

PEMISAHAN DAN ANALISIS RADIONUKLIDA ^{137}Cs DI DALAM PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ TINGKAT MUAT URANIUM $2,96 \text{ g/cm}^3$ PASCA IRADIASI

Aslina Br.Ginting, Yusuf Nampira, Arif N., Dian A., Rosika K., Boybul
Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir Serpong
aslina@batan.go.id
(Diterima 03-01-2012, disetujui 21-03-2012)

ABSTRAK

**PEMISAHAN DAN ANALISIS RADIONUKLIDA ^{137}Cs DI DALAM PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$
TINGKAT MUAT URANIUM $2,96 \text{ g/cm}^3$ PASCA IRADIASI.** Bahan bakar yang telah mengalami radiasi di reaktor menghasilkan beberapa unsur-unsur bermassa berat (*Heavy Element*) diantaranya adalah unsur transurium dan beberapa hasil fisi diantaranya adalah radionuklida ^{137}Cs . Hasil fisi radionuklida ^{137}Cs dapat dijadikan sebagai monitor *burn up* karena mempunyai umur paroh panjang 30,17 tahun, tampang lintang serapan neutron kecil 0,25 barns, mempunyai *fission yield* besar sekitar 6,3%. Dalam perhitungan *burn up* perlu dilakukan pemisahan radionuklida ^{137}Cs dari hasil fisi dan unsur kimia lainnya. Pemisahan dilakukan dengan 2 (dua) metode yaitu penyerapan ^{137}Cs oleh zeolit Lampung dan metode pengendapan CsClO_4 mengikuti ASTM E 320-79 dan ASTM E 692-00. Pelat elemen bakar (PEB) $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ dipotong dengan ukuran $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}$ atau seberat 0,036 g kemudian potongan tersebut dilarutkan, disaring dan di timbang di dalam *hotcell* (HC) 109. Larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi di pipet masing masing sebanyak 150 μL kemudian dipisahkan dengan metode penambahan zeolit dan metode pengendapan CsClO_4 sehingga diperoleh kandungan radionuklida ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$. Kandungan radionuklida ^{137}Cs hasil pemisahan tersebut kemudian di bandingkan dengan hasil analisis pengukuran secara langsung dan dengan hasil perhitungan secara teoritis. Hasil analisis menunjukkan bahwa kandungan radionuklida ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dengan dimensi $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$ dengan metode penambahan zeolit Lampung diperoleh sebesar 557,19 $\mu\text{g/g}$ dengan metode pengendapan sebesar 518,66 $\mu\text{g/g}$ sedangkan dengan pengukuran langsung sebesar 553,23 $\mu\text{g/g}$ dan secara teoritis atau perhitungan berdasarkan luas PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ yang di potong diperoleh kandungan radionuklida ^{137}Cs diperoleh sebesar 593 $\mu\text{g/g}$. Hasil pemisahan dari ke dua metoda tersebut menunjukkan bahwa metode penambahan zeolit Lampung memberikan hasil yang relatif baik bila dibandingkan dengan metode pengendapan karena memberikan hasil yang paling tepat dengan hasil teoritis. Data pemisahan ini dapat digunakan untuk melakukan perhitungan *burn up* mutlak.

Kata kunci: Radionuklida ^{137}Cs , $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca iradiasi.

ABSTRACT

SEPARATION AND ANALYSIS OF ^{137}Cs IN IRRADIATED $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ WITH URANIUM LOADING OF $2,96 \text{ g/cm}^3$. Irradiated nuclear fuel contains some elements with heavy mass (*heavy elements*), among them are transuranic elements and fission products such as ^{137}Cs . Fission product of ^{137}Cs may be used as a monitor of *burnup* because it has a long half-life (30.17 years), low neutron cross section (0,25 barn) and high fission yield (6,3%). For the calculation of *burnup*, separation of ^{137}Cs from other fission products and other elements is required. The separation may be done by two methods: ^{137}Cs absorbtion by Lampung zeolit and CsClO_4 precipitation (ASTM E 320-79 and ASTM E 692-00). In the experiment the sampel was obtained by cutting the $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ plate to the size of $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}$ or to a weight of 0,036 g. The sample was dissolved, filtered and weighed in *hotcell* (HC) 109. The solution of irradiated

U₃Si₂-Al was pipetted as much as 150 μL for each method of separation. The ¹³⁷Cs content obtained from both separation methods was compared to the value of direct measurement and theoretical calculation. The analysis results show that the content of ¹³⁷Cs in 3x3x1,37 mm³ of irradiated U₃Si₂-Al is 557,19 μg/g by separation with Lampung zeolit, 518,66 μg/g by precipitation, 553,23 μg/g by direct measurement, and 593 μg/g by theoretical calculation. Separation by the two methods indicates that the Lampung zeolit addition method gives relatively better result (if compared to the precipitation method) as it gives a value close to that of the theoretical calculation. The data obtained from the separation experiment may be used in the calculation of burnup.

Keywords: ¹³⁷Cs Radionuclides, irradiated U₃Si₂-Al.

I. PENDAHULUAN

Dalam penggunaan elemen bakar nuklir di dalam reaktor, terdapat 2 komponen bahan yaitu bahan fisil dan bahan fertil. Bahan fisil adalah suatu komponen yang jika berinteraksi dengan partikel radioaktif (neutron, n) dapat mengadakan reaksi inti dan terpecah menjadi beberapa inti atom baru serta partikel radioaktif. Adapun bahan fertil adalah suatu komponen yang dengan adanya n-cepat (n-berenergi tinggi > 2 MeV) dapat menjadi bahan fisil dan membelah, contoh atom fertil ²³⁸U, ²³²Th, ²³⁸Pu, ²⁴⁰Pu. Pelat elemen bakar (PEB) U₃Si₂-Al mengalami radiasi di reaktor akan menghasilkan beberapa unsur-unsur bermassa berat (*Heavy Element*) diantaranya adalah unsur transurium dan beberapa hasil fisi. Dalam usaha untuk mengetahui jumlah hasil fisi yang di hasilkan oleh reaksi inti ²³⁵U dengan neutron, di reaktor telah dilakukan pengujian distribusi hasil fisi terhadap PEB U₃Si₂-Al secara utuh (satu *bundle* bahan bakar) tanpa merusak (*Non Destructive Test*, NDT) dengan menggunakan alat gamma scanning. Data distribusi hasil fisi tersebut digunakan oleh fisika reaktor untuk menghitung besaran *burn up* secara makro. Setelah diketahui data *burn up* secara makro, PEB U₃Si₂-Al pasca iradiasi tersebut kemudian di kirim ke Instalasi Radiometalurgi untuk dilakukan pengujian PIE (*Post Irradiation Examination*) salah satunya adalah analisis *burn up* (fraksi bakar mutlak) dengan cara merusak (*Destructive Test*, DT). Tujuan dilakukannya analisis *burn-up* (fraksi bakar

mutlak) bahan bakar PEB U₃Si₂-Al pasca iradiasi sangat penting untuk mengetahui kualitas bahan bakar dan integritas elemen bakar nuklirnya setelah iradiasi. Selain itu data PIE tersebut dapat digunakan sebagai evaluasi dan validasi unjuk kerja bahan bakar PEB U₃Si₂-Al baik dari sisi fabrikasi maupun unjuk kerja selama di reaktor.

Dalam melakukan analisis *burn up* (fraksi bakar mutlak), banyak larutan hasil analisis elemen bakar nuklir pasca-iradiasi yang disimpan dalam bilik-panas (*hotcell*) dengan keaktifan yang sangat tinggi. Larutan tersebut terdiri dari unsur berat dari uranium serta transurium yang mempunyai umur paroh panjang diantaranya adalah radionuklida ¹³⁷Cs, ²³⁵U dan ²³⁹Pu. Untuk menghitung besaran *burn up* mutlak suatu bahan bakar maka harus diketahui kandungan radionuklida di dalam bahan bakar tersebut khususnya ¹³⁷Cs, ²³⁵U dan ²³⁹Pu. Hal ini menjadikan latar belakang untuk melakukan pemisahan hasil fisi ¹³⁷Cs dari hasil fisi lainnya serta dari isotop U maupun Pu. Pada tulisan ini di lakukan pemisahan dan analisis kandungan radionuklida ¹³⁷Cs yang terdapat di dalam bahan bakar bekas tersebut. Hasil fisi radionuklida ¹³⁷Cs adalah pemancar radioaktif gamma yang dapat dijadikan sebagai monitor *burn up*. Alasannya adalah karena radionuklida ¹³⁷Cs mempunyai umur paroh panjang, tampang lintang serapan neutron kecil 0,23 barns, mempunyai *fission yield* besar sekitar 6,3% dan memiliki energi gamma >500keV sehingga dalam pengukuran dengan spektrometer gamma pengaruh energi Compton dapat diabaikan^[1].

Selain itu kandungan radionuklida ^{137}Cs di dalam hasil fisi lebih besar dari kandungan hasil fisi lainnya sehingga dalam proses pemisahan zeolit Lampung dengan mudah dapat mengikat dan menyerap radionuklida ^{137}Cs dan radionuklida ^{137}Cs di dalam hasil fisi tersebut dapat digunakan sebagai monitor *burn-up* bahan bakar nuklir^[2].

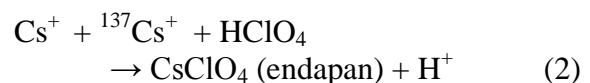
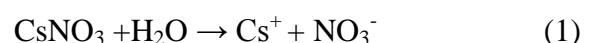
Analisis *burn-up* merupakan salah satu kegiatan analisis fisiko kimia yang dimulai dari penentuan aspek-aspek analisis *burn up* hingga perhitungan *burn-up*. Salah satu kegiatan analisis *burn up* adalah dengan melakukan pemisahan dan analisis kandungan radionuklida ^{137}Cs dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi. PEB pasca-iradiasi memancarkan berbagai jenis radioaktif sinar γ salah satu adalah radionuklida ^{137}Cs ^[3,4,5]. Radionuklida hasil fisi tersebut sangat penting diketahui untuk digunakan menghitung *burn-up* dengan tujuan untuk mengetahui *burn up* mutlak PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ secara mikro dengan dimensi bahan bakar yang di potong sebesar $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$. Hasil perhitungan *burn up* mutlak secara mikro selanjutnya akan dibandingkan dengan data *burn up* secara makro (data *burn up* dari reaktor sebesar 50,6%). Perhitungan *burn up* mutlak secara mikro akan dilakukan pada penelitian lebih lanjut setelah dilakukan pemisahan radionuklida ^{235}U dengan ^{239}Pu .

Cesium mempunyai dua jenis radionuklida yaitu ^{134}Cs dan ^{137}Cs , radionuklida ^{134}Cs mempunyai waktu paroh ($t_{1/2}$) 2 tahun, dipertimbangkan tidak efektif digunakan sebagai monitor *burn up*, sehingga fokusnya ditujukan kepada ^{137}Cs yang mempunyai waktu paroh ($t_{1/2}$) 30,17 tahun dan dapat dijadikan sebagai sumber- γ yang berumur panjang. Selain itu, larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi yang ada di laboratorium Instalasi Radiometalurgi telah berumur selama 15 tahun, sehingga keaktifan dari kandungan ^{134}Cs -nya telah melemah. Secara perhitungan masih tersisa 0,06% dari keaktifan total bahkan akan habis. Sedangkan keaktifan ^{137}Cs belum melampaui waktu parohnya dan masih ada sekitar 80 %

dari keaktifan semula sehingga ^{137}Cs tersebut masih dapat dipergunakan sebagai sumber radiasi- γ untuk kurun waktu yang cukup lama (sekitar 16 tahun lagi).

Sebelum melakukan pemisahan radionuklida ^{137}Cs dari hasil fisi lainnya terlebih dahulu harus dilakukan simulasi analisis secara dingin, bagaimana pengaruh penambahan zeolit Lampung terhadap pemisahan radionuklida ^{137}Cs standar dan analisis pemisahan radionuklida ^{137}Cs dengan penambahan senyawa CsNO_3 dan HClO_4 . Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan penelitian validasi metode dan teknik pemisahan radionuklida ^{137}Cs standar dari NIST (*National Institute of Standards Technology*) menggunakan zeolit Lampung. Hasil penelitian tersebut telah dipahami bahwa jumlah zeolit Lampung yang paling optimum mengikat radionuklida ^{137}Cs didalam $50 \mu\text{L}$ standar adalah 400 mg dan CsNO_3 seberat 225 mg. Setelah diperoleh berat zeolit Lampung dan CsNO_3 yang paling banyak mengikat radionuklida ^{137}Cs , selanjutnya dilakukan pemisahan radionuklida ^{137}Cs yang terdapat dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca-iradiasi dan analisisnya dilakukan dengan menggunakan spektrometer gamma^[8].

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk memahami teknik pemisahan radionuklida ^{137}Cs dari hasil fisi lainnya di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca-iradiasi. Pemisahan dilakukan dengan 3 (tiga) metode yaitu metode penukar ion menggunakan zeolit Lampung dan metode pengendapan CsClO_4 yang selanjutnya dibandingkan dengan metode pengukuran langsung. Penggunaan metode pengendapan dalam pemisahan radionuklida ^{137}Cs yang terkandung di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi mengikuti reaksi kimia sbb:



Penggunaan ke tiga metode akan menghasilkan kandungan radionuklida ^{137}Cs yang berbeda di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca-iradiasi, sehingga hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mengetahui metode yang paling baik (uji banding metode) dalam melakukan pemisahan radionuklida ^{137}Cs dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca-iradiasi. Hal ini sangat penting untuk menentukan pemilihan metode penelitian yang tepat dalam proses pelaksanaan dan penanganan bahan bakar pasca iradiasi. Sekaligus 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.

II. METODOLOGI

Aspek pemisahan radionuklida ^{137}Cs dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dilakukan dengan 3 (tiga) metode mengacu kepada ASTM E 320-79 dan ASTM E 692-00 yaitu:

- Metode penukar ion menggunakan zeolit Lampung dengan berat 400 mg.
- Metode Pengendapan CsClO_4 menggunakan serbuk CsNO_3 dengan 225 mg di dalam 4 ml HClO_4 .
- Ke dua metode diatas (point a dan b) akan dibandingkan dengan hasil analisis pengukuran secara langsung menggunakan spektrometer gamma dan terhadap hasil perhitungan secara teoritis.

Adapun peralatan yang harus disiapkan adalah:

- Timbangan analitik,
- Peralatan gelas (botol, vial dan pipet),
- Pemanas (*Hot Plate*),
- Spektrometer gamma.

III. TATA KERJA

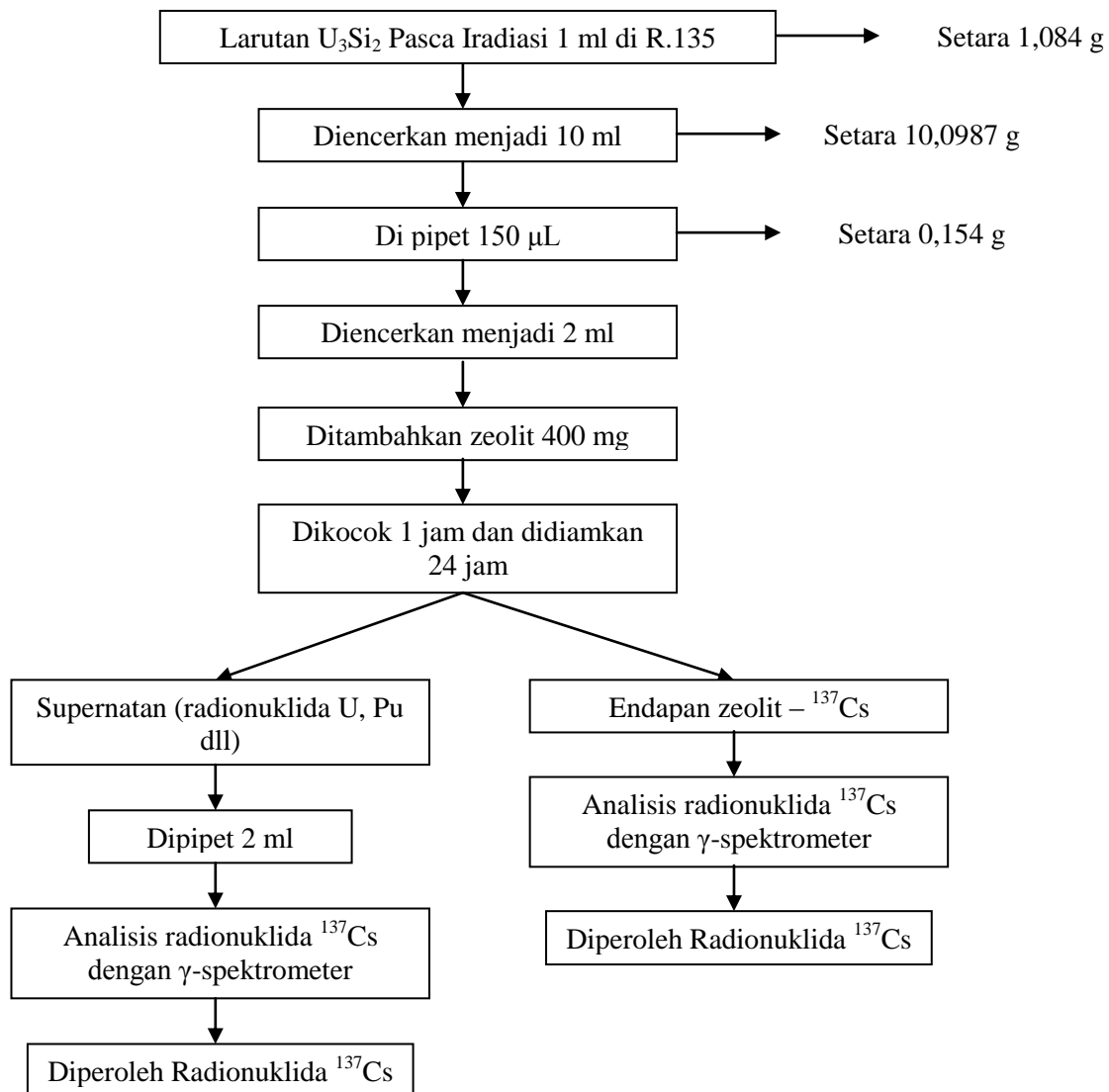
3.1. Pengukuran Secara Langsung

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. Hasil pengenceran tersebut kemudian di pipet 150 μL dan ditambahkan aquadest.

sebanyak 2 ml untuk menyamakan volume geometrinya dengan radionuklida ^{137}Cs standar. Analisis dengan spektrometer gamma faktor geometri sampel sangat berpengaruh terhadap hasil analisis. Perlakuan preparasi yang dilakukan terhadap radionuklida ^{137}Cs dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi harus sama dengan perlakuan yang dilakukan terhadap analisis radionuklida ^{137}Cs standar. Larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi 150 μL di dalam 2ml H_2O , kemudian diukur aktivitasnya secara langsung menggunakan spektrometer gamma dengan 3x pengulangan. Hasil pengukuran berupa cacahan per detik (cps) kemudian di evaluasi menggunakan persamaan (1) dan (2) sehingga dapat diperoleh besar aktivitas (Bq/g) dari sampel PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi tersebut.

3.2. Metode Penambahan Zeolit

Larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi sebanyak 150 μL kemudian ditambahkan 2 ml H_2O dan zeolit sebanyak 400 mg. Selanjutnya dikocok dan didiamkan selama 24 jam sehingga terpisah antara endapan dan supernatan. Di dalam endapan akan terikat radionuklida ^{137}Cs dalam bentuk paduan zeolit- ^{137}Cs sedangkan di dalam supernatan akan terikat kandungan transuranium (U,Pu). Kandungan radionuklida ^{137}Cs dalam endapan dan supernatan kemudian dianalisis menggunakan spektrometer gamma. Adapun langkah pemisahan radionuklida ^{137}Cs dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi diuraikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

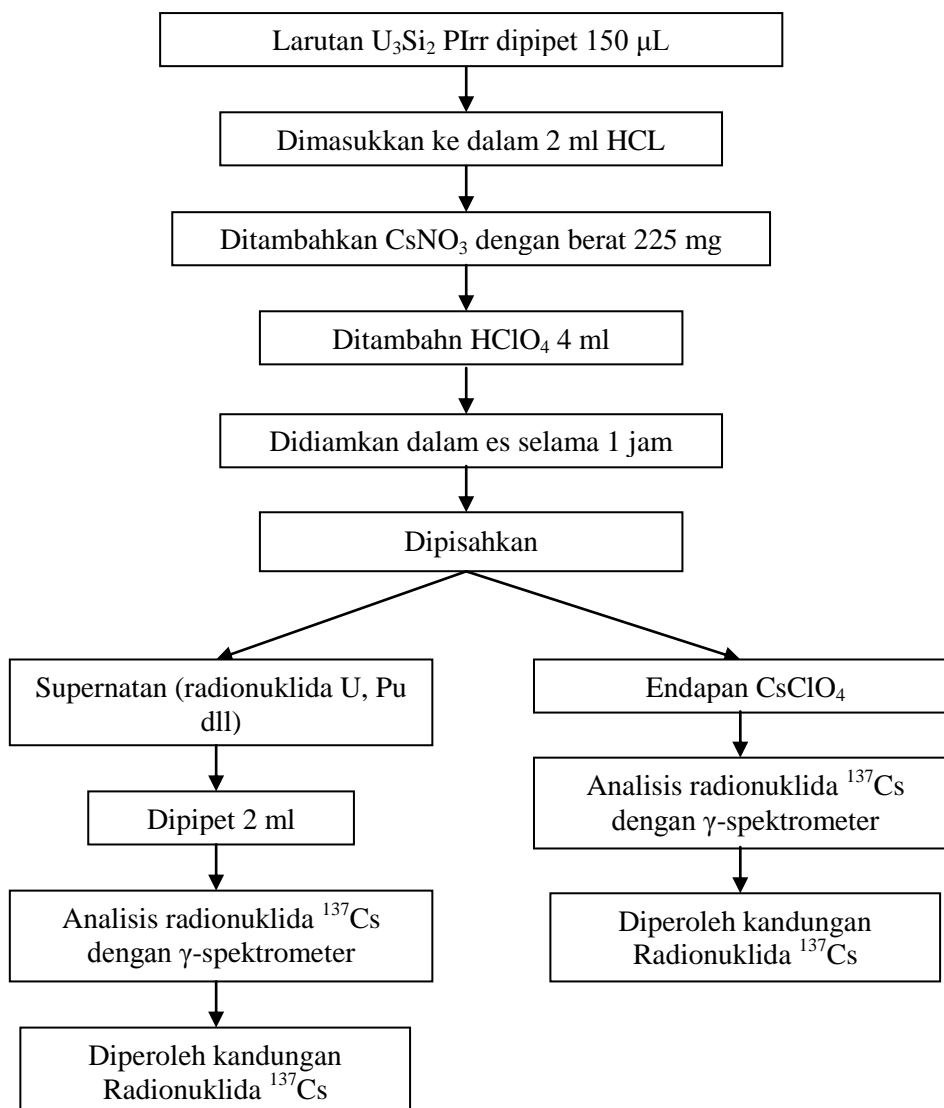


Gambar 1. Pemisahan Radionuklida ^{137}Cs Dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi Menggunakan Zeolit

3.3. Metode Pengendapan CsClO_4

Larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dipipet sebanyak $150 \mu\text{L}$ kemudian dimasukkan ke dalam $2 \text{ ml H}_2\text{O}$ dan ditambahkan serbuk CsNO_3 seberat 225 mg dan 4 ml HClO_4 . Selanjutnya campuran diatas didiamkan selama 1 jam di dalam es dan dijaga temperaturnya tetap pada 0°C sehingga terpisah antara endapan dan supernatan. Endapan CsClO_4 yang terbentuk kemudian dicuci dengan alkohol dan acetone

dengan perbandingan $1 \text{ mL} : 1 \text{ mL}$ hingga bebas dari H_2O (mudah kering). Kandungan radionuklida ^{137}Cs dalam endapan (fasa padat) dan supernatan (fasa cair) kemudian dianalisis menggunakan spektrometer gamma sehingga diperoleh kandungan radionuklida ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi. Adapun langkah pemisahan radionuklida ^{137}Cs dengan metode pengendapan diuraikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemisahan Radionuklida ^{137}Cs Dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi Menggunakan Metode Pengendapan

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengukuran Secara Langsung

Analisis radionuklida ^{137}Cs dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dilakukan dengan mengukur 150 μL atau 0,154 g secara langsung menggunakan spektrometer gamma. Analisis dilakukan dengan 5 (lima) kali sampling dengan kode sampel adalah PIrr1, PIrr 2, PIrr 3, PIrr 4 dan PIrr 5 dan masing-masing sampling

dilakukan pengukuran dengan 3 (kali) pengulangan. Parameter pengukuran dilakukan dengan waktu pencacahan 1500 detik pada jarak detektor dengan sampel 25 cm. Hasil analisis besarnya aktivitas dan kandungan radionuklida ^{137}Cs dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi seberat 0,036 g dengan pengukuran langsung ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kandungan radionuklida ^{137}Cs dalam 0,036 g PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dengan metode pengukuran langsung.

Sampling	Cacah	Cps	Yield	Eff detektor (%)	Aktivitas(Bq/g)	$N=A/\lambda$	$W= N \times BA/NA$ (μg)	Kand. ^{137}Cs Dlm 0,036 g PEB ($\mu\text{g/g}$)
BGround	407	0,0814						
PIrr 1	23173	15,367	0,851	0,053	34071	4,7+13	0,0107	556.41
PIrr 2	22759	15,091	0,851	0,053	33459	4,6E+13	0,0105	546.42
PIrr 3	23579	15,64	0,851	0,053	34671	4,8E+13	0,0108	566.23
PIrr 4	22742	15,080	0,851	0,053	33434	4,6E+13	0,0105	546.02
PIrr 5	22951	15,219	0,851	0,053	33743	4,6E+13	0,0106	551.06
Rerata					33876		0,0106	553,23

Tabel 1 menunjukkan bahwa dalam volume 150 μL atau seberat 0,154 gr larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi terdapat kandungan radionuklida ^{137}Cs sebesar 0,0106 μg dengan aktivitas sebesar 33876 Bq/g. Berdasarkan kandungan radionuklida ^{137}Cs di dalam 150 μL tersebut kemudian dihitung konversi kandungan radionuklida ^{137}Cs di dalam 0,036 gr PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa di dalam 0,036 gr PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi diperoleh kandungan radionuklida ^{137}Cs sebesar 553,23 $\mu\text{g/g}$ seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Bila dibandingkan dengan hasil perhitungan (data fabrikasi) berdasarkan luas atau dimensi PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi yang dipotong dengan ukuran $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$ atau 0,036 gr maka di dalam dimensi tersebut diperoleh kandungan U total sebesar 0,01154 gr. Cara perhitungan kandungan Uranium total di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ ditampilkan pada Lampiran. Dengan pengayaan bahan bakar 19,81% maka kandungan ^{235}U di dalam dimensi tersebut diperoleh sebesar 19,81% x 0,01154 gr = 0,0023 gr. Berdasarkan perhitungan ini dapat diketahui jumlah

radionuklida ^{137}Cs yang terkandung di dalam dimensi $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$ PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Perhitungan yang dilakukan pada Tabel 2 berdasarkan asumsi dari pustaka yang menyatakan bahwa jika *burn up* bahan bakar mencapai 100 % atau kandungan ^{235}U terbakar 100% maka radionuklida ^{137}Cs yang terbentuk dalam proses reaksi fisi tersebut adalah sebesar 6,26 %^[13]. Berdasarkan literatur ini dilakukan perhitungan dan diperoleh kandungan radionuklida ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ dengan dimensi $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$ sebesar 593 $\mu\text{g/g}$. Kandungan radionuklida ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ sebesar 593 $\mu\text{g/g}$ merupakan kandungan radionuklida ^{137}Cs setelah di radiasi di reaktor (15 tahun yang lalu).

Sedangkan kandungan radionuklida ^{137}Cs di dalam $3 \times 3 \times 3,17 \text{ mm}^3$ sebesar 553,23 $\mu\text{g/g}$ diperoleh dengan pengukuran secara langsung yang dilakukan pada saat ini (tahun 2011). Mengingat umur paruh radionuklida ^{137}Cs sebesar 30,17 tahun maka hasil analisis radionuklida ^{137}Cs yang diperoleh sebesar 553,23 $\mu\text{g/g}$ masih cukup relevan.

Tabel 2. Perhitungan Kandungan ^{137}Cs berdasarkan luas potongan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ dengan dimensi $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$ (Secara Teoritis)

Nama	Kandungan	Satuan
Jumlah U total di dalam $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$ PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$	0,01154	g U total
Pengayaan Bahan Bakar	19,81	%
^{235}U di dalam $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$ PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$	$(0,1981 \times 0,01154) = 0,0023$	g ^{235}U
^{235}U terbakar 50,6% (data reaktor)	$(0,506 \times 0,0023) = 0,0012$	g ^{235}U
Berat sampel PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$	0,036	g sampel
^{235}U di dalam gr sampel	$(0,0012 / 0,036) = 0,0321$	g ^{235}U /g sampel
^{235}U di dalam gr sampel	0.000137	mol ^{235}U
^{235}U di dalam gr sampel	8.24E+19	atom ^{235}U
^{137}Cs di dalam gr sampel	2.61E+18	atom ^{137}Cs
^{137}Cs di dalam gr sampel	4.33E-06	mol ^{137}Cs
^{137}Cs di dalam gr sampel	5.93E-04	g ^{137}Cs
^{137}Cs di dalam gr sampel	593	μg ^{137}Cs

4.2. Metode Penambahan Zeolit

Pemisahan radionuklida ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dilakukan dengan metode penambahan zeolit secara triplo dengan kode sampel adalah PIrrZ 1, PIrrZ 2, PIrrZ 3 dan masing-masing dilakukan pengukuran dengan 3 (tiga) kali pengulangan. Larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dipipet sebanyak 150 μL atau 0,154 gr kemudian di tambahkan zeolit Lampung sebesar 400 mg mengikuti metode seperti pada Gambar 1. Pengukuran dilakukan

dengan waktu cacah 1500 detik dan jarak detektor dengan sampel 25 cm. Hasil analisis radionuklida ^{137}Cs di dalam 150 μL PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi telah di hitung berdasarkan berat PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi 0,036 gr dengan dimensi $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$. Hasil analisis besarnya aktivitas dan kandungan radionuklida ^{137}Cs dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi seberat 0,036 gr dengan menggunakan metode penambahan zeolit Lampung ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Kandungan Radionuklida ^{137}Cs Dalam 150 μL PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi dengan Metode Penambahan Zeolit.

Samplng	Cacah	Cps	Yield	Eff. Detektor (%)	Aktivitas(Bq/g)	$N=A/\lambda$	$W= N \times BA/NA$ (μg)	Kand. ^{137}Cs Dlm 0,036 g PEB ($\mu\text{g/g}$)
BGround	407	0,0814						
PIrrZ 1	23773	15,949	0,851	0,047	39422	5,4+13	0,0123	570.91
PIrrZ 2	22654	15,103	0,851	0,047	37557	5,2E+13	0,0117	544.96
PIrrZ 3	23173	15,45	0,851	0,047	38420	5,3E+13	0,0120	555.69
Rerata					38466		0,0120	557,19

Dari Tabel 3 diketahui bahwa kandungan radionuklida ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dengan dimensi $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$ menunjukkan sebesar 557,19 $\mu\text{g/g}$. Hasil ini lebih besar dibanding dengan metode pengukuran langsung yaitu sebesar 553,23 $\mu\text{g/g}$. Hal ini menunjukkan bahwa

zeolit Lampung cukup selektif digunakan untuk memungut atau mengikat radionuklida ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi. Selektivitas tersebut disebabkan karena diameter rongga zeolit sangat mirip dengan diameter rongga cesium. Zeolit murni seperti modernit mempunyai diameter rongga

sebesar $3,6 \text{ A}^\circ$ dengan kapasitas tukar kation (KTK) sebesar $2,29 \text{ meq/g}$ yang dimungkinkan mampu mengikat atau mengakomodasi kation Cs yang mempunyai diameter rongga sebesar $3,3 \text{ A}^\circ$.

4.3. Metode Pengendapan CsClO_4

Pemisahan radionuklida ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi menggunakan metode pengendapan dilakukan secara duplo dengan kode sampel adalah PIrrP1 dan PIrrP 2 dan masing-masing dilakukan pengukuran dengan 3 (tiga) kali pengulangan. Larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dipipet sebanyak $150 \mu\text{L}$ atau

$0,154 \text{ gr}$ didalam $2 \text{ ml H}_2\text{O}$ kemudian di tambahkan serbuk CsNO_3 sebesar 225 mg sebagai carrier dan HClO_4 mengikuti metode seperti pada Gambar 2. Endapan CsClO_4 yang terbentuk kemudian di ukur dengan menggunakan spektrometer gamma. Pengukuran dilakukan dengan waktu cacah 1500 detik dan jarak detektor dengan sampel 25 cm . Hasil analisis besarnya aktivitas dan kandungan radionuklida ^{137}Cs di dalam endapan CsClO_4 yang telah di konversikan berdasarkan berat PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi $0,036 \text{ gr}$ dengan dimensi $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$ ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kandungan Radionuklida ^{137}Cs Dalam $150 \mu\text{L}$ PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi dengan Metode Pengendapan CsClO_4 .

Sampling	Cacah	Cps	Yield	Eff detektor (%)	Aktivitas(Bq/g)	$N=A/\lambda$	$W=N \times BA/NA$ (μg)	Kand. ^{137}Cs Dlm $0,036 \text{ g PEB}$ ($\mu\text{g/g}$)
BGround	407	0,0814						
PIrrP 1	21416	14,277	0,851	0,047	35492	$4,9+13$	0,0111	521,44
PIrrP 2	21258	14,172	0,851	0,047	35299	$4,8E+13$	0,0110	515,88
Rerata					38466		0,0111	518,66

Tabel 4 menunjukkan bahwa kandungan radionuklida ^{137}Cs di dalam bahan bakar PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dengan dimensi $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$ diperoleh sebesar $518,66 \mu\text{g/g}$. Hasil ini lebih kecil bila dibandingkan dengan metode penyerapan zeolit dan pengukuran secara langsung. Hal ini disebabkan karena pada saat dilakukan proses pemisahan endapan CsClO_4 dengan supernatan (pemipetan supernatan) radionuklida ^{137}Cs masih ada yang terikut ke dalam larutan supernatan (fasa cair). Fenomena ini dibuktikan dengan pengukuran

radionuklida ^{137}Cs yang terdapat di dalam supernatan, dimana masih diperoleh kandungan radionuklida ^{137}Cs sebesar $44 \mu\text{g/g}$ sedangkan di dalam supernatan menggunakan pemisahan dengan metode zeolit diperoleh kandungan radionuklida ^{137}Cs sebesar $4,9 \mu\text{g/g}$ sama dengan *background* pengukuran.

Secara keseluruhan di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dengan potongan dimensi sampel $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$ atau $0,036 \text{ gr}$ diperoleh kandungan radionuklida ^{137}Cs seperti Tabel 5.

Tabel 5. Kandungan radionuklida ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dengan dimensi $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$ atau $0,036 \text{ g}$.

No.	Metode yang digunakan	Kandungan radionuklida ^{137}Cs ($\mu\text{g/g}$)
1.	Teoritis	593,01
2.	Pengukuran secara langsung	553,23
3.	Penambahan zeolit 400mg	557,19
4.	Pengendapan CsClO_4	518,66

Hasil pemisahan radionuklida ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dengan

dimensi $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$ menggunakan metode diatas menunjukkan bahwa zeolit

Lampung cukup baik untuk mengikat radionuklida ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi. Tabel 5 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 radionuklida ^{137}Cs yang tinggi. Sehingga data hasil penelitian ini dapat digunakan lebih lanjut untuk perhitungan *burn up* bahan bakar nuklir.

V. KESIMPULAN

Pemisahan dan analisis radionuklida ^{137}Cs dalam hasil fisi PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi menunjukkan bahwa menggunakan metode penambahan zeolit Lampung memberikan hasil yang relatif baik bila dibandingkan dengan metode pengendapan maupun dengan pengukuran secara langsung. Kandungan radionuklida ^{137}Cs di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi dengan dimensi $3 \times 3 \times 1,37 \text{ mm}^3$ atau 0,036 gr dengan metode penambahan zeolit Lampung diperoleh sebesar 557,19 $\mu\text{g/g}$ dengan metode pengendapan sebesar 518,66 $\mu\text{g/g}$ sedangkan dengan pengukuran secara langsung diperoleh sebesar 553,23 $\mu\text{g/g}$. Hasil analisis ini diharapkan dapat digunakan sebagai data untuk melakukan perhitungan *burn up*.

VI. DAFTAR PUSTAKA

1. R.I. Dobrin, T. Craciunescu, and M. Pavelescu, (2010), *Candu and Triga Fuel Burn-up Determination Using Axial and Tomographic Gamma Scanning*, Institute for Nuclear Research Pitesti, P.O. Box 78, Campului Str. 1, Mioveni, Rumania
2. A.I. Vogel, (1978), *Quantitative Inorganic Analysis including Elementary Instrumental Analysis* 3rdEd., London, pp.590-595.
3. John Emsley, (1991), *The Element*, 2ndEd., Clarendon Press, Oxford
4. American Standar Test Methods, (1990), ASTM-E 320-79, Standar Test Methods for Cesium-137 in Nuclear Fuel Solutions by Radiochemical Analysis, Standar Test Method For Nuclear Material, USA, Vol. 12.1
5. American Standar Test Methods, (2000), ASTM-E 692-00, Standard Test Methods for Determining the content of Cesium-137 in irradiated nuclear fuels by high resolution gamma-ray spectral analysis, Standar Test Method For Nuclear Material, USA, Vol. 12.1
6. Yusuf Nampira, (1999), *Rancangan Metode Analisis Derajat Bakar Mutlak Uranium Silisida, Hasil-hasil Penelitian Elemen Bakar Nuklir, Pusat Pengembangan Teknologi Bahan Bakar Nuklir dan Daur Ulang (P2TBDU-BATAN)*, ISSN 0854-556, Serpong
7. Ellison, S.L.R., Rooslein, M., Williams, A (2000), *Eurachem/CITAC-Guide CG4, Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement*, 2nd-Ed, UK
8. Siti Amini, Arif Nugroho, (2009), *The Influence Of Si/Al/P Ratios On The Structure Of Microporous Silico Alumino Phosphate*, Prosiding Seminar Nasional Zeolit VI, , hal.48-57, ISBN 978-602-96414-0-0, Bandung
9. Aslina Br. Ginting, Dian Anggraini, (2011), *Pengaruh Penambahan Zeolit Terhadap Pemisahan Radionuklida ^{137}Cs Dalam Pelat Elemen Bakar $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi*, Jurnal Teknologi Bahan Nuklir, Vol.7, No.2, hal. 123-135, ISSN 1907-2635
10. Dian Anggraini, Noviarty, Arif Nugroho, (2009), *Kinetika Dan Difusi Penukaran Ion Cs Ke Dalam Zeolit Bayah, Lampung Dan Tasikmalaya*, Prosiding Seminar Nasional Zeolit VI, hal.541-546, ISBN 978-602-96414-0-0, Bandung
11. ARIF NUGROHO, DIAN ANGGRAINI, NOVIARTY, (2009), *Analisis Radionuklida Cs Dalam Proses Pemisahan Cs Dengan Zeolit Menggunakan Spektrometri- γ* , Prosiding Seminar Nasional Zeolit VI, hal.547-552. ISBN 978-602-96414-0-0, Bandung

12. Arif Nugroho, Dian Anggraini, Noviarty, (2010), "Penentuan Radionuklida ^{137}Cs Dalam Pelat Elemen Bakar (PEB) $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Densitas $2,96 \text{ g/cm}^3$ Pasca Iradiasi", Seminar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir, , ISSN 1978-0176, Yogyakarta
13. Arif Nugroho, Noviarty, (2011), "Analisis Radionuklida ^{235}U Dalam Pelat Elemen Bakar (PEB) $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Densitas $2,96 \text{ g/cm}^3$ Pasca Iradiasi", Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Nuklir, Yogyakarta
14. C. Pereda, C. Henriquez, J. Medel, J. Klien, G.Varro, (2010), "Zr-95 Fuel Burn up Measurements Using Gamma Spectrometry", Comision Chilena de Energia, Santiago de Chile, Chile

VII. LAMPIRAN

PERHITUNGAN KANDUNGAN URANIUM TOTAL PEB IDA 0045 (EB RI SIE-2) Pelat 20 PEB U_3Si_2 Pasca Irradiasi

Tebal <i>cladding</i> (T cld) atas dan bawah =	0.831	(Tabel Fabrikasi)
Tebal pelat elemen bakar (T peb) =	1.33	(Tabel no pelat)
Tebal <i>meat</i> (T meat) =	0.499	(T peb - Tcld)
Densitas <i>meat</i> (ρ meat) =	mieb/Vieb = 5.2345	
Berat inti elemen bakar (berat ieb) =	100.66	(Data Penimbangan)
Berat uranium (berat U) =	60.01	(Tabel Fabrikasi)
Berat U_3Si_2 =	64.86	
Volume inti elemen bakar (V ieb) =	19.23	(Ketentuan Fabrikasi)
Berat serbuk Al =	35.80	
Densitas pelat elemen bakar (ρ peb) =	3.6509	

$$\rho \text{ peb} = \frac{[(\rho \text{ meat} \cdot T \text{ meat}) + (\rho \text{ Al} \cdot T \text{ cld})] / T \text{ peb} + (T \text{ meat} / T \text{ peb}) \times \rho \text{ meat}}{+ [(T \text{ cld} / T \text{ peb}) \times \rho \text{ cld}]}$$

Berat aluminium (m Al) =	Berat serbuk Al / Berat ieb x m ieb
=	0.355636285 m ieb
Berat (m U_3Si_2) =	m ieb - m Al
=	0.644363715 m ieb
Densitas <i>cladding</i> (ρ cld) AlMg2 =	2.7

kadar U dalam U_3Si_2 = 92,52%

Kode sampel	Berat sampel,g	Berat meat,g	Berat U_3Si_2 ,g	Berat Utotal,g	U gr/l
U_3Si_2 Pasca Irr	0.0360	0.0194	0.01248	0.01154	0.46180