

OPTIMASI PROSES ELEKTRODEPOSISI UNTUK PENGUKURAN ISOTOP ^{242}Pu DENGAN SPEKTROMETER ALPHA

Boybul, Yanlinastuti, Arif Nugroho, Rosika Kriswarini, Aslina Br. Ginting

Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir – BATAN

Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gd.20 Tangerang Selatan, Banten 15314

e-mail: boybul@batan.go.id

(Naskah diterima: 24-9-2020, Naskah direvisi: 6-10-2020, Naskah disetujui: 20-10-2020)

ABSTRAK

OPTIMASI PROSES ELEKTRODEPOSISI UNTUK PENGUKURAN ISOTOP ^{242}Pu DENGAN SPEKTROMETER ALPHA. Dalam penelitian ini digunakan metode elektrodeposisi untuk penyiapan sumber isotop ^{242}Pu untuk pengukuran dengan spektrometer alpha. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan parameter optimal proses elektrodeposisi sehingga diperoleh sumber alpha isotop ^{242}Pu dengan spektrum yang baik dan hasil maksimal dari proses elektrodeposisi. Sampel standar isotop ^{242}Pu dengan aktivitas tertentu dibuat dari larutan standar plutonium. Percobaan dilakukan untuk menetapkan parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi proses elektrodeposisi. Parameter proses elektrodeposisi yang dipelajari antara lain pengaruh waktu, arus listrik dan jarak anoda katoda menggunakan larutan elektrolit ammonium sulfat pH 3,5. Hasil optimasi proses elektrodeposisi diperoleh waktu optimum 2,5 jam, arus listrik 1,4 A dan jarak antara anoda katoda 10 mm. Hal ini menunjukkan bahwa parameter tersebut merupakan kondisi terbaik untuk deposisi isotop ^{242}Pu . Hasil pengukuran dengan spektrometri alpha menunjukkan bahwa resolusi spektrum yang baik untuk sumber isotop ^{242}Pu , dengan kedapatulangan proses elektrodeposisi sebesar 95,25%, dengan presisi sebesar 2,82%.

Kata kunci: Elektrodeposisi, isotop ^{242}Pu , kuat arus, waktu, spektrometer alpha

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF ELECTRODEPOSITION PROCESS FOR ^{242}Pu MEASUREMENT BY ALPHA SPECTROMETRY. *In this study electrodeposition method was used to design and set up an electrodeposition device for ^{242}Pu source preparation for measurement by alpha spectrometry. The purpose of this study was to determine the optimal electrodeposition process parameters so as to obtain ^{242}Pu alpha sources with good spectrum properties and maximum result from source preparation by electrodeposition process. Standard samples of ^{242}Pu with specific activity were prepared from plutonium standard aqueous solution. Experiments were conducted to determine the main parameters that have significant influence on the deposition efficiency. The electrodeposition process parameters analyzed were the effects of time, electric current and anode-cathode distance using an electrolyte solution of ammonium sulphate at pH 3.5. The results of the optimization of the electrodeposition process were optimal time of 2.5 hours, electric current of 1.4A and cathode-anode distance of 10 mm. These parameters' values are the best conditions for the deposition of ^{242}Pu . Alpha measurement results of the electrodeposited source of ^{242}Pu also show good spectra with electrodeposition process reproductibility of 95.3%.*

Keywords: *Electrodeposition, plutonium isotop, current, time, alpha spectrometry.*

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir ini penggunaan spektrometri alpha telah menunjukkan perkembangan yang sangat luas dalam berbagai bidang seperti, pengukuran untuk mendapatkan data peluruhan bahan radioaktif, studi geologi dan pengukuran tingkat radioaktivitas rendah di lingkungan. Teknik spektrometri alpha biasa digunakan untuk pengukuran kandungan isotop transuranium dalam komposisi matriks yang berbeda, khususnya isotop uranium dan plutonium. Pengukuran isotop plutonium pada tingkat radioaktivitas yang rendah mendapat perhatian yang besar dalam industri nuklir, fisika kesehatan, manajemen limbah, perlindungan radiologi dan ilmu lingkungan [1]. Pengukuran kandungan isotop-isotop hasil reaksi fisi di dalam bahan bakar bekas pada saat uji pasca iradiasi jangan sampai mencemari lingkungan tempat kerja dan lingkungan sekitar kawasan pada umumnya karena berbahaya bagi masyarakat maupun makhluk hidup lainnya. Untuk itu diperlukan metode yang valid dalam melakukan pengukuran isotop-isotop tersebut, khususnya isotop plutonium agar diperoleh hasil pengukuran yang akurat. Oleh karena itu, perlu adanya peningkatan teknik pengukuran yang akurat dari radionuklida ini dalam berbagai sampel. Sumber isotop plutonium yang tepat untuk pengukuran dengan spektrometri alpha adalah harus mempunyai aktivitas yang cukup untuk mencapai akurasi yang baik secara statistik. Lapisan isotop plutonium harus tipis dan terdistribusi homogen pada permukaan planset *stainless steel* [2]. Untuk memenuhi persyaratan tersebut, maka digunakan teknik elektrodeposisi. Teknik elektrodeposisi merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan untuk mempersiapkan sampel untuk pengukuran dengan spektrometri alpha. Pengukuran menggunakan solid state detektor jenis PIPS dapat menghasilkan resolusi sangat baik dari spektrum isotop plutonium dengan resolusi

hingga 28 keV [3]. Sumber alpha yang dihasilkan oleh teknik ini terdiri dari deposit radioaktif ke substrat logam (katoda sel elektrolit). Spektrum yang dihasilkan mempunyai resolusi energi, penghitungan statistik dan parameter penting lainnya digunakan untuk mengkarakterisasi kualitas sumber [3].

Pada penelitian ini, perangkat sel elektrodeposisi yang digunakan merupakan hasil rancangan dan pengembangan dari sel elektrodeposisi yang sudah ada. Kolom pada sel yang sebelumnya terbuat dari Teflon, sementara yang digunakan sekarang terbuat dari bahan kaca, sehingga lebih memudahkan untuk memposisikan anoda platina pada posisi ditengah planset *stainless steel* karena kolom tembus pandang. Pengembangan sel elektrodeposisi ini adalah untuk menghasilkan plating isotop uranium dan plutonium berupa lapisan tipis yang merata pada planset *stainless steel*, tidak bocor dan sederhana dalam pengoperasian.

Banyak metode penyiapan sumber radioaktif untuk pengukuran dengan spektrometer alpha yang telah dilakukan oleh para peneliti, seperti elektrodeposisi, deposisi spontan, mikro-presipitasi, penguapan langsung, sublimasi vakum, pengeringan tetes sampel cair secara langsung diendapkan pada *substrat*, *electrospray*, deposisi elektrostatik dll. Metode elektrodeposisi, deposisi spontan dan mikro presipitasi digunakan untuk menganalisis isotop dalam tingkat yang sangat kecil. Beberapa tahun terakhir ini telah banyak upaya dilakukan untuk mengembangkan metode dalam penyiapan sumber untuk pengukuran dengan spektrometer alpha, terutama untuk penentuan skala nano yaitu metode elektrodeposisi dalam larutan asam sulfat dan penyiapan sumber yang cepat dengan metode kopresipitasi menggunakan samarium hidroksida [7,8]

Dalam penyiapan sampel radionuklida pemancar alpha salah satu teknik yang terbaik adalah teknik

elektrodeposisi. Teknik ini sangat sesuai untuk persiapan isotop uranium dan transuranium [5]. Metode elektrodeposisi ini merupakan yang terbaik untuk membuat lapisan tipis dan merata sebagai sumber untuk pengukuran dengan spektrometri alpha [5].

Proses elektrodeposisi plutonium, amerisium dan aktinida menggunakan larutan elektrolit ammonium sulfat, ammonium klorida, campuran ammonium klorida dan ammonium oksalat atau dimetil sulfoksida [5]. Meskipun proses elektrodeposisi telah umum digunakan, tetapi masih terdapat beberapa kelemahan, diantaranya adalah kesulitan untuk mengontrol pH dalam larutan elektrolit sebelum proses elektrodeposisi dan kadangkala hasil *recovery* yang lebih rendah dari seharusnya. Adanya logam pengotor dalam konsentrasi yang cukup rendah, seperti ion besi dan zat organik dalam larutan elektroplating dapat menyebabkan hasil *recovery*nya menjadi rendah. Mengingat proses elektrodeposisi terdapat kesulitan, maka baru-baru ini dikembangkan teknik alternatif dengan memanfaatkan mikrokopresipitasi unsur tanah jarang untuk menghasilkan sumber untuk pengukuran dengan spektrometri alpha. Meskipun metode ini lebih sederhana dan cepat dari elektrodeposisi, resolusi energy (FWHM) tidak lebih baik dari proses elektrodeposisi [6]. Untuk mengatasi kekurangan pada metode proses elektroplating secara konvensional, maka dikembangkan teknik untuk proses elektrodeposisi isotop plutonium. Kondisi optimum pada proses plating isotop plutonium ditentukan dengan beberapa parameter proses elektrodeposisi diantaranya waktu plating, arus dan jarak antara anoda dan katoda, jenis larutan elektrolit, volume larutan elektrolit, pH larutan elektrolit, bahan dan bentuk elektroda, bahan dan kualitas permukaan katoda, dan waktu deposisi [4]. Parameter diatas sangat berpengaruh kepada hasil proses elektrodeposisi.

Metode elektrodeposisi yang optimal akan diaplikasikan untuk penentuan isotop plutonium dalam sampel bahan bakar nuklir pasca iradiasi khususnya dan sampel dalam limbah lingkungan pada umumnya.

Pengukuran dilakukan dengan memvariasikan parameter untuk mencapai *recovery* yang tinggi untuk analisis isotop plutonium dan juga spektrum yang dihasilkan mempunyai resolusi yang baik. Contohnya adalah pengaruh geometri platina sebagai anoda pada homogenitas sumber alpha oleh distribusi arus dalam larutan elektrolit. Efek ini telah dipelajari dan dilaporkan oleh beberapa peneliti [6,7,8,9,10] dan ditemukan bahwa homogenitas yang lebih baik dapat diperoleh dengan menggunakan anoda platina bentuk spiral. Untuk itu, maka pada penelitian ini menggunakan anoda platina bentuk spiral.

Salah satu faktor yang membatasi proses elektrodeposisi adalah volume larutan elektrolit. Volume larutan harus cukup besar untuk menjamin konduktivitas antara elektroda anoda dan katoda selama proses elektroplating sehingga dengan hilangnya elektrolit karena penguapan tidak berpengaruh pada proses. Untuk mencegah kehilangan larutan elektrolit karena penguapan yang dapat merubah pH larutan elektrolit dan dapat mempengaruhi hasil elektrodeposisi.. Untuk mengkompensasi hilangnya elektrolit karena penguapan, tutup bagian atas digunakan pada bagian atas sel. Pengaruh pH juga telah dilaporkan oleh peneliti sebelumnya [6,11,12] dan efisiensi yang sangat tinggi ditemukan pada kisaran pH 1,6 - 3,5. Karena penyesuaian pH sangat kritis, maka selama proses elektrodeposisi nilai pH elektrolit harus dikontrol selama proses elektrodeposisi berlangsung dengan menggunakan pH meter. Pada penelitian ini digunakan larutan elektrolit ammonium sulfat dengan pH 3,5 mengikuti ASTM [13,14].

Hasil *recovery* yang diperoleh dari proses elektrodeposisi adalah bukan merupakan satu-satunya faktor nilai fisik yang harus dipertimbangkan ketika

mempersiapkan sumber alpha dengan kualitas spektrometri. Resolusi energi dari sumber alpha juga harus diperhitungkan, terutama adanya energy yang berdekatan antara isotop plutonium yang berbeda energinya yang akan ditentukan. Selain itu juga berbagai upaya dilakukan untuk memperoleh sumber alpha yang tipis dan homogen untuk menghasilkan spektrum dengan resolusi tinggi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan parameter proses elektrodeposisi yang optimal untuk menghasilkan sumber alpha dari isotop plutonium dengan sifat spektrum yang baik dan hasil analisis yang maksimal. Untuk tujuan tersebut, serangkaian percobaan dilakukan untuk menetapkan parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi proses elektrodeposisi.

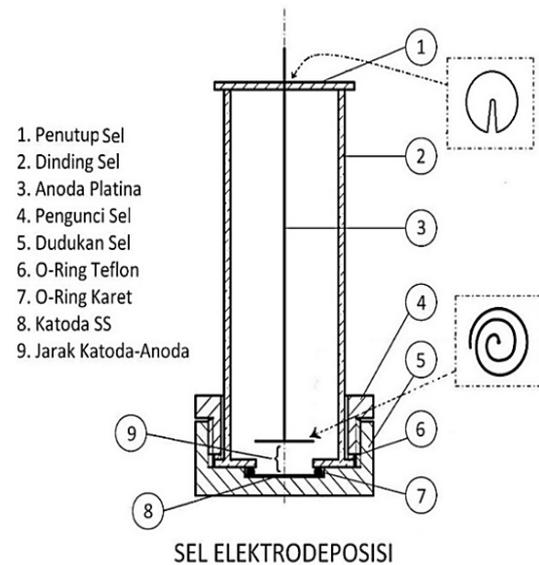
METODOLOGI

Peralatan sel elektrodeposisi

Peralatan yang digunakan adalah proses elektrodeposisi yang terdiri dari sel elektrodeposisi dengan diameter dalam sel tabung kaca 34 mm dan dudukan sel dibuat dari bahan *stainless steel* (SS) yang berhubungan dengan planset sebagai katoda. Proses pengendapan dilakukan pada *dish* atau *planset* SS dengan diameter 25 mm yang digunakan sebagai katoda, dan kawat platina bentuk spiral dengan diameter kawat 0,5 mm yang digunakan sebagai anoda. Skema sel elektrodeposisi yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1.

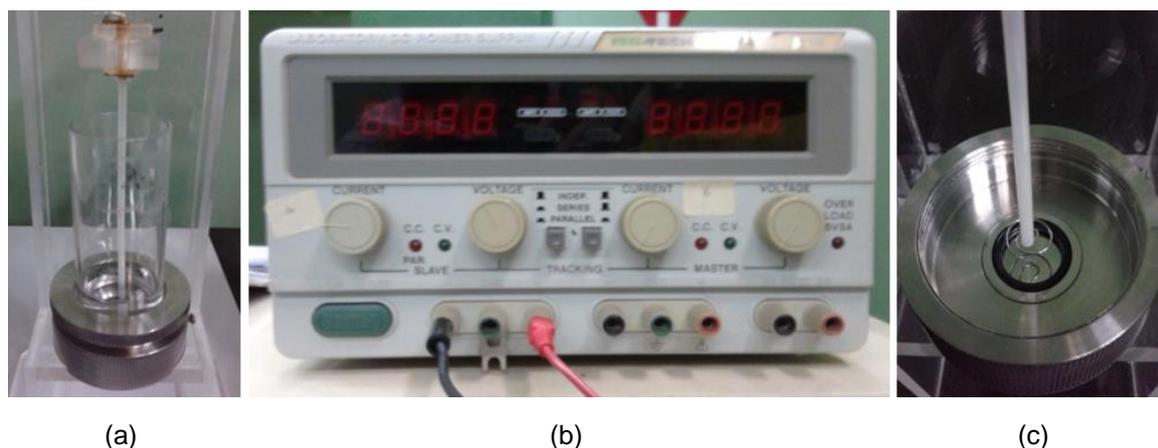
Dalam rangka untuk menjamin konduktivitas yang baik antara *dish* SS dan kawat platinum, maka volume elektrolit harus cukup besar selama waktu proses

elektrodeposisi. Sel elektroplating dibuat dari bahan kaca dengan ukuran tabung 30 ml sebagai sel elektrodeposisi dan diberi penutup pada bagian atas untuk mencegah penguapan dari larutan elektrolit seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Skema sel elektrodeposisi

Pada saat proses elektrodeposisi, suhu di dalam sel tersebut cukup tinggi sekitar $90\text{ }^{\circ}\text{C}$, yang terkait dengan pemakaian arus listrik tinggi. Suhu tinggi sering menyebabkan terjadinya kebocoran larutan elektrolit, sehingga radionuklida berkurang dari yang sesungguhnya. Untuk mencegah kemungkinan kebocoran tersebut, maka antara sel dan planset dipasang o-ring dari bahan karet. Sebelum proses elektrodeposisi dimulai rakitan sel elektrodeposisi diperiksa kebocorannya dengan cara mengisi air bebas mineral selama 2-3 jam untuk membuktikan bahwa sel tersebut kedap air sehingga mampu untuk mendukung operasional proses.



Gambar 2. Peralatan elektrodeposisi yang terdiri dari
(a) sel elektrodeposisi
(b) sumber arus
(c) anoda platina

Preparasi sampel dan proses elektrodeposisi

Penelitian proses elektrodeposisi menggunakan larutan standar isotop ^{242}Pu dari NIST (*National Institute of Standard and Test*) dengan aktivitas jenis 3,08 Bq/mL, larutan elektrolit yang digunakan adalah ammonium sulfat $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1M dengan pH 3,5 yang dibuat dari 132 g ammonium sulfat dilarutkan dalam 1000 ml air bebas mineral, kemudian diatur menjadi pH 3,5 dengan penambahan larutan amoniak (NH_4OH) encer dan atau asam sulfat (H_2SO_4) encer.

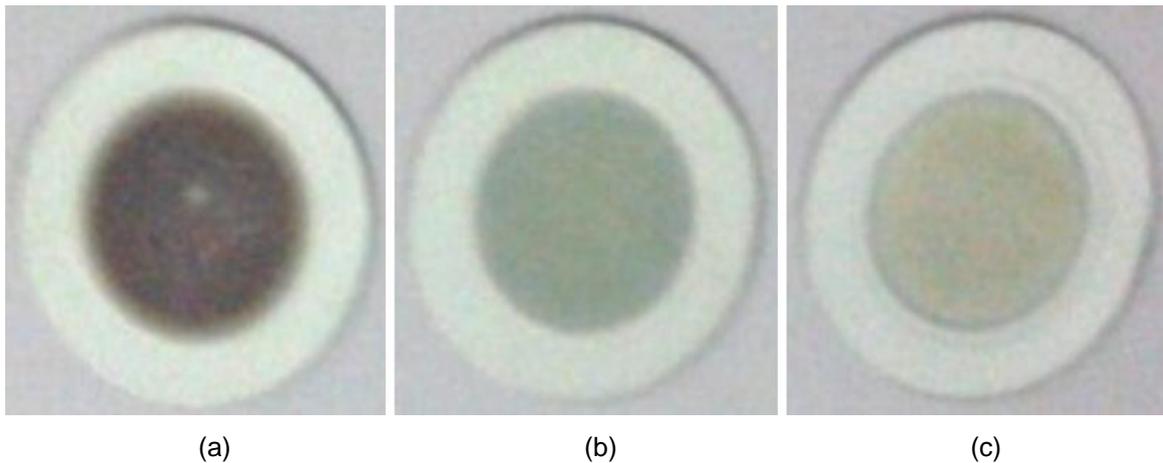
Larutan cuplikan standar isotop Pu dipipet sebanyak 50 μL dalam gelas piala kemudian diuapkan. Setelah kering ditambahkan larutan elektrolit $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1M pH 3,5 sebanyak 20 mL, kemudian ditransfer ke dalam sel elektrodeposisi menggunakan pipet polietilen.

Sebelumnya permukaan *dish* SS yang berfungsi sebagai katoda telah dibersihkan terlebih dahulu dengan asam klorida dan kemudian dibilas dengan etanol untuk menghilangkan jejak lem dan lemak. Kawat platinum sebagai anoda dimasukkan

ke sel dengan jarak bervariasi 5; 10 dan 15 mm dari katoda planset SS, kemudian dihubungkan elektroda dengan sumber arus dengan variasi 1,1; 1,2; 1,3; 1,4 dan 1,5 Ampere A. Hidupkan peralatan proses elektrodeposisi dengan variasi waktu 1, 1,5, 2,0, 2,5 dan 3,0 jam, setelah itu tambahkan 1 mL NH_4OH pekat ke dalam sel dan diamkan selama 5 menit. Buang larutan ke dalam botol limbah dan cuci sel ED dengan NH_4OH 0,1M. Keluarkan planset dari sel kemudian dibilas dengan NH_4OH 0,1M dan dilanjutkan dengan alkohol kemudian planset dikeringkan. Pengukuran isotop Pu dilakukan menggunakan spektrometer alpha dengan waktu cacah 20000 detik. Hasil pengukuran dengan spektrometer alpha diperoleh spektrum isotop Pu berupa cacahan per detik (cps) yang selanjutnya diestimasi menjadi besaran berat dari isotop ^{242}Pu .

HASIL DAN PEMBAHASAN

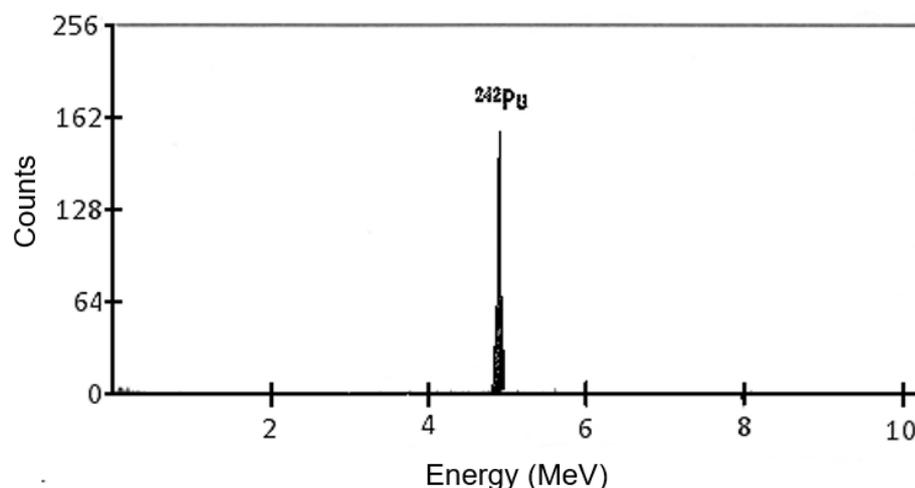
Hasil deposisi lapisan tipis isotop Pu pada permukaan planset SS sumber alpha isotop plutonium yang diperoleh dari proses elektrodeposisi ditunjukkan pada Gambar 3.

Gambar 3. Planset hasil proses elektrodeposisi isotop ^{242}Pu

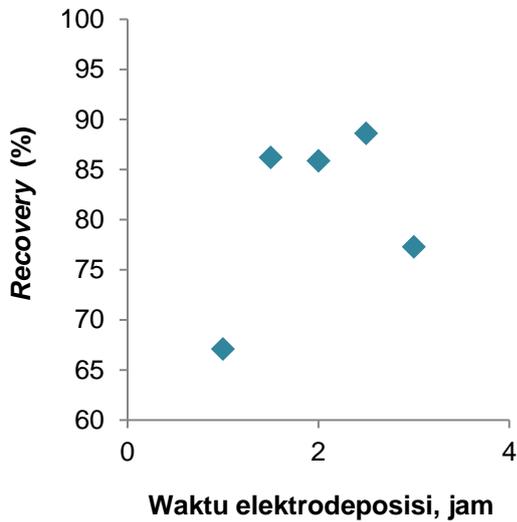
Pada Gambar 3 terlihat tiga contoh hasil proses elektrodeposisi, Gambar planset (a) diperoleh dari proses elektrodeposisi dengan waktu deposisi 3 jam, arus listrik 1,5 A dan jarak antara anoda-katoda 10 mm. Hasil menunjukkan bahwa deposisi isotop plutonium pada planset (a) secara visual terlihat berwarna coklat kehitaman, hal ini menunjukkan bahwa proses elektrodeposisi terlalu lama dan juga arus yang tinggi sehingga menghasilkan deposit lebih hitam dari yang lain. Planset (b) diperoleh dari proses elektrodeposisi dengan waktu deposisi 2,5 jam, arus listrik 1,4 A dan jarak antara anoda-katoda 10 mm, deposit yang dihasilkan tidak terlalu hitam dan merata, ini adalah hasil deposit yang optimum dilihat dari *recovery* yang dihasilkan. Planset (c)

diperoleh dari proses elektrodeposisi dengan waktu deposisi 1 jam, arus listrik 1,0 A dan jarak antara anoda-katoda 10 mm, hasil ini menunjukkan deposit yang kurang merata dan *recovery* tidak optimum.

Hasil pengukuran yang dilakukan dengan spectrometer alpha terhadap planset hasil proses elektrodeposisi dari semua parameter yang diuji pada semua planset menunjukkan kualitas spektrum yang sesuai untuk isotop ^{242}Pu , namun hasil cacahan yang berbeda-beda dapat dilihat dari *recovery* yang dihasilkan. Spektrum isotop ^{242}Pu terlihat pada Gambar 4. Pada spektrum yang ditampilkan pada Gambar 4 tersebut terlihat bahwa spektrum yang dihasilkan sesuai dengan puncak alpha dari isotop ^{242}Pu pada energy 4,9 MeV.

Gambar 4. Spektrum isotop ^{242}Pu hasil pengukuran dengan *spectrometer alpha*

. Besarnya pengaruh waktu proses elektrodeposisi terhadap *recovery* isotop ^{242}Pu dengan jarak katoda-anoda 10 mm dan kuat arus 1,2 A ditunjukkan pada Gambar 5.

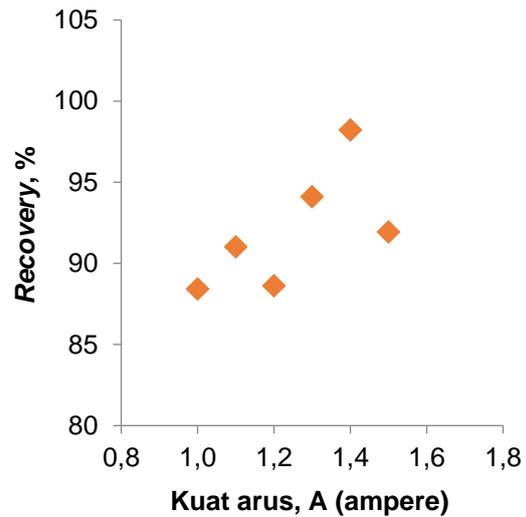


Gambar 5. Pengaruh waktu deposisi terhadap hasil *recovery* isotop ^{242}Pu .

Waktu proses elektrodeposisi yang optimum dipilih atas dasar hasil *recovery* yang maksimum. Dari variasi yang disajikan pada Gambar 5, terlihat bahwa hasil maksimum dari isotop plutonium diperoleh dengan waktu elektrodeposisi selama 2,5 jam dan diperoleh *recovery* sebesar 88,62%. Waktu elektrodeposisi optimum tersebut dipilih untuk melakukan proses elektrodeposisi selanjutnya. Apabila waktu elektrodeposisi lebih lama dari 3 jam, maka lapisan plutonium yang terbentuk akan larut kembali yang menyebabkan *recovery* menurun, sehingga tidak diperlukan lagi meningkatkan waktu plating untuk meningkatkan hasil.

Faktor lain yang secara signifikan dapat mempengaruhi kualitas spektrum dan hasil *recovery* dari proses elektrodeposisi plutonium adalah kuat arus. Parameter kuat arus pada penelitian ini dilakukan dengan variasi arus dari 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4 dan 1,5 amper dengan parameter lain tetap, tetapi digunakan waktu elektrodeposisi

2,5 jam, jarak 10 mm dan volume larutan sebanyak 20 mL. Variasi besar arus dilakukan untuk mendapatkan deposit endapan isotop Pu yang optimum pada planset SS. Hasil dari proses elektrodeposisi dengan variasi pengaruh arus terhadap *recovery* dari deposit isotop ^{242}Pu ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh arus listrik terhadap hasil deposisi isotop ^{242}Pu .

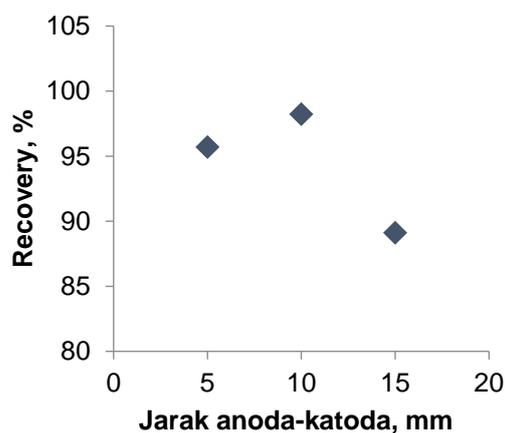
Dari variasi arus terhadap hasil *recovery* isotop plutonium pada Gambar 6 diperoleh hasil bahwa proses elektrodeposisi yang optimum terjadi pada kuat arus listrik 1,4 A. Penetapan nilai optimum ini didasarkan pada hasil dengan nilai tertinggi yaitu sebesar 98,23%. Kecenderungan *recovery* menurun dengan meningkatnya arus listrik, yang menyebabkan larutan elektrolit mendidih dan terjadi penguapan. Hal ini menyebabkan gangguan kuat pada proses elektrodeposisi dan deposisi yang terbentuk pada katoda berwarna agak hitam.

Kepadatan arus adalah ukuran kepadatan arus listrik dan didefinisikan sebagai vektor yang besarnya adalah arus per luas penampang. Density arus listrik sangat mempengaruhi tingkat deposit, kekuatan menempel dan kualitas deposit. Kepadatan arus yang lebih tinggi akan menghasilkan deposit yang tinggi pula.

Secara bersamaan suhu elektrolit akan meningkat dan mengarah ke pembentukan gelembung yang bertindak sebagai isolator sehingga mengurangi daerah aktif pengendapan dan meningkatkan kepadatan arus, yang mengarah kepada bentuk butir atau granular dari deposit. Reaksi pengendapan lapisan tipis isotop Pu yang terjadi pada katoda sebagai berikut [15]:



Variabel lain yang mempengaruhi hasil proses elektrodeposisi untuk menghasilkan sumber alpha adalah jarak antara anoda dan katoda. Pada penelitian ini pengaruh jarak anoda platina dan katoda planset SS menggunakan tiga parameter yaitu 5; 10; dan 15 mm, sedangkan parameter lain seperti arus listrik dan waktu dibuat tetap pada kondisi optimum yang didapatkan pada eksperimen sebelumnya. Dengan melakukan variasi terhadap jarak anoda-katoda diharapkan hasil deposit optimum isotop Pu pada planset SS tercapai. Hasil proses elektrodeposisi dengan variasi jarak antara anoda dan katoda ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh variasi jarak anoda-katoda terhadap recovery isotop ^{242}Pu .

Pengaruh jarak elektroda Pt sebagai anoda terhadap planset SS sebagai katoda dalam proses elektrodeposisi ditunjukkan pada Gambar 7 terlihat bahwa jarak optimum

diperoleh pada posisi 10 mm. *Recovery* isotop plutonium pada jarak tersebut diperoleh sebesar 98,23%. Jarak elektroda mempengaruhi kepadatan arus antara katoda dan anoda. Apabila jarak terlalu dekat, larutan elektrolit akan mendidih yang mengakibatkan efisiensi menurun dengan waktu deposisi lebih lama. Parameter optimum yang diperoleh dari variabel yang telah dilakukan sesuai dengan hasil *recovery* tertinggi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter optimum proses elektrodeposisi isotop ^{242}Pu

Anoda	Kawat platina diameter 0,5 mm
Katoda	Planset SS
Arus listrik	1,4 A
Waktu	2,5 jam
Jarak anoda-katoda	10 mm
Volume elektrolit	20 ml
pH elektrolit	3,5

Pengulangan proses dilakukan terhadap parameter optimum proses elektrodeposisi yang diperoleh dari hasil optimasi beberapa variabel pada Tabel 1 untuk mengetahui reproduksibilitasnya. Kedapatulangan suatu proses sangat diperlukan untuk memastikan bahwa semua parameter menunjukkan hasil pengukuran optimal. Hasil pengujian reproduksibilitas ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data *recovery* proses elektrodeposisi isotop ^{242}Pu

Ulangan proses	<i>Recovery</i> , %
1	98,23
2	96,05
3	90,11
4	93,42
5	96,74
6	96,51
7	95,71
Rata-rata	95,25
SD	2,69
Presisi, %	2,82

Hasil pengukuran membuktikan bahwa dari parameter optimum yang disajikan pada Tabel 1 memungkinkan pengaturan eksperimental terbaik untuk hasil recovery pengukuran dengan hasil dari optimalisasi penentuan kedapatulangan proses elektrodeposisi didapatkan hasil recovery rata-rata sebesar 95,25% dengan ketelitian sebesar 2,82% seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

SIMPULAN

Hasil optimasi proses elektrodeposisi menghasilkan recovery isotop ^{242}Pu sebesar 95,3% dengan presisi 2,82%. Parameter optimum proses elektrodeposisi menggunakan anoda dari kawat platina 0,5 mm, katoda dari stainless steel, larutan elektrolit ammonium sulfat 20 mL pH 3,5 yaitu diperoleh arus listrik 1,4 A, jarak anoda-katoda 10 mm dan waktu deposisi 2,5 jam. Hal ini menunjukkan bahwa metode elektrodeposisi cukup baik digunakan sebagai metode preparasi isotop plutonium untuk pengukuran dengan spectrometer alpha.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada rekan-rekan Kelompok Fisiko Kimia, Bidang Uji Radiometalurgi, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Badan Tenaga Nuklir Nasional yang telah membantu penelitian ini sehingga makalah ini dapat terwujud.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. C.G. Mendez, *et.al*, "Nanoscopic study of chemical species during uranium electrodeposition for alpha spectrometry sources", *Journal of Material Science*, vol. 45, pp. 5061–5070, 2010.
- [2]. V. Jobbagy, *et.al*, "Preparation of high-resolution ^{238}U a-sources by electrodeposition from various electrolyte solutions", *2nd IMEKO TC 11 conference proceedings 2011, Cavtat, Dubrovnik Riviera, Croatia*
- [3]. J. Janda, P. Sladek, D. Sas, "Electrodeposition of selected alpha-emitting radionuclides from oxalate-ammonium sulfate electrolyte and measured by means of solid-state alpha spectrometry," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 286, pp. 687–691, 2010.
- [4]. H. S. Amoli, J. Barker, A. Flowers, "Electrodeposition and determination of nano-scale uranium and plutonium using alpha spectroscopy," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 268, no.3, pp. 497–501, 2006.
- [5]. M. H. Lee, C. W. Lee, "Preparation of alpha-emitting nuclides by electrodeposition," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, vol. 447, pp. 593-600, 2000.
- [6]. H. Klemencic, L. Benedik, "Alpha-spectrometric thin source preparation with emphasis on homogeneity," *Journal Applied Radiation and Isotopes*, vol. 68, no. 7-8, pp.1247-1251, 2010.
- [7]. H. S. Amoli, J. Barker, A. Flowers, "Electrodeposition and determination of nano-scale uranium and plutonium using alpha-spectroscopy," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 268, pp. 497–501, 2006.
- [8]. H. Kikunaga, *et.al*, "Development of a rapid source preparation method for high resolution alpha particle spectrometry," *Journal Applied Radiation and Isotopes*, vol. 67, pp. 539–543, 2009
- [9]. L. Sherrod, *et.al*, "Rapid fusion method for determination of plutonium isotopes in large rice samples," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 298, pp. 1367–1374, 2013.
- [10]. M. H. Lee, C. J. Kim, B. H. Boo, "Electrodeposition of Alpha-Emitting Nuclides from Ammonium Oxalate Ammonium Sulfate Electrolyte," *Bulletin of Korean Chemical Society*, vol. 21, no. 2, 2000.
- [11]. F. Esaka, D. Suzuki, Y. Miyamoto, M. Magara, "Determination of plutonium

- isotope ratios in individual uranium-plutonium mixed particles with inductively coupled plasma mass spectrometry," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 306, pp. 393-399, 2015.
- [12]. J. S. Oh, P. E. Warwick, I. W. Croudace, S. H. Lee, "Evaluation of three electrodeposition procedures for uranium, plutonium and americium," *Journal Applied Radiation and Isotopes*, vol. 87, pp. 233-237, 2014.
- [13]. ASTM C1284-10, "Standard Practice for Electrodeposition of the Actinides for Alpha Spectrometry", *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2010.
- [14]. ASTM C1001-11, "Standard Test Method for Radiochemical Determination of Plutonium in Soil by Alpha Spectroscopy," *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2011.
- [15]. C. L. Murphy, "Investigating the Electrodeposition of Plutonium and Curium for Safeguarding the Electrorefiner," 2018.

