemisahan hasil fisi isotop  $^{137}\text{Cs}$  dengan cara memipet larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi sebanyak 50  $\mu\text{L}$  kemudian ditambahkan 2 ml  $\text{H}_2\text{O}$  dan zeolit sebanyak 300 mg. Selanjutnya dikocok dan didiamkan selama 24 jam sehingga terpisah antara endapan dan supernatan. Kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam endapan dan supernatan kemudian dianalisis menggunakan Spektrometer gamma. Adapun langkah langkah pemisahan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi diuraikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dilakukan pengukuran aktivitas (Bq/g) isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard sebanyak 50 $\mu\text{L}$  dalam 2 ml  $\text{H}_2\text{O}$  yang diperoleh dari Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR) BATAN. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui besaran efisiensi detektor dan akurasi pengukuran. Penentuan besaran efisiensi detektor dilakukan dengan mengukur isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard 50 $\mu\text{L}$  dalam 2ml  $\text{H}_2\text{O}$  dengan 5 (lima) kali pengulangan. Hasil pengukuran diperoleh berupa cacahan yang setara dengan besarnya aktivitas

50µL isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard. Cacahan kemudian dihitung menggunakan persamaan (2) sehingga diperoleh besaran efisiensi detektor dan akurasi pengukuran pada jarak sampel dengan detektor sebesar 25 cm. Hasil analisis aktivitas (Bq/g) isotop  $^{137}\text{Cs}$  dan efisiensi detektor yang dilakukan pada energi 661,8 keV ditunjukkan pada Tabel 2.

Dari Tabel 2 diperoleh efisiensi detektor sebesar 0,00053 dengan akurasi pengukuran sebesar 0,2833% (memenuhi kriteria keberterimaan kaidah statistik). Setelah diperoleh efisiensi detektor dan akurasi pengukuran kemudian terhadap isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard 50µL dalam 2ml H<sub>2</sub>O ditambahkan zeolit Lampung dengan variasi berat 100; 150; 200; 300 dan 400 mg dan dibiarkan selama 24 jam hingga terbentuk endapan Cs-Zeolit. Kemudian dilakukan ekstraksi yang dilanjutkan dengan *sentrifuge* selama 1 jam sehingga terpisah antara endapan Cs-Zeolit dengan supernatan.

Tabel 2.

Besaran Efisiensi detektor Gamma Spektrometer Pada Energi  $^{137}\text{Cs}$  (661,8keV) dengan waktu cacah 1500 detik dan jarak 25 cm.

No.	Net Area	cps	Yield	Aktivitas Standard (Bq/g)	Aktivitas Pengukuran (Bq/g)	Efisiensi detektor	Akurasi (%)
1.	21993	14,6620	0,851	32802,578	32709,637	0,00053	0,2833
2.	22044	14,6960	0,851			0,00053	
3.	22369	14,9127	0,851			0,00053	
4.	22135	14,7569	0,851			0,00053	
5.	22214	14,8093	0,851			0,00053	

Kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam endapan campuran Cs-Zeolit dan supernatan dianalisis dengan menggunakan alat Spektrometer gamma. Hasil analisis dengan waktu cacah 1500 detik kemudian dievaluasi dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) dengan waktu paroh isotop  $^{137}\text{Cs}$  sebesar 30,17 tahun seperti contoh perhitungan sampel A (sebelum ditambah zeolit) pada Tabel 3 dibawah ini:

Tabel 3.

Contoh evaluasi data dari *net area* menjadi kandungan Isotop  $^{137}\text{Cs}$

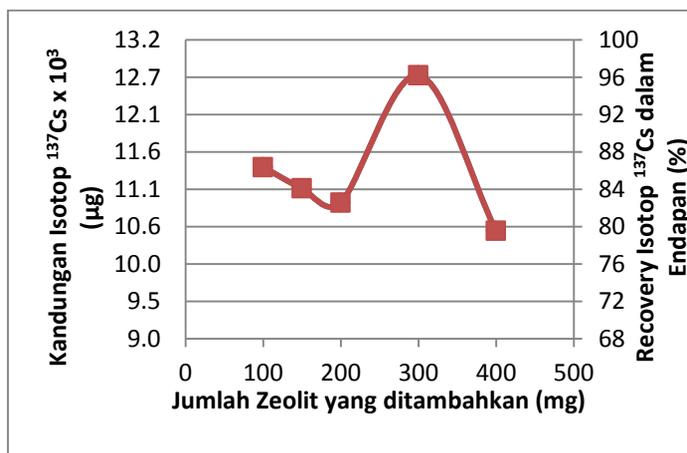
Sampel	Net Area	cps	Eff detektor	Yield (tabel)	At ( Bq/g)	N=At/λ	W= NxBA/NA (µg)
A	21328	14,2189	0,00053	0,851	31525,37	4,33E+13	0,0099

Secara keseluruhan hasil evaluasi kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  sebelum dan sesudah ditambah zeolit ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 2.

Tabel 4.

Kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  sebelum dan sesudah ditambah zeolit.

No.	Nama Sampel	Sebelum ditambah Zeolit ( $\mu\text{g}$ )	Perlakuan penambahan Zeolit	Sesudah ditambah Zeolit ( $\mu\text{g}$ )	Pengikatan $^{137}\text{Cs}$ oleh zeolit (%)
1.	Kandungan $^{137}\text{Cs}$ 50 $\mu\text{L}$ (Sertifikat)	<b>0,0132</b>			
2.	Isotop $^{137}\text{Cs}$ standard 50 $\mu\text{L}$ dalam 2ml $\text{H}_2\text{O}$ (A)	0,0099	Endapan A + 100 mg	0,0114	86,3636
3.	Isotop $^{137}\text{Cs}$ standard 50 $\mu\text{L}$ dalam 2ml $\text{H}_2\text{O}$ (B)	0,0095	Endapan B + 150 mg	0,0111	84,0909
4.	Isotop $^{137}\text{Cs}$ standard 50 $\mu\text{L}$ dalam 2ml $\text{H}_2\text{O}$ (C)	0,0095	Endapan C+ 200 mg	0,0109	82,5758
5.	Isotop $^{137}\text{Cs}$ standard 50 $\mu\text{L}$ dalam 2ml $\text{H}_2\text{O}$ (D)	0,0098	Endapan D + 300 mg	0,0127	96,2121
6.	Isotop $^{137}\text{Cs}$ standard 50 $\mu\text{L}$ dalam 2ml $\text{H}_2\text{O}$ (E)	0,0096	Endapan E + 400 mg	0,0105	79,5455



Gambar 2. Hubungan penambahan zeolit dengan recovery isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam endapan

Dari Tabel 4 diperoleh bahwa kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam 2 ml  $\text{H}_2\text{O}$  (sebelum di tambahkan zeolit berkisar antara 0,0095  $\mu\text{g}$  hingga 0,0099  $\mu\text{g}$ . Sedangkan dari hasil analisis setelah ditambah zeolit diperoleh kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  menjadi lebih besar yaitu berkisar antara 0,0105  $\mu\text{g}$  hingga 0,0127

$\mu\text{g}$  dan yang paling besar terdapat pada penambahan zeolit 300 mg yaitu dari 0,0098  $\mu\text{g}$  (sebelum ditambah zeolit) menjadi 0,0127  $\mu\text{g}$  (setelah ditambah zeolit) atau sekitar 96,21% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.

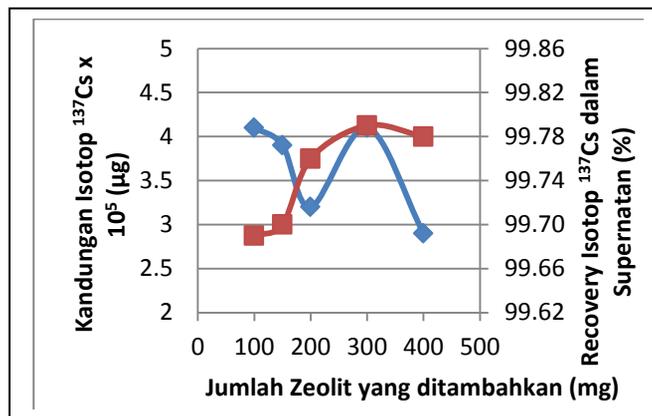
Tabel 5.  
Kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam supernatan

No,	Nama Sampel dan penambahan Zeolit	Kandungan $^{137}\text{Cs}$ Dalam Supernatan ( $\mu\text{g}$ )	Pengikatan $^{137}\text{Cs}$ oleh Zeolit Dalam Supernatan (%)
1.	Supernatan A + 100 mg	0,000041	99.6894
2.	Supernatan B + 150 mg	0,000039	99.7045
3.	Supernatan C+ 200 mg	0,000032	99.7576
4.	Supernatan D + 300 mg	0,000041	<b>99.7894</b>
5.	Supernatan E + 400 mg	0,000029	99.7803

Dari hasil analisis kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam supernatan diperoleh isotop  $^{137}\text{Cs}$  sangat kecil yaitu sekitar 0,000029  $\mu\text{g}$  hingga 0,000041  $\mu\text{g}$ . Bila dibandingkan dengan kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam standard sebesar 0,0132  $\mu\text{g}$  maka dapat dinyatakan bahwa isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam 50  $\mu\text{L}$  standard terikat dengan zeolit hampir sekitar 99,79 %. Hal ini menunjukkan bahwa proses pemisahan isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard sebanyak 50  $\mu\text{L}$  menggunakan zeolit sebanyak 300mg cukup baik karena kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  di dalam supernatan (fase cair) terpengut hingga 99,79% sehingga kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  yang tersisa di dalam supernatan hanya sebesar 0,000041  $\mu\text{g}$  seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 3. Hal ini menunjukkan bahwa zeolit Lampung mempunyai selektivitas yang sangat baik terhadap isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard, sehingga selektivitas zeolit Lampung terhadap isotop  $^{137}\text{Cs}$  hasil fisi PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  juga diperkirakan baik. Hasil analisis isotop  $^{137}\text{Cs}$  dari PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi akan dibandingkan dengan hasil analisis isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard.

Di dalam *hotcell* (HC) 109 larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi di pipet 1 ml dan dikeluarkan dari hotcell 109 ke R.135 (laboratorium aktivitas sedang) kemudian di encerkan 10 kali untuk mengurangi paparan radiasi. Dari hasil pengenceran tersebut kemudian di pipet 50 $\mu\text{L}$  dan ditambahkan aquadet sebanyak 2ml untuk menyamakan volume geometrinya dengan isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard. Karena didalam analisis dengan Spektrometer gamma faktor

geometri sampel sangat berpengaruh terhadap hasil analisis. Perlakuan preparasi yang dilakukan terhadap isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard harus sama dengan perlakuan yang dilakukan terhadap analisis isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi dengan penambahan berat zeolit yang optimum sebesar 300mg.



Gambar 3. Hubungan penambahan zeolit dengan recovery isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam supernatan

Analisis isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi menggunakan Spektrometer gamma dilakukan dengan pengulangan 3 (tiga) kali dengan waktu pencacahan 1000 detik pada jarak detektor dengan sampel 25 cm. Hasil analisis besarnya aktivitas dan kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6.

Kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  dalam PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi dengan waktu pencacahan 1000 detik

No.	Net Area	Cps	Yield	Eff detektor	Aktivitas (Bq/g)	T 1/2 (thn)	$N=A/\lambda$	$W= N \times BA/NA$ ( $\mu\text{g}$ )
1.	97730	97,730	0,851	0,00053	108749		1,5E+14	0,0340
2.	98083	98,078	0,851	0,00053	109142	30,17	1,5E+14	0,0341
3.	98653	98,653	0,851	0,00053	109776		1,5E+14	0,0343
rerata					<b>109222</b>			<b>0,0341</b>

Dari Tabel 6 diketahui bahwa dalam 50  $\mu\text{L}$  larutan PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi mempunyai aktivitas sebesar  $A_t = 109222$  (Bq/g) dan kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  sebesar  $W = 0,0341$   $\mu\text{g}$ . Hal ini menunjukkan bahwa PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi yang tersimpan selama 15 tahun di hotcell IRM masih mempunyai aktivitas dan kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  yang tinggi. Sehingga data hasil penelitian ini dapat digunakan lebih lanjut untuk perhitungan *burn up* sebagai verifikasi, evaluasi dan validasi unjuk kerja bahan bakar nuklir baik dari sisi pabrikasi maupun unjuk kerja di reaktor.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil analisis kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  menunjukkan bahwa zeolit yang dengan berat 300 mg memberikan hasil pemisahan yang relatif baik dengan persentase penyerapan sekitar 96,21%. Zeolit Lampung mempunyai selektivitas yang sangat baik terhadap isotop  $^{137}\text{Cs}$  standard maupun terhadap isotop  $^{137}\text{Cs}$  hasil fisi dalam PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi. Kandungan isotop  $^{137}\text{Cs}$  sebagai hasil fisi yang terdapat di dalam 50  $\mu\text{L}$  PEB  $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$  pasca iradiasi diperoleh sebesar 0,0341  $\mu\text{g}$  dengan aktivitas 109222 (Bq/g). Hasil analisis ini diharapkan dapat digunakan sebagai data untuk melakukan langkah pemisahan larutan pasca iradiasi dalam menunjang perhitungan *burn up*.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

1. Amini, S. and Durrani, S.k. (1993). Pengaruh Radiasi Pada Zeolite Yang Digunakan Untuk Fiksasi Radioisotop. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah PPNY-BATAN, Yogyakarta. Buku-II, ISSN 0216-3128.
2. Amini. S. (1994). Sistim penukaran kation Cs dan Sr ke dalam zeolite untuk pengolahan limbah cair radioaktif. Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah PPNY-BATAN, Yogyakarta. Buku-II, ISSN 0216-3128.
3. Amini S. (1999). Studi Zeolit Untuk penukaran ion Cs, Sr dan U, Hasil-hasil Penelitian Elemen Bakar Nuklir P2TBDU-BATAN, Serpong, ISSN 0854-5561.
4. Amini S., Anggraini D., Nampira, Y., Rosika, Novianti, dan Nugroho A., (2003). Keselektifan Zeolit Lampung Terhadap Kation-kation Matrik Hasil Fisi Uranium). Jurnal Zeolit Indonesia, ISSN 1411-6723.
5. Amini, S., Hakim, L, Gogo, A., Hastowo, H., Hamzah, Pane, A.J.S. (1995, Maret 21-22). Analisis Fraksi Bakar Elemen Bakar Silisida (RISIE2) Secara Pengukuran  $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ . Prosidings Seminar Sains dan Teknologi Nuklir, PPTN-BATAN, Bandung.
6. Amini, S., Nampira, Y., Nasution, H. (1997). Analisis isotop Cs dan U dari pelat elemen bakar bekas tipe oksida secara Spektrometri. Prosiding

Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan teknologi Nuklir, Buku II, PPNY, Yogyakarta. ISSN 0216-3128.

7. Amini, S., (1997). Penentuan fraksi bakar elemen bakar bekas tipe MTR pengayaan rendah dengan metoda perbandingan aktivitas  $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ : Metoda absolute melalui pelarutan pelat no-11 elemen bakar RIE01, Laporan Teknis Penelitian Terpadu PEBN-PRSG, BATAN.
8. Amini, S. dkk. (2001). Nilai Mutlak Fraksi Bakar Uranium dan Isotop Cs Pada Lokasi Tertentu Pelat Elemen Bakar Dispersi Tipe Oksida RIE01 Hasil Pasca-Iradiansi, Laporan Teknis P2TBDU-BATAN.