

PEMISAHAN MATRIKS $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ MENGGUNAKAN METODE ELEKTROKROMATOGRAFI BERBASIS FASA DIAM CAMPURAN ALUMINA-SILIKA

Sulaiman, Adang H.G., Artadi Heru W, Sri Aguswarini, Karyadi, Gatot S, dan Chairuman

Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka-BATAN
Kawasan Puspipstek-Serpong-Tangerang 15314
E-mail: sulaiman@batan.go.id

ABSTRAK

PEMISAHAN MATRIKS $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ MENGGUNAKAN METODE ELEKTROKROMATOGRAFI BERBASIS FASA DIAM CAMPURAN ALUMINA-SILIKA. Itrium-90 merupakan radionuklida pemancar β yang mempunyai waktu paruh 64,1 jam dan memancarkan energi β maksimum 2280 keV. Itrium-90 merupakan radionuklida yang banyak digunakan dalam kedokteran nuklir untuk keperluan terapi. Itrium-90 diperoleh dari hasil peluruhan radionuklida ^{90}Sr yang mempunyai waktu paruh 28,1 tahun. Untuk memperoleh radionuklida ^{90}Y , dibutuhkan suatu sistem pemisahan yang sesuai dan pada saat ini yang paling banyak digunakan adalah sistem generator $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$. Dalam penelitian ini, telah dilakukan studi sistem pemisahan ^{90}Y dari ^{90}Sr dengan metode elektrokromatografi untuk parameter tegangan, dan komposisi isian kolom kromatografi. Radionuklida yang digunakan dalam penelitian ini adalah campuran radionuklida $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ yang diperoleh dari hasil fisi. Hasil percobaan yang diperoleh menunjukkan bahwa dengan kondisi elektrokromatografi menggunakan tegangan 400 V selama 4 jam, fasa gerak larutan penyangga sitrat 0,1 M; pH 5 dan fasa diam sepanjang 9 cm dengan komposisi 2 cm silika 0,5 mm, 4 cm alumina, 1 cm campuran silika 0,2 mm : alumina = 1:1 dan 2 cm silika 0,2 mm telah dihasilkan rendemen pemisahan ^{90}Y sebesar 59,63% dengan kemurnian radiokimia 97,30%.

Kata kunci : Itrium, stronsium, alumina, silika, generator $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$

ABSTRACT

SEPARATION OF $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ MATRIX USING ELECTROCHROMATOGRAPHY METHOD BASED ON STATIONARY PHASE OF MIXED ALUMINA-SILICA. Yttrium-90 is a β transmitter radionuclide that has 64.1 hours half-life and emits the maximum β energy at 2280 keV. Yttrium-90 radionuclide is widely used in nuclear medicine for therapeutic purposes. Yttrium-90 is obtained from the decay of ^{90}Sr radionuclides which has a half-life of 28.1 years. Yttrium-90 radionuclide obtained by a suitable separation system and at the moment the most widely used is $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ generator system. In this study, we have performed studies of separation ^{90}Y from ^{90}Sr with system electrochromatography method for voltage parameters, and the composition of the chromatographic column packing. Radionuclides used in this study is a mixture of radionuclides $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ obtained from fission. The experimental results showed that the condition electrochromatography using voltage 400 V for 4 h, mobile phase 0.1 M citrate buffer pH 5 and 9 cm along the stationary phase with the composition of silica 0.5 mm 2 cm, 4 cm alumina, 1 cm a mixture of 0.2 mm silica: alumina = 1.1 and 2 cm silica 0.2 mm separation of ^{90}Y was produced 59.63 % yield and 97.30% radiochemical purity.

Keywords : Yttrium, strontium, alumina, silica, generator $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$

PENDAHULUAN

Radiofarmaka terapi yang umum digunakan dalam kedokteran nuklir merupakan senyawa yang mengandung radionuklida

pemancar partikel bermuatan, seperti β -, α -, atau elektron auger. Salah satu radionuklida pemancar partikel bermuatan yang sering digunakan, diantaranya adalah Itrium-90 (^{90}Y) pemancar β - dengan energi maksimum 2280 keV dan waktu paruh 64,1 jam. Radiofarmaka

terapi ^{90}Y misalnya ^{90}Y -sitrat yang digunakan untuk *synovectomy* dan ^{90}Y -Ibritumomab tiuxetan (Zevalin) untuk terapi NHL (*Non Hodgkin's Lymphoma*)^[1]. Perkembangan terakhir berkaitan dengan *molecular targeting* untuk terapi, radionuklida ^{90}Y telah cukup luas digunakan dalam penyiapan radiofarmaka *specific target* untuk *radioimmunotherapy* maupun *peptide receptor radionuclide therapy* yang masing-masing menggunakan antibodi dan peptida spesifik terhadap antigen dan reseptor yang berada di permukaan sel kanker^[2].

Itrium-90 dalam bentuk bebas pengemban dapat diperoleh dari peluruhan stronsium-90 (^{90}Sr), melalui proses pemisahan dari ^{90}Sr , dari hasil belah 235U. Stronsium-90 memiliki energi β - maksimum 544 keV dan waktu paro 28,1 tahun. Metode pemisahan ^{90}Y dari ^{90}Sr telah banyak dikembangkan dan pada umumnya menggunakan metode ekstraksi pelarut, kromatografi kolom penukar ion, metode pemisahan berbasis membran, dan metode elektrodeposisi^[3-7]. Dengan metode elektroforesis kertas kedua campuran radionuklida $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ dapat terpisah dengan baik^[8] dan termasuk dengan media migrasi silika juga memberikan pemisahan menggunakan metode elektroforesis silika^[9]. Spesi kompleks anion radionuklida itrium akan dapat dipisahkan dari spesi kation radionuklida stronsium dengan kolom elektrokromatografi menggunakan silika dan alumina sebagai bahan isian kolom^[10-11].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakter campuran media alumina dan silika terhadap mobilitas matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ dari sistem generator $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ berbasis kolom elektrokromatografi. Campuran media alumina dan silika dibuat dalam dua variasi yaitu kolom I dan kolom II. Dari kolom yang digunakan dipelajari karakter pemisahan yang lebih baik dengan variasi tegangan menggunakan matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ hasil fisi. Dengan penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh komposisi isian kolom yang memberikan karakter pemisahan yang baik terhadap ^{90}Y .

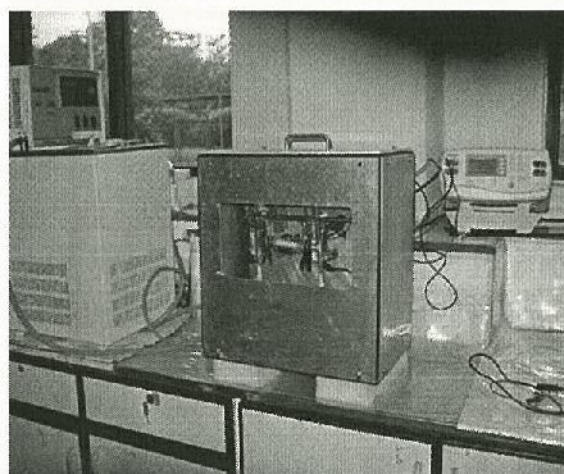
METODE

Bahan dan Peralatan

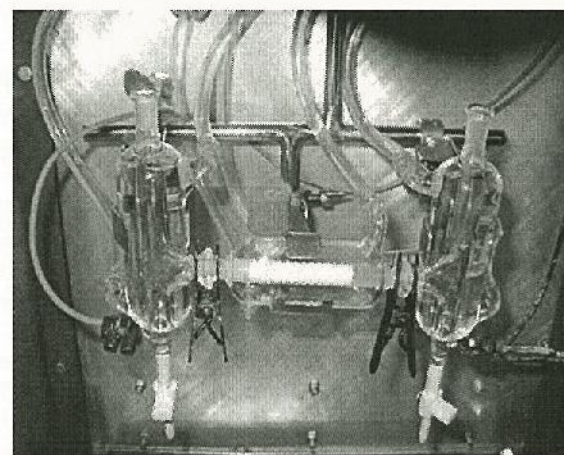
Bahan-bahan yang digunakan adalah $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ hasil fisi (Ritverc), asam klorida 37%

pa (MERCK), penyangga sitrat 0,025 M; pH 5, penyangga sitrat 0,1 M; pH 5, silika (silika gel 60 F254), aluminium oxide 90 aktif N (Merck).

Peralatan yang digunakan adalah sistem elektroforesis yang terdiri dari *power supply* dan kolom elektrokromatografi (lokal) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1. Selain itu digunakan *alpha beta simple counter Ludlum Model 3030*, *TLC Scanner bioscan AR 200*, dan alat-alat pendukung lainnya.



A



B

Gambar 1. A. Sistem elektrokromatografi kolom (lokal), B. Kolom.

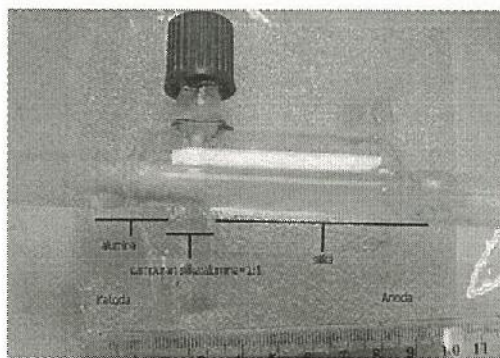
Pembuatan Larutan ^{90}Y Sebagai Sampel Elektrokromatografi Kolom

Stronsium sulfat ($^{90}\text{SrSO}_4$) hasil fisi sebanyak 10 μL (0,6 mCi) diencerkan dengan 1 ml aquades selanjutnya dipanaskan sampai kering lalu dilarutkan kembali dalam 5 mL HCl 2 M (matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$).

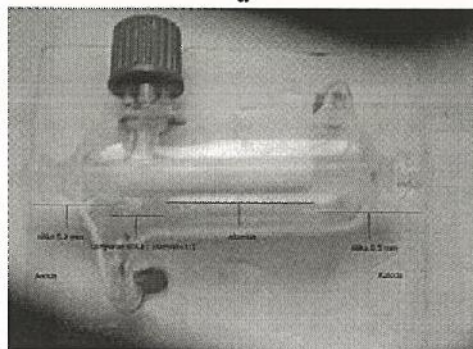
Preparasi Isian Kolom

Isian kolom yang digunakan terdiri dari alumina (aluminium oxide 90 aktif N), silika (silika gel 60 F254), dan campuran dengan komposisi alumina : silika = 1:1, semua bahan tersebut dicuci 3 kali dan dijemuhkan dengan penyangga sitrat 0,025 M atau 0,1 M; pH 5.

Komposisi isian kolom I: salah satu ujung dari kolom ditutup dengan gelas frit. Kolom dengan panjang 9 cm (4 cm diisi dengan silika berukuran partikel 0.5 mm, 2 cm diisi dengan silika berukuran partikel 0,2 mm, 1 cm diisi dengan campuran silika berukuran partikel 0.2 mm : alumina berukuran partikel 0.2 mm = 1:1, 2 cm diisi dengan alumina berukuran partikel 0.2 mm), dan terakhir ujung yang lain ditutup dengan gelas frit (Gambar 2a). Komposisi isian kolom II: salah satu ujung dari kolom ditutup dengan gelas frit. Kolom dengan panjang 9 cm (2 cm diisi dengan silika berukuran partikel 0.5 mm, 4 cm diisi dengan alumina, 1 cm diisi dengan campuran silika berukuran partikel 0,2 mm: alumina berukuran partikel 0.2 mm = 1:1, 2 cm diisi dengan silika berukuran partikel 0,2 mm), dan terakhir ujung yang lain ditutup dengan gelas frit (Gambar 2b).



a



b

Gambar 2. a. Komposisi isian kolom I, b. Komposisi isian kolom II.

Pemisahan ^{90}Y dari Matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ dengan Larutan Penyangga Sitrat 0,1 M; pH 5

Kolom yang digunakan adalah kolom I dan II (Gambar 2), dipasang pada bejana anoda dan katoda, dialirkan air pendingin, kedua elektrode dihubungkan pada *power supply*, posisi elektrode kolom II kebalikan dari posisi kolom I. Larutan matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ dimasukkan ke dalam kolom melalui *loading gate* 10-50 μL lalu ditutup, ditambah larutan penyangga sitrat 0,1 M; pH 5 ke dalam kedua bejana 3-4 mL. Tegangan *power supply* diset pada 400 V, 4 jam^[11], Setelah 1 jam waktu tercapai larutan di bejana anoda diambil dan dicatat volume total, secepatnya bejana ditambahkan dengan larutan yang baru, begitu selanjutnya sampai dengan waktu yang diinginkan. Larutan yang diambil dicuplik 10 μL ke kertas saring, dikeringkan termasuk 10 μL larutan matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ pada kertas saring yang lain dan dicacah dengan pencacah beta, sehingga dapat ditentukan % *yield* ^{90}Y hasil pemisahan.

Studi Sistem pemisahan dengan variasi Tegangan Untuk Komposisi Kolom I dan II dan Penyangga Sitrat 0,1 M; pH 5

Kolom yang digunakan adalah kolom I dan II (Gambar 2), dipasang pada bejana anoda dan katoda, dialirkan air pendingin, posisi elektrode kolom II kebalikan dari posisi kolom I, dihubungkan pada *power supply*. Larutan matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ dimasukkan ke dalam kolom melalui *loading gate* 50-100 μL lalu ditutup, ditambahkan penyangga sitrat 0,1 M; pH 5 pada kedua bejana 3-4 mL. Tegangan *power supply* diset pada variasi (300, 400, 500, dan 600) V, selama 4 jam. Setelah waktu tercapai larutan di bejana anoda diambil dan dicatat volume total. Larutan dicuplik 10 μL ke kertas saring, dikeringkan termasuk 10 μL larutan matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ pada kertas saring yang lain dan dicacah dengan *alpha beta simple counter Ludlum Model 3030*, sehingga dapat ditentukan % *yield* ^{90}Y hasil pemisahan.

Pemisahan ^{90}Y dari Matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ dengan Larutan Penyangga Sitrat 0,1 M; pH 5, Tegangan 400 volt, Selama 4 jam Menggunakan Komposisi Kolom II

Larutan matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ dimasukkan ke dalam kolom melalui *loading gate* 100 μL (121,66 μCi), ditambahkan penyangga sitrat 0,1 M; pH 5 pada kedua bejana 3-4 mL,

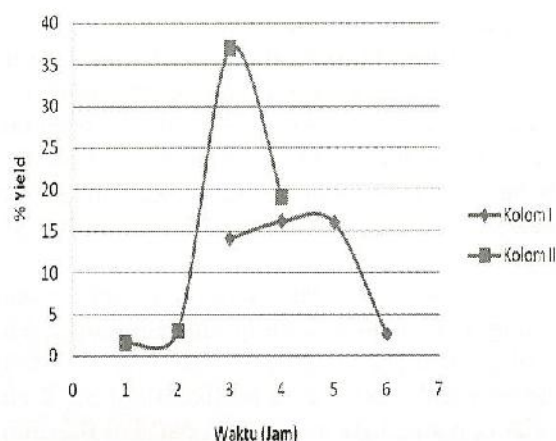
dialirkan air pendingin. Tegangan *power supply* diset pada tegangan 400 V (dari hasil variasi tegangan). Tiap jam larutan bejana anoda diambil dengan tabung reaksi, segera ditambahkan larutan penyangga sitrat 0,1 M; pH 5 ke bejana anoda 3-4 mL, proses dilanjutkan, begitu seterusnya selama 4 jam. dan dicatat volume total masing-masing larutan di tabung reaksi. Setiap larutan di tabung reaksi dicuplik 10 μ L, ditotolkan ke kertas saring, dikeringkan. Diambil 10 μ L larutan matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ pada kertas saring yang lain, dikeringkan dan dicacah dengan *alpha beta simple counter Ludlum Model 3030*, sehingga dapat ditentukan % *yield* ^{90}Y .

Penentuan Kemurnian Radionuklida ^{90}Y Hasil Pemisahan dengan Elektroforesis Kertas

Disiapkan kertas elektroforesis dengan ukuran (32 x 1,5) cm. Pada bagian tengah ditotolkan ^{90}Y hasil pemisahan, dikeringkan dan diberi tanda bagian anoda (+) dan katoda (-). Ditambahkan larutan penyangga sitrat 0,025 M; pH 5 ke dalam bejana elektroforesis kertas secukupnya, kertas elektroforesis dengan bagian bertanda (+) ditempatkan pada bejana anoda, bagian bertanda (-) pada bejana katoda. Semua permukaan kertas dibasahi dengan larutan penyangga, dan ditutup. Dialirkan air pendingin dan *power supply* diset pada tegangan 500 volt selama 2 jam. Setelah proses selesai kertas dikeringkan, ditutup dengan *sealtape* dan dicacah dengan pencacah *TLC Scanner bioscan AR 200*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil elusi ^{90}Y pada 400 V, sampai 6 jam dengan komposisi kolom I dan 4 jam dengan komposisi kolom II, menggunakan penyangga sitrat 0,1 M; pH 5 ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Profil elusi ^{90}Y pada 400 V, 4 jam dengan komposisi kolom I dan II, dengan penyangga sitrat 0,1 M; pH 5

Dari Gambar 3 terlihat kolom II lebih baik dari kolom I, dimana kolom II dapat memberikan % *yield* ^{90}Y yang lebih besar dari kolom I dan juga dari segi waktu kolom II memberikan % *yield* ^{90}Y yang lebih besar dengan waktu yang lebih cepat dari kolom I. Pada waktu 3 jam kolom II telah memperlihatkan hasil tertinggi sementara kolom I baru terlihat mulai menghasilkan ^{90}Y yang dua jam sebelumnya cacahan larutan masih sama dengan latar.

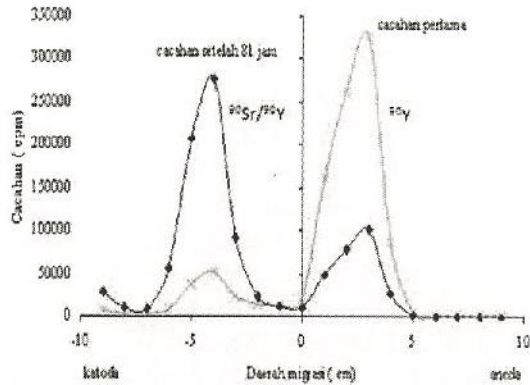
Untuk variasi tegangan % *yield* ^{90}Y hasil dari kedua kolom I dan II disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Profil elusi ^{90}Y pada studi variasi tegangan pada kolom I dan II, dengan penyangga sitrat 0,1 M; pH 5

Tegangan (V)	% Yield		
	300	400	500
Kolom I		4.03	2.59
Kolom II	5.5	16.5	10.5

Tabel 1 memperlihatkan hasil dari studi sistem pemisahan dengan variasi tegangan untuk kedua kolom dengan lama proses elusi 4 jam, dimana hasil yang lebih baik ditunjukkan oleh tegangan 400 V. Dengan tegangan 400 V kolom II memberikan % *yield* ^{90}Y yang lebih tinggi dari kolom I. Tegangan 600 V tidak memberikan hasil yang baik karena kendala seringnya terbentuk bunga api dalam kolom berakibat arus dari *power supply* terputus.

Gambar 4 adalah Elektrokromatogram larutan matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ dengan elektrokroforesis kertas menggunakan larutan penyangga sitrat 0,025 M; pH 4, tegangan 400 V. Kertas elektrokroforesis yang sama dilakukan dua kali pencacahan dengan alat *gamma management system (GMS)*.

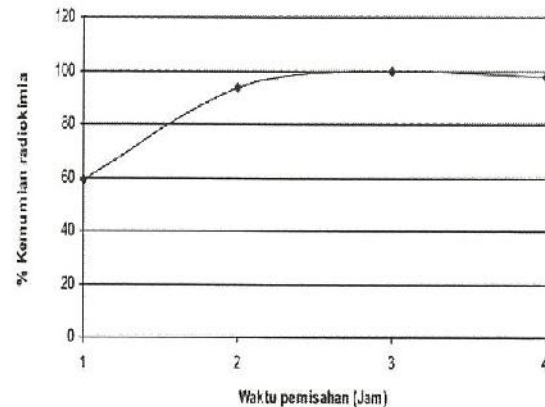


Gambar 4. Elektrokromatogram larutan matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ dengan elektrokroforesis kertas dengan larutan penyangga sitrat 0,025 M; pH 4 dengan tegangan 400 V

Pencacahan kedua dilakukan setelah 81 jam dari pencacahan pertama. Terlihat dari pencacahan pertama spesi ^{90}Y bergerak ke arah anoda, diduga dalam bentuk anion seperti senyawa kompleks negatif ^{90}Y -sitrat. Pencacahan kedua setelah 81 jam cacahan ^{90}Y di daerah anoda turun karena terjadi peluruhan ^{90}Y menjadi radionuklida ^{90}Zr netral. Puncak pada daerah katoda pada pencacahan pertama yang diperkirakan adalah puncak dari ^{90}Sr yang mestinya pada pencacahan kedua cacahannya tetap karena waktu paro dari ^{90}Sr panjang, terlihat bertambah setelah 81 jam karena ^{90}Sr mengalami peluruhan membentuk radionuklida anak ^{90}Y yang aktif, dimana laju pertumbuhan ^{90}Y yang dihasilkan lebih tinggi dari peluruhan ^{90}Y menjadi radionuklida ^{90}Zr netral, dengan demikian pada pencacahan kedua ini puncak daerah katoda telah tercacah dua jenis radionuklida aktif yaitu ^{90}Sr yang belum meluruh dan ^{90}Y dari hasil peluruhan ^{90}Sr .

Mengacu pada elektrokromatogram Gambar 4 bahwa spesi di bagian anoda adalah radionuklida ^{90}Y , maka spesi yang diperoleh dalam bejana anoda hasil pemisahan dengan generator $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ juga merupakan radionuklida ^{90}Y . Profil kemurnian radiokimia ^{90}Y pada bejana anoda dengan tegangan pemisahan 400 V, komposisi kolon II, dan penyangga sitrat 0,1 M; pH 5 yang diperoleh

setelah dilakukan elektrokroforesis kertas disajikan pada Gambar 5.

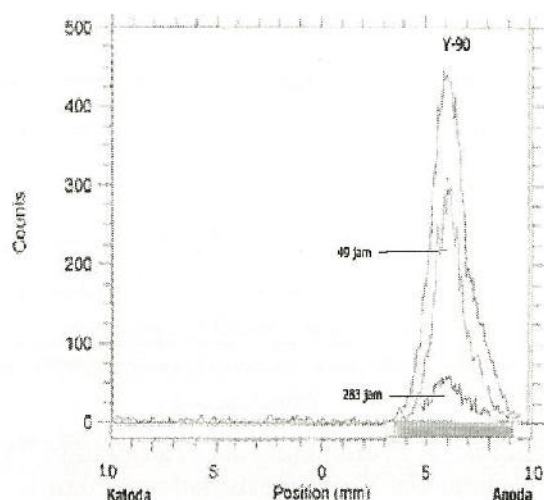


Gambar 5. Profil kemurnian radiokimia ^{90}Y pada 400 V, komposisi kolon II, dan penyangga sitrat 0,1 M; pH 5

Gambar 5 memperlihatkan kemurnian radiokimia ^{90}Y , untuk elusi 1 jam jauh lebih kecil dari elusi berikutnya, tiga fraksi berikutnya memberikan kemurnian lebih dari 90% bahkan untuk fraksi tiga atau lama proses 3 jam memberikan hasil kemurnian 100%. Kemurnian radiokimia secara keseluruhan sebesar 97,30 % dan telah diperoleh rendemen hasil pemisahan (*yield* ^{90}Y) sebesar 59,63 %. Namun bentuk kimia dari radionuklida ^{90}Y yang diperoleh belum dapat dipastikan. Karena ion Y^{3+} merupakan ion "pseudo-lanthanide" yang memiliki bilangan koordinasi sampai sembilan, maka dengan adanya ligand ion negatif, seperti Cl^- , dapat diperkirakan terbentuknya spesi ion kompleks itrium bermuatan negatif. Spesi ini akan bergerak ke arah anoda bila diberikan medan listrik. Karena dalam preparasi generator $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ digunakan HCl untuk pelarutan matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ dan dalam pemisahan dengan elektrokromatografi menggunakan penyangga sitrat, kedua jenis larutan ini merupakan ligan yang masing-masing dapat membentuk senyawa kompleks negatif dengan Y^{3+} . Karenanya bentuk kimia dari radionuklida ^{90}Y yang diperoleh belum dapat dipastikan antara bentuk klorat atau dalam bentuk sitrat.

Untuk membuktikan yang diperoleh dari pemisahan tersebut adalah ^{90}Y maka dilakukan pencacahan kembali dalam selang waktu tertentu hasil uji kemurnian radiokimia dengan *TLC Scanner bioscan AR 200*, diambil

fraksi 3 (3 jam). Hasilnya ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Profil peluruhan ^{90}Y hasil uji kemurnian radiokimia menggunakan pencacah TLC Scanner bioscan AR 200.

Dari Gambar 6 terlihat pola peluruhan hasil pencacahan dengan alat TLC Scanner bioscan AR 200 dalam selang waktu 49 jam, dan 283 jam. Pada daerah bagian katoda tidak terlihat adanya pertumbuhan puncak sebagai pertanda adanya ^{90}Sr (Gambar 4). Jika keberadaan ^{90}Sr ada pada daerah katoda, ^{90}Sr akan meluruh menjadi ^{90}Y maka akan terlihat puncak atau cacahan dibagian katoda yang bertambah yang berasal dari aktivitas ^{90}Y seiring waktu peluruhan ^{90}Sr menjadi ^{90}Y . Jadi dari Gambar 6 dapat disimpulkan bahwa hasil elektrokromatografi yang diperoleh adalah ^{90}Y .

KESIMPULAN

Dari studi sistem pemisahan ^{90}Y dari matriks $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ dengan metode elektrokromatografi yang telah dilakukan terhadap kolom atau fasa diam sepanjang 9 cm yang memberikan karakter pemisahan lebih baik adalah dengan komposisi terdiri dari 2 cm silika 0,5 mm, 4 cm alumina, 1 cm campuran silika 0,2 mm: alumina = 1:1, dan 2 cm silika 0,2 mm, dan parameter proses pemisahan 400 V, 4 jam, menggunakan penyangga sitrat 0,1 M; pH 5. Dengan menggunakan komposisi isian kolom tersebut, telah diperoleh rendemen hasil pemisahan (*yield* ^{90}Y) sebesar 59,63 % dan kemurnian radiokimia 97,30 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada DR. Abdul Mutalib, DR. Rohadi Awaludin, Prof. Drs. Sunarhadijoso, M.Sc dan Dra. Siti Darwati, M.Sc serta kawan-kawan yang telah membantu serta memberikan masukan dalam pembuatan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Gregory A. Wiseman and Thomas E. Witzig, , Yttrium-90 (^{90}Y)Ibritumomab Tiuxetan (Zevalin®) Induces Long-Term Durable Responses in Patients with Relapsed or Refractory B-Cell Non-Hodgkin's Lymphoma, *Cancer Biotherapy & Radiopharmaceuticals*, Volume 20, Number 2, hal.185-188, (2005)
2. Mutalib. A., Radionuklida dan Radiofarmaka untuk Keperluan Medik: Pengembangan teknologi produksi di PRR-BATAN, *Prosiding Seminar Teknoekonomi Iptek Nuklir, Serpong* , hal. 200-212, (2006)
3. Happel S., Streng R., Vater P., Ensinger W., Sr/Y Separation by Supported Liquid Membranes Based on Nuclear Track Micro Filter, *Radiation Measurements* 36, Elsevier Ltd, 761-766, (2003)
4. International Atomic Energy Agency(IAEA), Therapeutic radionuclide Generators: $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ and $^{188}\text{W}/^{188}\text{Re}$ Generators, Technical Reports Series No. 470, Vienna, (2009)
5. Barrio G and Osso J.A., Development of Methodology for the preparation of $^{90}\text{Sr}-^{90}\text{Y}$ generators, INAC, Santos, SP, Brazil, (2007)
6. Saito, N., (1984), Selected Data on Ion Exchange Separations in Radioanalytical Chemistry Pure & Application Chemistry, 56, (4), Pergamon Press Ltd., Great Britain.
7. L'Annunziata, M. F., Radioactivity: Introduction and History, Elsevier, Amsterdam, p.63, (2007)
8. Sulaiman, Adang H.G., Noor Anis Kundari, A. Mutalib, Karakterisasi Spesi Senyawa Kompleks Itrium-90 dan Stronsium-90 Dengan Elektrofesis Kertas, Prosiding seminar Nasional XV Kimia Dalam Industri Dan Lingkungan, Buku II, Yogyakarta, hal.145-152, (2006)

9. Sulaiman, Adang H.G., A. Mutalib, Silika Sebagai Media Migrasi Pemisahan Itrium-90 dari Strontium-90 dengan cara Elektroforesis, Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Fungsional Pengembangan Teknologi Nuklir II, Yogyakarta, hal.98-109, (2008)
10. Sulaiman, Adang H.G., A. Mutalib, Pemisahan Spesi Radionuklida Itrium dari Spesi Radionuklida Strontium dengan Metode Elektroforesis Silika, Prosiding seminar Nasional XVIII Kimia Dalam Industri Dan Lingkungan, Yogyakarta, hal.141-148, (2009)
11. Sulaiman, Adang H.G., A. Mutalib, Mobilitas Radionuklida Itrium dan Radionuklida Stronsium di Dalam Kolom Elektrokromatografi, Prosiding Pertemuan Ilmiah Radioisotop, Radiofarmakadan siklotron, Bandung, hal. 126-130, (2011)