

PEMBUATAN ISOTOP ^{137}Cs SEBAGAI SUMBER RADIASI GAMMA UNTUK DIGUNAKAN DALAM INDUSTRI

Aslina Br.Ginting*, Dian Anggraini*, Arif Nugroho*, Rosika Kriswarini*,
Gatot Wurdianto**, Hermawan**

* Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir- BATAN

Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan, 15314

** Pusat Teknologi Keselamatan dan Meteorologi Radiasi - BATAN

Jalan Lebak Bulus Raya-Pasar Jumat, Jakarta Selatan, 7043 JKSKL

e-mail: aslina@batan.go.id

(Naskah diterima : 15-08-2014, Naskah disetujui: 19-09-2014)

ABSTRAK

PEMBUATAN ISOTOP ^{137}Cs SEBAGAI SUMBER RADIASI GAMMA UNTUK DIGUNAKAN DALAM INDUSTRI. Dalam melakukan uji pasca iradiasi pelat elemen bakar (PEB) $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ banyak larutan hasil pengujian bahan bakar nuklir yang disimpan di dalam *hotcell* dengan keaktifan yang sangat tinggi. Larutan tersebut mengandung isotop ^{137}Cs , uranium serta transuranium yang mempunyai waktu paroh panjang dan berbahaya bagi lingkungan. Namun limbah hasil pengujian tersebut memiliki nilai ekonomis tinggi karena dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk pembuatan sumber radiasi sinar gamma isotop ^{137}Cs . Hal ini dapat membantu bidang industri dalam memenuhi kebutuhan sumber radioaktif dalam negeri karena selama ini kebutuhan isotop ^{137}Cs di Indonesia masih tergantung dari industri luar negeri. Selain itu, pengadaan dan transportasi isotop ^{137}Cs dari luar negeri serta dalam penggunaannya memerlukan persyaratan yang cukup ketat karena harus mendapat izin persetujuan dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nasional (BAPETEN), sehingga menyebabkan harga isotop ^{137}Cs menjadi mahal sampai di Indonesia. Dengan alasan tersebut, BATAN sebagai lembaga litbang nuklir di Indonesia perlu mempelajari pembuatan sumber radiasi gamma isotop ^{137}Cs dari larutan hasil pengujian bahan bakar nuklir $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi. Manfaat isotop ^{137}Cs sangat luas antara lain digunakan dalam menganalisis sampel lingkungan, industri migas, konstruksi, radiografi, perikanan, rumah sakit dan pertambangan. Pembuatan sumber radiasi gamma isotop ^{137}Cs dimulai dari pengumpulan limbah hasil pengujian PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$. Limbah larutan hasil pengujian mengandung isotop ^{137}Cs dan isotop lainnya dikumpulkan menjadi satu dalam botol yang tahan radiasi. Pemungutan isotop ^{137}Cs dari hasil fisi lainnya dilakukan dengan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung. Hasil pemungutan diperoleh padatan ^{137}Cs -zeolit dalam fasa padat dan isotop lainnya berada dalam fasa cair. Padatan ^{137}Cs -zeolit kering kemudian ditimbang dan diukur aktivitasnya menggunakan spektrometer- γ . Untuk menjadi sumber radiasi gamma ^{137}Cs , padatan ^{137}Cs -zeolit akan dikemas dengan cara memasukkan ke dalam wadah tertutup (*shield source*) berbentuk kapsul dari *stainless steel* oleh PTKMR.

Kata kunci: limbah proses PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$, radioaktif gamma, isotop ^{137}Cs , penukar kation, zeolit Lampung dan industri.

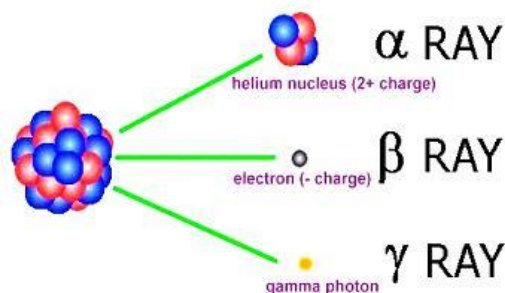
ABSTRACT

MANUFACTURING OF ^{137}Cs ISOTOP AS GAMMA SOURCE FOR USING IN INDUSTRY. In the post-irradiation examination of fuel element plate (PEB) $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$, a solution of high activity as a result of testing nuclear fuel stored in hotcell with enough volume. The solution can not be discarded as waste because it still contains fission isotopes such as ^{137}Cs , uranium and transuranium, which has a long half life and dangerous for the environment. This can help the industry in order to fulfill the needs of a radioactive source in Indonesia, because until now ^{137}Cs isotope is derived from foreign industries. In addition, the procurement and transportation of isotopes ^{137}Cs require stringent requirements, because they have to get permission from the National Nuclear Energy Agency (BAPETEN), thus causing the price of high activity ^{137}Cs isotopes becomes expensive to Indonesia. For these reasons, BATAN as nuclear R & D institutions in Indonesia need to study make isotopes ^{137}Cs gamma radiation source, which is contained in the waste from spent fuel test results $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$. Isotope ^{137}Cs can be used very widely, such as in the analysis of environmental samples, the oil and gas industry, construction, radiography, fisheries, hospitals, and mining. Making isotope ^{137}Cs gamma radiation source starting from the collection of waste from the test results PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$. Waste solution was collected in a bottle that is resistant to radiation. Collection of ^{137}Cs isotopes of other fission carried out using the method of cation exchange with zeolite Lampung. The results of separation are ^{137}Cs -zeolite in the solid phase and the other isotopes are in the liquid phase. ^{137}Cs -zeolite solid is then dried and then weighed and measured its activity using a spectrometer- γ . ^{137}Cs -zeolite solids then packed in sealed containers (shield source) capsule-shaped stainless steel by PTKMR.

Keywords: process waste of PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$, gamma radioactive, isotope ^{137}Cs , cation exchange, zeolite Lampung and industry.

PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar dalam reaktor, terdapat 2 (dua) jenis bahan yaitu bahan fisil dan bahan fertil. Bahan fisil adalah suatu bahan yang jika berinteraksi dengan neutron termal akan terjadi reaksi inti dan terpecah menjadi beberapa inti atom baru serta partikel radioaktif. Contoh atom dari bahan fisil antara lain ^{235}U , ^{233}U , ^{239}Pu , ^{241}Pu . Isotop ^{235}U yang di tumbuk oleh sebuah netrón akan terjadi reaksi fisi dan menghasilkan produk fisi berupa ^{141}Ba dan ^{92}Kr beserta tiga netrón cepat dengan masing-masing energi kinetik ~ 2 MeV. Reaksi fisi ^{235}U sangat terkenal karena reaksi nuklir inilah yang mendasari beroperasinya reaktor nuklir di seluruh dunia. Adapun bahan fertil adalah suatu bahan yang bila ditumbuk neutron-cepat (n-berenergi tinggi > 2 MeV) dapat menjadi bahan fisil dan dapat membelah, contoh atom dari bahan fertil ^{238}U , ^{232}Th , ^{238}Pu , ^{240}Pu . Umumnya isotop hasil fisi maupun fértil tersebut pemancar radiasi α , β dan γ seperti yang terlihat pada Gambar 1^[1].



Gambar 1. Reaksi fisi dan fertile menghasilkan isotop pemancar radiasi α , β dan γ ^[1]

Untuk mendapatkan komposisi isotop secara kuantitatif, terlebih dahulu harus dilakukan pemungutan isotop pemancar radiasi α , β dan γ untuk selanjutnya dapat dianalisis menggunakan alat spektrometer^[2]. Dalam melakukan uji pasca iradiasi khususnya *burn up*, mengakibatkan banyak larutan hasil pengujian (limbah) bahan bakar nuklir bekas yang disimpan dalam *hotcell* dengan keaktifan yang sangat tinggi. Limbah bahan bakar nuklir tersebut belum dapat dilimbahkan ke Pusat Teknologi Limbah

Radioaktif (PTLR) BATAN karena mengandung hasil fisi isotop ^{137}Cs (dengan waktu paroh 30,17 tahun) dan unsur-unsur berat (*heavy element=HE*) dari uranium maupun plutonium yang mempunyai waktu paroh panjang seperti; ^{238}U (waktu paroh $4,47 \times 10^9$ tahun), ^{235}U ($7,04 \times 10^8$ tahun), ^{238}Pu (87,71 tahun) dan ^{239}Pu ($2,41 \times 10^4$ tahun)^[3]. Hal ini yang menjadi latar belakang mengapa dilakukan pemungutan hasil fisi ^{137}Cs yang terdapat di dalam bahan bakar bekas tersebut.

Salah satu hasil fisi di dalam PEB U_3Si_2 Al bekas yang mempunyai waktu paroh panjang dan pemancar radiasi gamma adalah isotop ^{137}Cs . Isotop ^{137}Cs yang mempunyai waktu paroh 30,17 tahun dan mempunyai *fission yields* 6,2%. Besarnya *fission yields* isotop penting untuk diketahui karena merupakan salah satu bahan pertimbangan untuk mengetahui besarnya kandungan isotop tersebut di dalam hasil fisi bahan bakar pasca iradiasi. Isotop ^{137}Cs yang mempunyai *fission yield* sekitar 6,2%, relatif lebih tinggi dari isotop lainnya sesama pemancar radiasi- γ . Hal ini berarti bahwa setiap 100 x reaksi fisi (pembelahan) akan menghasilkan kurang lebih 6 atom ^{137}Cs . Fenomena ini menunjukkan bahwa di dalam bahan bakar bekas kandungan isotop ^{137}Cs sebagai pemancar sinar- γ lebih dominan dari pada isotop hasil fisi pemancar sinar- γ lainnya^[4]. Berdasarkan fenomena pembentukan isotop ^{137}Cs sebagai hasil fisi, menunjukkan bahwa pemungutan isotop ^{137}Cs dari bahan bakar bekas PEB U_3Si_2 -Al sangat ekonomis untuk dilakukan.

Metode pemungutan difokuskan untuk isotop ^{137}Cs , karena limbah bahan bakar tersebut sudah berada di dalam hotcell selama ± 18 tahun, sehingga kandungan isotop ^{134}Cs sudah hampir habis dengan waktu paroh ($t_{1/2} = 2$ tahun). Metode pemungutan isotop ^{137}Cs yang terdapat di dalam bahan bakar bekas PEB U_3Si_2 -Al adalah metode penukar kation

menggunakan zeolit Lampung^[4,5]. Penggunaan zeolit Lampung sebagai pengganti resin dalam proses penukar kation dikembangkan sendiri di laboratorium Instalasi Radiometalurgi (IRM). Sifat atau karakter zeolit yang dipelajari adalah besar kapasitas tukar kation (KTK), daya serap, kinetika dan difusi, *surface area*, komposisi kimia, sifat fisis, mikrostruktur dan analisis XRD dari zeolit Lampung. Hasil karakterisasi zeolit Lampung dari mineral alam dapat menggantikan fungsi resin sintesis sebagai bahan penukar kation^[6,7].

Penggunaan zeolit Lampung sebagai penukar kation menghasilkan isotop ^{137}Cs akan terikat dengan zeolit Lampung dalam bentuk padatan ^{137}Cs -zeolit sebagai fasa padat dan diharapkan isotop lainnya berada di dalam supernatan sebagai fasa cair. Isotop ^{137}Cs di dalam bentuk ^{137}Cs -zeolit selanjutnya dapat diproses menjadi sumber tertutup (*shield source*) dan merupakan sumber radiasi gamma yang dapat digunakan dalam berbagai industri^[7,8].

Manfaat dalam bidang Industri

Di bidang konstruksi instalasi industri minyak bumi isotop ^{137}Cs digunakan dalam pengujian kualitas las pada waktu pemasangan pipa minyak/gas serta instalasi kilang minyak. Teknik radiografi sering dipakai pada tahap-tahap konstruksi dan teknik ini digunakan juga pada uji kualitas las dari ketel uap tekanan tinggi serta uji kekerasan dan keretakan pada konstruksi beton^[9]. Selain dalam bidang konstruksi, isotop ^{137}Cs dapat digunakan sebagai bahan perunut untuk mendeteksi ketebalan bahan, mendeteksi kebocoran, keausan atau kekeroposan pipa tanpa merusak (*Non Destructive Test*, NDT), sedangkan di dalam industri perikanan isotop ^{137}Cs digunakan sebagai sumber irradiator untuk pengawetan ikan tuna, kepiting dan udang sewaktu dilakukan pengiriman dalam skala besar di dalam kontainer ke luar negeri serta dapat

membantu petani dan nelayan untuk mengawetkan udang atau bandeng dalam mengembangkan kegiatan usaha kecil menengah (UKM).

Manfaat di bidang Kesehatan

Di bidang kesehatan atau rumah sakit, industri nuklir yang menghasilkan radiofarmaka dapat dimanfaatkan untuk terapi tumor dan kanker. Karena sel kanker lebih sensitif (lebih mudah rusak) terhadap radiasi dari pada sel normal, maka dilakukan penggunaan radioisotop untuk membunuh sel kanker dengan mengatur arah dan dosis radiasi.

Manfaat dalam industri pertambangan

Di dalam industri pertambangan, isotop ^{137}Cs aktivitas tinggi digunakan sebagai *probe* pada alat *gamma logging* disekitar batuan atau sedimen pada sistem *geophysical logging*. Isotop ^{137}Cs aktivitas tinggi digunakan oleh geologist sebagai *probe* dalam mendeteksi kedalaman sumber minyak pada saat pemboran minyak dan kedalaman batu bara, nikel, emas dan hasil tambang lainnya pada saat pencarian hasil tambang tersebut. Hal ini sudah umum dilakukan oleh ahli geologist dalam menjejak dan mencari batuan maupun mineral di industri pertambangan^[9].

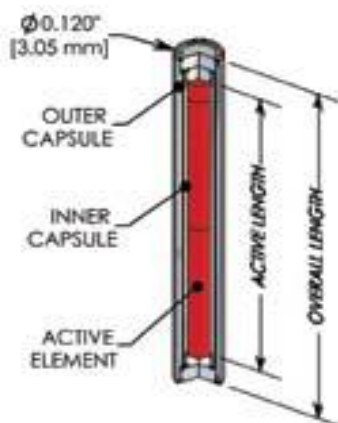
Begitu besarnya manfaat isotop ^{137}Cs di segala bidang, namun kebutuhan akan isotop ^{137}Cs di Indonesia masih sangat tergantung dari industri luar negeri. Selain harganya yang mahal^[10,11], penggunaan, pengadaannya dan transportasinya memerlukan izin persetujuan dari lembaga perizinan nuklir Indonesia BAPETEN dan internasional IAEA maupun DOE karena khawatir disalahgunakan untuk maksud tidak damai.

Oleh sebab itu untuk mengatasi ketergantungan tersebut, BATAN sebagai

lembaga litbang nuklir di Indonesia perlu mempelajari metode atau teknik melakukan pembuatan sumber radiasi gamma isotop ^{137}Cs di dalam negeri dari limbah hasil pengujian bahan bakar bekas PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ yang sudah berada di *hotcell* laboratorium radiometalurgi BATAN selama 18 tahun. Keberhasilan penelitian ini dapat meningkatkan kemampuan sumber daya manusia untuk memahami metodologi dan teknologi pemungutan isotop ^{137}Cs sebagai sumber radiasi gamma dengan harga yang lebih murah.

Selain itu untuk mengurangi limbah radioaktif yang ada di *hotcell* PTBBN, maka PTBBN bekerja sama dengan PTKMR-BATAN untuk melakukan suatu kegiatan penelitian pembuatan sumber radiasi gamma isotop ^{137}Cs dari limbah hasil pengujian PIE dengan metode penukar kation menggunakan zeolit Lampung^[12].

Bentuk prototipe dari isotop ^{137}Cs akan dirancang seperti bentuk *probe* yang di tawarkan oleh Eckert & Ziwgler dari Berlin-Germany (kode 3402 kapsul, part number CS734020050M) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Perhitungan biaya meliputi biaya izin pemanfaatan, transportasi, pengawasan yang dilakukan oleh PT. Energia Protektama harga *probe* tersebut sampai di Indonesia mencapai sekitar Rp.125.000.000,-^[10,11]. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari metode atau teknik pemungutan isotop ^{137}Cs diperoleh dari limbah hasil pengujian PIE menggunakan zeolit Lampung. Hasil pemungutan isotop ^{137}Cs berupa padatan ^{137}Cs -zeolit, kemudian diproses menjadi sumber radiasi gamma isotop ^{137}Cs yang tersertifikasi oleh PTKMR. Isotop ^{137}Cs tersebut terkungkung di dalam kapsul *stainless steel* sebagai *shield source* dan siap digunakan sebagai sumber radiasi gamma dalam industri.^[11]



Gambar 2. Bentuk prototipe isotop ^{137}Cs sebagai sumber radiasi gamma^[11]

TATA KERJA

Pelaksanaan penelitian diawali dengan beberapa tahapan kegiatan antara lain penyiapan prosedur penanganan bahaya radiasi sebagai persyaratan bekerja pada zona daerah radiasi dengan menyusun JHA (*Jobs Hazard Analysis*) dan HIRADC (*Hazard Identification Risk Assessment Determining Control*) serta penggunaan APD (alat pelindung diri) yang sesuai dengan besarnya paparan radiasi yang akan ditangani. Setelah itu, dilakukan validasi metode dan optimasi parameter untuk pemungutan isotop ^{137}Cs menggunakan sampel standar ^{137}Cs dari PTKMR dan dari NIST (*National Institute of Standards Technology*). Validasi metode yang dilakukan adalah akurasi, *recovery* sebagai faktor pemungutan, standar deviasi (SD), koefisien varian (CV) dan berat optimum zeolit Lampung yang digunakan. Metode yang valid kemudian digunakan untuk pemungutan isotop ^{137}Cs di dalam bahan bakar bekas $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$.

Metode pemungutan isotop ^{137}Cs di dalam bahan bakar bekas $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$

Pemungutan isotop ^{137}Cs di dalam bahan bakar bekas PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ dilakukan dengan penambahan zeolit Lampung^[4,5,13]. Larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi berasal dari limbah hasil pengujian dikumpulkan di dalam botol kaca yang tahan radiasi di dalam *hotcell*. Ke dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi sebanyak 22 mL ditambahkan zeolit Lampung dengan berat 15 gram, berat ini sesuai dengan hasil perhitungan kapasitas tukar kation (KTK) terhadap zeolit. Selanjutnya dilakukan proses pertukaran kation dengan cara pengocokan. Setelah selesai proses pertukaran kation, isotop ^{137}Cs dan zeolit masih tercampur dengan isotop lainnya sehingga harus dibiarkan selama 48 jam agar terpisah antara padatan ^{137}Cs -zeolit dengan supernatan secara sempurna. Padatan ^{137}Cs -zeolit yang terbentuk dicuci menggunakan aquades dengan tujuan untuk melepaskan isotop hasil fisi selain ^{137}Cs . Untuk menghilangkan kandungan air di dalam padatan ^{137}Cs -zeolit, selanjutnya dilakukan pengeringan secara alami di dalam *hotcell* sehingga diperoleh padatan ^{137}Cs -zeolit kering, selanjutnya dikemas menjadi sumber radiasi gamma isotop ^{137}Cs .

Pengemasan padatan ^{137}Cs -zeolit

Sebelum melakukan pengemasan ^{137}Cs -zeolit terlebih dahulu harus dirancang wadah berbentuk kapsul yang terbuat dari *stainless steel*. Perhitungan tebal dan daya serap (absorpsinya) dalam mendesain wadah tersebut dilakukan oleh PTKMR-BATAN. Padatan ^{137}Cs -zeolit berbentuk serbuk, kemudian dikemas dengan cara memasukkan ke dalam kapsul *stainless steel* dengan mengikuti persyaratan penanganan bahan radioaktif menjadi suatu sumber ^{137}Cs tertutup (*shield sources*). Selanjutnya sumber ^{137}Cs tertutup tersebut

distandarisasi oleh PTKMR sehingga diperoleh sumber radiasi gamma isotop ^{137}Cs yang siap digunakan sebagai sumber radiasi gamma^[11,12].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi metode dilakukan di luar *hotcell* dengan mengukur aktivitas standar ^{137}Cs sebanyak 50 μL dalam 2 mL larutan

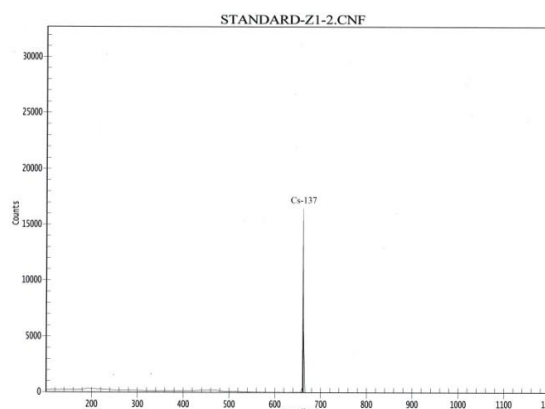
pengemban HCl 0,1N dari PTKMR. Analisis standar ^{137}Cs dilakukan menggunakan spektrometer- γ dengan waktu cacah 1500 detik. Hasil validasi metode diperoleh nilai akurasi pengukuran sebesar 0,114 %, SD sebesar 2,169% dan koefisien varian (CV) sebesar 0,066% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1^[13].

Tabel 1. Aktivitas isotop ^{137}Cs di dalam 50 μL standar dalam 2 mL HCl 0,1N dari PTKMR^[14]

Isotop	Net Area (cacah)	Cacah /detik (cps)	I_γ tabel (%)	Eff detektor	Aktivitas pengukuran (Bq)	Aktivitas sertifikat (Bq)	Akurasi (%)	Koef. Varian (%)
^{137}Cs	23835	15,7807	85,1	0,00189	9805,66	9794,50	0,114	0,066
	23585							
	23835							
	23584							
	23596							
	23672							

Selain validasi metode yang harus diketahui sebelum melakukan pemungutan isotop ^{137}Cs di dalam larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ adalah *recovery* pemungutan dengan metode penukar kation. Penentuan *recovery* sebagai faktor pemungutan dengan cara memipet larutan standar ^{137}Cs NIST sebanyak 50 μL . Larutan standar ^{137}Cs NIST sebanyak 50 μL ditambahkan zeolit Lampung seberat 700 mg^[15,16]. Selanjutnya dilakukan proses penukar kation dengan pengocokan selama 1 jam menggunakan *shaker* dengan kecepatan 20 rpm dan didiamkan selama 24 jam. Hasil proses penukar kation menunjukkan terjadinya pemisahan antara isotop ^{137}Cs yang terikat dengan zeolit dalam bentuk ^{137}Cs -zeolit sebagai fasa padat dengan isotop lainnya beserta unsur pengotor dalam fasa cair^[16]. Padatan ^{137}Cs -zeolit kemudian diukur menggunakan Spektrometri- γ dengan waktu

cacah 1000 detik, sehingga diperoleh kandungan isotop ^{137}Cs di dalam 50 μL sebagai hasil pengukuran, kemudian dibandingkan dengan kandungan isotop ^{137}Cs dari sertifikat sehingga diperoleh *recovery* sebesar 97,55% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Tabel 2.



Gambar 3. Spektrum isotop ^{137}Cs standar dalam padatan ^{137}Cs -zeolit

Tabel 2. Kandungan isotop ^{137}Cs standar NIST di dalam padatan ^{137}Cs -zeolit^[15]

Isotop	Net Area (cacah)	Cacah /detik (cps)	I_γ tabel (%)	$T_{1/2}$ (detik)	Aktivitas ^{137}Cs -zeolit (Bq)	Aktivitas ^{137}Cs sertifikat (Bq)	Recovery (%)
^{137}Cs	15808	15,825	85,1	952104860	12090,54	12399,78	97,55
	15829						
	15836						
	15825						

Setelah diperoleh parameter pemungutan isotop ^{137}Cs meliputi akurasi, *recovery*, SD, CV dan berat zeolit yang digunakan, kemudian dilakukan pemungutan isotop ^{137}Cs yang terdapat di dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ pasca iradiasi. Limbah larutan hasil pengujian PIE dikumpulkan dalam suatu botol yang tahan radiasi seperti yang terlihat pada Gambar 4. Ketiga botol limbah larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ dikumpulkan menjadi satu botol dan diperoleh larutan sekitar 22 mL

Gambar 4. Limbah larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ di dalam *hotcell*

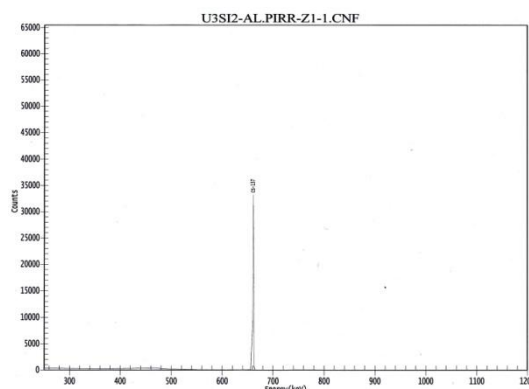
Dalam usaha untuk menghindari potensi bahaya paparan radiasi tinggi terhadap pekerja laboratorium, maka dilakukan pencuplikan sampel larutan PEB sebanyak 1 mL dan dimasukkan ke dalam vial. Larutan tersebut ditransfer atau dikirim dari *hotcell* ke R.135 (laboratorium aktivitas sedang) melalui pintu belakang *hotcell* 112.

Sebelum cuplikan sampel dibawa keluar dari *hotcell* terlebih dahulu harus dilakukan pengukuran paparan radiasi dipermukaan vial menggunakan surveymeter radiasi gamma. Bila paparan radiasi $< 150 \mu\text{Sv/jam}$, maka cuplikan larutan PEB dapat dimasukkan ke dalam *can* Pb untuk dibawa ke R.135. Besarnya paparan radiasi cuplikan setiap saat harus diukur untuk mengetahui lama waktu bekerja dalam medan radiasi. Proses pemungutan isotop ^{137}Cs dengan isotop lainnya dilakukan di dalam *fume hood* (lemari asap) di R.135 yang diberi shielding balok Pb. Larutan PEB sebanyak 1 mL kemudian diencerkan menjadi 10 mL dengan tujuan untuk mengurangi paparan radiasi. Pemungutan isotop ^{137}Cs dengan metode penukar kation, larutan PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ dipipet sebanyak 150 μL dan ditambah zeolit Lampung seberat 700 mg. Proses penukar kation antara isotop ^{137}Cs dengan zeolit Lampung dilakukan selama 1 jam^[16]. Hasil proses penukar kation menunjukkan bahwa isotop ^{137}Cs terikat dengan zeolit dalam padatan ^{137}Cs -zeolit sebagai fasa padat dan isotop lainnya dalam fasa cair seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Hal ini didukung oleh hasil analisis dengan spektrometer- γ yang menunjukkan tidak diperoleh isotop lain selain isotop ^{137}Cs pada energi 661,41 keV seperti ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 5. Padatan ¹³⁷Cs-zeolit dengan isotop lainnya di fasa cair

Untuk menghilangkan kandungan airnya, padatan ¹³⁷Cs-zeolit kemudian dikeringkan sehingga diperoleh padatan ¹³⁷Cs-zeolit berbentuk serbuk dengan berat padatan 695,5 mg^[16], kemudian diukur aktivitas isotop ¹³⁷Cs menggunakan Spektrometri- γ yang berada di laboratorium PTBBN dan PTKMR. Hasil pengukuran aktivitas isotop ¹³⁷Cs yang telah terikat dengan zeolit dalam bentuk padatan ¹³⁷Cs-zeolit ditunjukkan dengan spektrum ¹³⁷Cs yang terbentuk pada energi 661,45 keV seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Spektrum isotop ¹³⁷Cs di dalam padatan ¹³⁷Cs –zeolit

Hasil pengukuran yang dilakukan dengan 3 (tiga) kali pengulangan diperoleh cacah rerata sebesar 1636249 dengan waktu cacah 500 detik. Jumlah cacah selanjutnya dievaluasi, sehingga diperoleh aktivitas sebesar ± 2500 kBq seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4. Hasil pengukuran menggunakan alat Spektrometri- γ di PTKMR menunjukkan hasil yang sama yaitu sebesar 2500 kBq.

Tabel 4. Aktivitas padatan ¹³⁷Cs-zeolit dengan berat 695,5 mg

Isotop	Net Area (cacah)	Cacah /detik (cps)	I γ tabel (%)	Eff detektor	Aktivitas pengukuran (kBq)
¹³⁷ Cs	1636879	3272,50	85,10	0,00154	2500
	1634997				
	1636871				
	1636249				

Cuplikan larutan PEB sebanyak 150 μ L dengan pengenceran 10x mempunyai aktivitas sebesar 2500 kBq, sehingga untuk mendapatkan aktivitas ¹³⁷Cs sebesar 10 mCi ($3,7 \times 10^4$ kBq) dibutuhkan larutan PEB U₃Si₂-Al sebanyak 22 mL. Larutan PEB U₃Si₂-Al dengan volume 22 ml di dalam *hotcell* ditambah zeolit Lampung dengan berat 15 gram, berat ini sesuai dengan hasil perhitungan kapasitas tukar kation (KTK) terhadap zeolit. Selanjutnya dilakukan proses pertukaran kation sehingga diperoleh

padatan ¹³⁷Cs-zeolit kering dengan berat 12,45 gram. Padatan ¹³⁷Cs-zeolit berupa serbuk kering, kemudian dikemas dengan cara memasukkan ke dalam kapsul *stainless steel* tersebut dengan mengikuti persyaratan penanganan bahan radioaktif menjadi suatu sumber ¹³⁷Cs tertutup (*shield sources*) oleh PTKMR-BATAN. Selanjutnya sumber ¹³⁷Cs tertutup tersebut disertifikasi oleh PTKMR sehingga diperoleh sumber radiasi gamma isotop ¹³⁷Cs bersertifikat.

SIMPULAN

Keberhasilan PTBBN-PTKMR-BATAN membuat sumber radiasi gamma isotop ^{137}Cs dapat meningkatkan kemampuan SDM untuk memahami metodologi dan teknologi pemungutan isotop ^{137}Cs sebagai sumber radiasi gamma. Oleh karena itu, hasil penelitian ini memberi peluang bagi BATAN untuk bekerja sama dengan perusahaan maupun industri untuk mengembangkan penggunaan bahan dan teknologi nuklir diberbagai bidang industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R.I. Dobrin, T. Craciunescu, 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, November 4.
- [2] Wisnu Susetyo, (1988). *Spektrometer Gamma*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [3] Anonim, (2013). Laporan Analisis Keselamatan (LAK), Instalasi Radiometalurgi-Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, BATAN.
- [4] S.Amini, (1993). Penggunaan Zeolit Dan Zeotype Dalam Industri Nuklir, Proseding Teknologi Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, BATAN , 9-10 Februari Serpong.
- [5] S. Amini, (2009). Isolasi Isotop Cs Dari Pasca Iradiasi Elemen Bakar Nuklir, Laporan Akhir Kegiatan Block Grant Dikti, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN, Serpong.
- [6] A. Br. Ginting, D. Anggraini, A.Nugroho, (2011). Pengaruh Penambahan Zeolit Terhadap Pemungutan Isotop ^{137}Cs dalam Pelat Elemen Bakar $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi, Jurnal Teknologi Bahan Bakar Nuklir- PTBN-BATAN, Vol.7, No.2, Juni.
- [7] A. Br. Ginting, A. Nugroho, Boybul, (2012). Pemungutan dan Analisis Radionuklida ^{137}Cs di Dalam PEB $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Tingkat Muat Uranium 2,96 gU/cm³ Pasca Iradiasi, Jurnal Teknologi Bahan Nuklir-PTBN-BATAN, Vol.8 No.1, Januari.
- [8] American Standard Test Methods, ASTM-E 692-00, (2000). *Methods for Determining the Content of Cesium-137 in Irradiation Nuclear Fuels by High Resolution Gamma-ray Spectral Analysis*, Standard Test Method for Nuclear Material, USA, Vol.12.1
- [9] P.T. Reccalog Geoprime, (2014). Geologist Consultants, Jl. Ratna Niaga No.16, Komp. Kota Baru, Parahiangan, Bandung.
- [10] Sudarmadi, (2014). Penawaran Harga Isotop Cs-137 dan U-233, PT. Energia Protektama, Jl.Karang Tengah Raya No.88 H, Lebak Bulus Cilandak, Jakarta Selatan 12240.
- [11] Anonim, (2014). *Standard Capsule Designs*, Industrial Radiation Sources, Isotope Product Information, Eckert & Ziegler- Berlin, Germany.
- [12] A.Ginting, (2012). Pembuatan Standar Titik Isotop ^{137}Cs Dari Limbah Hasil Pengujian Bahan Bakar $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi, Persentasi Ilmiah Jabatan Peneliti Utama, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir-BATAN, Serpong.
- [13] Robert L, Anderson, (1987). *Practical Statistics for Analytical Chemists* Van Nostrand Reinhold Company New York.
- [14] Anonim, (2012). Standar Larutan Isotop ^{137}Cs dengan Aktivitas , PTMKR
- [15] Anonim, (2012). Standar Larutan Isotop ^{137}Cs dengan Aktivitas SRM 4233E, NISTA.
- [16] Nugroho, Boybul, A. Ginting, (2014). Pemungutan Isotop Hasil Fisi ^{137}Cs Dan Unsur Bermassa Berat Dari Bahan Bakar $\text{U}_3\text{Si}_2\text{-Al}$ Pasca Iradiasi, Jurnal Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Serpong.