

MAKALAH PENDAMPING : PARALEL E



SEMINAR NASIONAL KIMIA DAN PENDIDIKAN KIMIA IV
"Peran Riset dan Pembelajaran Kimia dalam Peningkatan Kompetensi
Profesional"
Program Studi Pendidikan Kimia Jurusan PMIPA FKIP UNS
Surakarta, 31 Maret 2012



PEMISAHAN RADIOISOTOP ^{115m}In MENGGUNAKAN KOLOM KROMATOGRAFI

Kadarisman

Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka, Badan Tenaga Nuklir Nasional
Kawasan PUSPITEK, Gedung 10, Serpong-Setu, Tangerang Selatan 15314, Banten,
Telp. (021)7563141 dan Fax. (021)7563141, HP. 085885108700,
email: kadarisman_w@yahoo.com

ABSTRAK

Pemisahan Radioisotop ^{115m}In Menggunakan Kolom Kromatografi. Radioisotop ^{115m}In sangat berpotensi diaplikasikan dalam bidang riset biologi dan kedokteran nuklir. Radioisotop ^{115m}In mempunyai sifat fisis yang baik apabila diaplikasikan untuk medis, seperti dapat dibandingkan dengan radioisotop ^{99m}Tc , yang merupakan radioisotop paling banyak digunakan untuk diagnosis di bidang kedokteran nuklir di dunia, bahwa radioisotop ^{115m}In mempunyai umur paro ($t_{1/2}$) 4,5 jam dan energi sinar gamma 336 KeV, dan radioisotop ^{99m}Tc 6,6 jam dan 140,3 KeV. Namun radioisotop ^{115m}In mempunyai keunggulan yaitu bahwa dalam proses penandaan untuk membuat sediaan radiofarmaka radioisotop ini tidak menggunakan bahan oksidator sedangkan radioisotop ^{99m}Tc harus menggunakan oksidator NaOCl untuk membentuk spesi perteknetat (TcO_4^-). Proses produksi, terutama pemurnian ^{115m}In dari matriks pengotornya dari kadmium teriradiasi dilakukan menggunakan sistem kolom kromatografi penukar anion, fraksi kadmium di dalam larutan target terirradiasi dikondisikan untuk membentuk kompleks anion, CdI_4^{2-} , yang kemudian diikat pada kolom resin AG 1X8 (Cl^- , 100 - 200 mesh). Radioisotop ^{115m}In yang dibentuk, radionuklida anak dari ^{115}Cd , dalam bentuk $^{115m}\text{In}^{3+}$ kemudian dielusi dari kolom penukar anion menggunakan HCl 0.05 M. Hasil percobaan dari dua kali iradiasi kadmium oksida (CdO) alam menunjukkan bahwa diperoleh radioaktivitas ^{115}Cd masing-masing sebesar 5,358mCi dan 15,27 μCi , efisiensi penyerapan ^{115}Cd ke dalam resin masing-masing sebesar 89,5% dan 99,5%, radioaktivitas ^{115m}In telah dapat dipisahkan dari matriks kadmium teriradiasi dengan tingkat radioaktivitas masing-masing sebesar 806,2 μCi dan 1,46 μCi dengan kemurnian radionuklida 100%.

Kata Kunci: ^{115}Cd , ^{115m}In , resin penukar anion

PENDAHULUAN

Sebuah kolom generator radioisotop $^{115}\text{Cd}/^{115m}\text{In}$ telah dikembangkan dengan menyerapkan senyawa kompleks kadmium diperkaya teriradiasi sebagai garam anion iodida (CdI_4^{2-}) dalam resin penukar anion dan radionuklida ^{115m}In dielusi dengan menggunakan larutan HCl 0.05M. Yield ^{115m}In cukup tinggi dari kolom yang diisi dengan resin penukar anion di dalam volume 3 ml, dengan lolosan Cd-115

kurang dari $3 \times 10^{-4}\%$ telah dikerjakan [1, 2, 3]. Radionuklida ^{115m}In dihasilkan dari kolom generator ini telah digunakan untuk penandaan senyawa *canine platelets* dan untuk penataan *canine thrombus* secara *in vivo* [1].

Proses produksi radioisotop indium, baik ^{111}In (dari aktivasi siklotron) maupun ^{115m}In (dari aktivasi reaktor), proses pemisahan spesi indium dari matriks kadmium teriradiasi merupakan masalah paling penting, terutama yang berkaitan

dengan mutu produk radioisotop indium yang dihasilkan. Mutu produk radioindium harus bebas dari cemaran kadmium secara kimia maupun secara radionuklida, sebab spesi kadmium bersifat toksis dan radioisotop kadmium (^{115}Cd) mempunyai karakter radiomedik yang berbeda dengan radioindium. Telah dilakukan investigasi penggunaan kolom kromatografi sebagai bahan kolom generator radioisotop $^{115}\text{Cd}/^{115\text{m}}\text{In}$ untuk menghasilkan radioisotop $^{115\text{m}}\text{In}$, sebuah radionuklida yang telah berkembang pesat untuk diaplikasikan di bidang medis karena umur-paronya 4,5 jam, yang tidak berbeda jauh bila dibandingkan dengan radioisotop medis $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang mempunyai umur paro 6,6 jam dan radioisotop $^{115\text{m}}\text{In}$ lebih disukai dari pada nuklida $^{113\text{m}}\text{In}$ yang umur paronya lebih pendek, yaitu hanya 1,66 jam [5, 6, 7,8].

Radioisotop $^{115\text{m}}\text{In}$ merupakan radioisotop pemancar radiasi sinar γ dengan energi 336 KeV dan meluruh melalui mekanisme transisi isomerik dengan waktu paruh 4,5 jam menjadi ^{115}In yang merupakan radioisotop alam pemancar partikel β ($E_{\beta} = 860$ KeV dengan waktu paruh 4×10^{14} tahun [9] dan kelimpahan sekitar 5%, menghasilkan isotop stabil ^{115}Sn), walaupun radiasi β tersebut memberikan kontribusi dosis radiasi yang kecil, tetapi cukup kuat untuk membunuh sel-sel kanker, maka radioisotop $^{115\text{m}}\text{In}$ dapat digunakan di bidang kesehatan untuk diagnosis dan terapi. [1, 10]

Radioisotop $^{115\text{m}}\text{In}$ dalam aplikasinya tidak memerlukan bahan reduktor kimia, berbeda dengan $^{99\text{m}}\text{Tc}$, radioisotop ini dalam proses penandaannya selalu melibatkan bahan reduktor kimia yaitu ion stanous atau bahan-bahan lain yang tidak diperlukan untuk pembuatan senyawa kompleks dengan indium, karena radioisotop indium hanya mempunyai satu tingkat oksidasi yang sudah dikenal di dalam lingkungan air. Kimia indium yang demikian itu lebih sederhana dibandingkan dengan teknesium, walaupun barangkali kurang serbaguna apabila dibandingkan dengan radioisotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Peluruhan dalam sistem generator radioisotop $^{115}\text{Cd}/^{115\text{m}}\text{In}$ diterangkan dalam Gambar 1 [2]; Induk radioisotop ^{115}Cd yang dihasilkan dengan aktivasi neutron di dalam reaktor dari bahan sasaran kadmium meluruh dengan memancarkan partikel beta menjadi $^{115\text{m}}\text{In}$.

Dalam penelitian ini dilakukan pemisahan radionuklida $^{115\text{m}}\text{In}$ dari matriks kadmium alam teriradiasi menggunakan kolom kromatografi yang diisi dengan resin penukar anion Dowex AG 1X8 (Cl^-), yang mempunyai pori 200 s/d 400 mesh. Tujuan kegiatan ini untuk menghitung efisiensi penyerapan radioisotop ^{115}Cd ke dalam resin, radioaktivitas dan kemurnian radionuklida isotop $^{115\text{m}}\text{In}$.

Untuk menetapkan radioaktivitas isotop $^{115\text{m}}\text{In}$ yang diperoleh dari pemisahan ini harus mempertimbangkan cara peluruhan radioisotop induk (^{115}Cd) atau pembentukan radioisotop anak ($^{115\text{m}}\text{In}$) dan peluruhan radioisotop anak ($^{115\text{m}}\text{In}$), hal itu dapat dijelaskan seperti di bawah ini:

Pada reaksi pembentukan radioisotop $^{115\text{m}}\text{In}$ dari peluruhan induk radioisotop ^{115}Cd , bahwa waktu paruh ^{115}Cd jauh lebih lama [$(t_{1/2})_1 = 53,38$ jam] dari pada waktu paruh $^{115\text{m}}\text{In}$, yaitu sebesar $(t_{1/2})_2 = 4,5$ jam, sehingga konstanta peluruhan ^{115}Cd ($\lambda_1 = 0,693/53,38 = 0,013$) lebih kecil dibanding dengan konstanta peluruhan radioisotop anaknya, yaitu $^{115\text{m}}\text{In}$ ($\lambda_2 = 0,693/4,49 = 0,154$). Jadi peluruhan induk radioisotop ^{115}Cd menjadi radioisotop anak $^{115\text{m}}\text{In}$ merupakan peluruhan radioaktif dengan kesetimbangan transien [11, 12], sehingga diperoleh hubungan antara radioaktivitas induk ^{115}Cd dan anak $^{115\text{m}}\text{In}$ saat terjadi kesetimbangan dalam persamaan 1. adalah;

$$A_2 = A_1 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) \dots\dots\dots 1$$

$$A_2 = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \right) A_1^0 e^{-\lambda_2 t} \dots\dots\dots 2$$

A_1^0 = Radioaktivitas isotop ^{115}Cd pada waktu $t = 0$, atau pada penelitian ini adalah saat kolom dielus menggunakan larutan HCl 0,05 M sebelum diluruhkan selama sekitar 24 jam, λ_1 = konstanta peluruhan isotop ^{115}Cd , λ_2 = konstanta peluruhan isotop $^{115\text{m}}\text{In}$.

Persamaan 2 ini yang digunakan untuk menghitung radioaktivitas $^{115\text{m}}\text{In}$ secara teoritis dan bila dibandingkan dengan radioaktivitas $^{115\text{m}}\text{In}$ yang diperoleh dari hasil pemisahan yang dicacah dengan spektrometer gamma pada waktu $t = 0$, maka diperoleh efisiensi pemisahan radioisotop $^{115\text{m}}\text{In}$.

PROSEDUR PERCOBAAN

Bahan dan peralatan

Serbuk Kadmium oksida (CdO) alam, diperoleh dari Merck digunakan sebagai bahan sasaran dan HNO₃ pekat sebagai pelarut bahan sasaran paskairadiasi di dalam reaktor. Ampul quartz pada level iradiasi digunakan untuk wadah bahan sasaran CdO yang dimasukkan di dalam tabung aluminium iradiasi dan selanjutnya di masukkan lagi ke dalam kapsul iradiasi buatan lokal yang dibuat dari bahan aluminium. Bahan kimia lainnya yaitu HCl pekat, Kalium Iodida (KI) didapatkan dari Merck dan resin penukar ion AG 1X8 (Cl⁻), 200 – 400 mesh, dari *Bio-Rad Laboratories* digunakan untuk proses pemurnian radioisotop In-115m.

Penetapan konsentrasi radioaktivitas dan kemurnian radionuklida dari radioisotop ¹¹⁵Cd dan ^{115m}In dilakukan menggunakan seperangkat spektrometer gamma yang dilengkapi analisator saluran ganda (*Multi Channel Analyzer = MCA*) model Canberra 1000 dan detektor sinar gamma Germanium kemurnian tinggi (HP-Ge) dari *Canberra Industries, Inc.*, dan perangkat lunak Genie 2000 VDM. Spektrometer gamma ini dikalibrasi menggunakan sumber radiasi gamma yang berupa titik yang terdiri dari ⁶⁰Co (1173,23 KeV dan 1332,51 KeV), ¹³³Ba (302,85 KeV dan 356,01 KeV) dan Cs-137 (661,64 KeV). Peralatan penunjang yang penting lainnya adalah mikro pipet 50 µL dan 5 µL dari Eppendorf, kertas saring Whatman 41. Bejana gelas 50 ml dan 100 ml dari Pyrex, Tabung gelas untuk kolom kromatografi panjang 10 cm dengan diameter dalam 0,8 cm.

Irradiasi sasaran CdO

Sebanyak 50 s/d 100 mg serbuk CdO alam dimasukkan ke dalam ampul quartz yang dilas sampai kedap udara, kemudian dimasukkan ke dalam tabung aluminium inner dan outer di las kedap udara dan dimasukkan ke reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy untuk diiradiasi.

Perlakuan paska irradiasi

Target CdO teriradiasi diambil dari ampul quartz, dimasukkan ke dalam bejana gelas 100 ml. Sebanyak 10 ml HNO₃ pekat berasap ditambahkan ke dalam bejana dan dipanaskan secara perlahan hingga sampai kering. Sebanyak 10 ml HCl pekat

ditambahkan dan dipanaskan sampai mendidih dan hingga kering. Langkah ini dilakukan 3 x ulangan. Selanjutnya sebanyak 15 ml aquades ditambahkan dan dipanaskan sampai mendidih dan hingga kering. Langkah ini dilakukan 3 x ulangan. Matriks Kadmium teriradiasi di dalam bejana gelas dilarutkan kembali ke dalam 20 ml aquades. Tambahkan 8,5 g kalium iodida (KI). Larutan ini dibiarkan sekitar 30 menit untuk memberi kesempatan terbentuknya senyawa kompleks CdI₄⁻². Simpan di dalam botol tertutup dan diberi label.

Penetapan konsentrasi radioaktivitas ¹¹⁵Cd dan ^{115m}In sebelum pemisahan.

Sebanyak 5 µl atau 20 µl atau 50 µl cuplikan larutan stok ¹¹⁵Cd – ^{115m}In (Larutan I) dicuplik dan diencerkan ke dalam labu takar 100 ml, dan ditambahkan aquades sampai tanda dengan aquades. Sebanyak 5 µl atau 20 µl atau 50 µl cuplikan yang telah diencerkan (3 kali ulangan) diambil dengan pipet mikro dan diteteskan di atas kertas saring whatman bulat berdiameter 2,5 cm, cuplikan dibiarkan kering di udara, kemudian dicacah dengan spektrometer gamma yang telah dikalibrasi. (Jam, tanggal, bulan, tahun mencacah, lama pencacahan, nilai cacahan tiap-tiap energi yang ada dicatat, dan spektrum gamma dicetak, data-data itu dicatat dalam formulir yang tersedia secara baik). Radioaktivitas ¹¹⁵Cd dan ^{115m}In dihitung masing masing didasarkan atas luas puncak (cacahan per menit) pada energi gamma 527 KeV (Cd-115) dan 336 KeV (^{115m}In) dengan mempertimbangkan intensitas, efisiensi pencacahan dan faktor pengenceran.

Proses Pemurnian ^{115m}In

Resin penukar anion AG 1 X 8 (Cl⁻) dengan ukuran pori 200 s/d 400 mesh secukupnya dimasukkan ke dalam kolom (dengan ketinggian resin dalam kolom ~ 2 cm). Resin penukar anion dicuci dengan etanol secukupnya (dilakukan 3 x ulangan). Resin penukar anion dicuci lagi dengan larutan HCl 0.05 M secukupnya, (dilakukan 3 x ulangan). Resin dicuci dengan aquades secukupnya, (dilakukan 3 x ulangan). Resin dibiarkan terendam dalam aquades. Sejumlah tertentu larutan stok Cd teriradiasi dalam bentuk CdI₄⁻² dimasukkan ke dalam kolom, dan dibiarkan menetes ke bawah dan ditampung sebagai limbah. Kolom

dicuci dengan menuangkan 20 ml HCl 0,05 M dan eluat tampung di dalam botol plastik 50 ml (botol 1 = botol eluat I). Kolom resin yang telah berisi ^{115}Cd diluruhkan selama 48 jam. Selanjutnya kolom dielusi dengan 10 ml HCl 0,05 M dan eluat ditampung di dalam botol plastik 30 ml (botol 2 = eluat II). Masing masing eluat dalam botol 1 dan 2 dicacah dengan mengambil cuplikan sebanyak volume tertentu (5 μl , atau 50 μl) dengan spektrometer Gamma (dilakukan 3 x ulangan pencacahan). Luas puncak pada energi yang ada dicetak. Jam, tanggal, tahun dan puncak energi pencacahan dicatat. Larutan di dalam botol 1 dan botol 2 masing masing sebagai spesi kadmium teriradiasi yang tidak terikat di dalam kolom.

Penetapan konsentrasi radioaktivitas $^{115\text{m}}\text{In}$ dalam larutan produk

Sebanyak 5 μl cuplikan produk $^{115\text{m}}\text{In}$ dalam botol D (3 kali ulangan) diteteskan di atas kertas saring whatman berdiameter 2,5 cm, cuplikan dibiarkan kering di udara dan selanjutnya dicacah dengan perangkat spektrometer gamma. Konsentrasi radioaktivitas $^{115\text{m}}\text{In}$ pada energi 336 KeV dihitung. Konsentrasi radioaktivitas $^{115\text{m}}\text{In}$ dalam cuplikan ini dibandingkan dengan radioaktivitas $^{115\text{m}}\text{In}$ yang dihitung dengan persamaan peluruhan isotop ^{115}Cd (persamaan 2).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Unsur kadmium di alam ada 8 buah isotop (lihat Tabel 1), dengan ditembak neutron akan terjadi reaksi inti (n,γ) dan (n,p). Reaksi inti (n,γ) kadmium alam kemungkinan dapat menghasilkan radioisotop pemancar gamma [Cd-107 (829 KeV), Cd-111 (264 KeV), Cd-115 (528 KeV), $^{115\text{m}}\text{Cd}$ (934 KeV), Cd-117 (564 KeV) dan $^{117\text{m}}\text{Cd}$ (273 KeV)], dan sebuah radioisotop pemancar alfa, yaitu ^{109}Cd (650 KeV). Sedangkan reaksi inti (n,p) kemungkinan menghasilkan radioisotop perak (Ag) dari isotop 106, 108, 110, 111, 112, 113, 114 dan 116 KeV yang masing-masing memancarkan sinar gamma dan mempunyai umur paro dan energi yang dapat dilihat di dalam Tabel 1. [8]

Namun dari hasil analisis spektrometer gamma dari cuplikan kadmium alam paska iradiasi yang telah dilarutkan hanya diperoleh energi gamma 231,5 KeV, 261 KeV, 336 KeV, 492 KeV dan 528 KeV, energi-energi gamma itu masing-masing menunjukkan radioisotop

^{115}Cd (231,5 KeV, 261 KeV, 492 KeV dan 528 KeV) dan $^{115\text{m}}\text{In}$ (336 KeV) yang merupakan peluruhan partikel beta (β) dari radioisotop induk ^{115}Cd (Tabel 2).

Sebelum digunakan untuk pencacahan cuplikan kadmium teriradiasi, spektrometer gamma dikalibrasi lebih dahulu. Kalibrasi dilakukan menggunakan sumber standar campuran pemancar sinar gamma untuk mendapatkan efisiensi pencacahan. Adapun hasil kalibrasi spektrometer gamma tersebut pada rak nomor 1 dapat dilihat dalam Tabel 3 dan Gambar 2. Dari kurva kalibrasi tersebut (Gambar 2) dapat ditetapkan efisiensi pencacahan untuk radioisotop ^{115}Cd (dengan energi gamma 528 KeV) dan $^{115\text{m}}\text{In}$ dengan energi gamma 336 KeV) menggunakan persamaan fungsi efisiensi (y) terhadap fungsi x (energi) yaitu $y = - 0,82 \ln (x) + 6,24$ dan hasil efisiensinya dapat dilihat dalam Tabel 4.

Perhitungan konsentrasi radioaktivitas ^{115}Cd dalam larutan stok yang berupa matriks kadmium alam paska iradiasi, efisiensi serapan ^{115}Cd ke dalam resin, konsentrasi radioaktivitas dan kemurnian radionuklida produk $^{115\text{m}}\text{In}$, untuk itu diambil contoh perhitungan pada percobaan 1.

Dalam percobaan pertama diperoleh larutan stok kadmium teriradiasi sebanyak 20 ml. Dicuplik larutan stok kadmium alam teriradiasi itu sebanyak 5 μL kemudian dicacah dengan spektrometer gamma pada rak nomor 1 selama 600 detik. Dari hasil pencacahan cuplikan kadmium teriradiasi di atas diperoleh spektrum gamma pada energi 366,6 KeV ($^{115\text{m}}\text{In}$), 492,6 KeV (^{115}Cd) dan 528,2 KeV (^{115}Cd) (Gambar 3), dan diperoleh cacahan sebesar 90721 cacahan pada energi 528,2 KeV (^{115}Cd) dan 263423 cacahan pada energi 336,3 KeV ($^{115\text{m}}\text{In}$) pada 23 Januari 2008, pukul 09:02, sehingga dapat dihitung konsentrasi radioaktivitas ^{115}Cd di dalam larutan stok dengan memperhitungkan faktor pengenceran, intensitas dan efisiensi pencacahan. Pada percobaan 1 ini diperoleh data data perhitungan konsentrasi radioaktivitas ^{115}Cd dan $^{115\text{m}}\text{In}$ seperti dalam Tabel 5 maka diperoleh konsentrasi radioaktivitas ^{115}Cd sebesar 267,90 $\mu\text{Ci/ml}$, atau radioaktivitas total = 20 x 267,90 μCi = 5,358 mCi.

Dalam proses pemisahan radionuklida $^{115\text{m}}\text{In}$ digunakan sebanyak 5 ml larutan stok ^{115}Cd dimasukkan ke dalam kolom, artinya radioaktivitas ^{115}Cd sebesar (5/20) x 5,358 mCi = 1,34 mCi saat

pengukuran. Pada saat pencucian kolom ternyata masih ada radionuklida ^{115}Cd yang tidak terikat oleh resin, yaitu sebesar $7,02 \times 20 \mu\text{Ci} = 140,4 \mu\text{Ci}$ pada saat pengukuran, atau efisiensi penyerapan radionuklida ^{115}Cd ke dalam resin sebesar $[(1340-140,4)/1340] \times 100\% = 89,5 \%$.

Pada pencacahan eluat larutan hasil pemisahan atau produk $^{115\text{m}}\text{In}$ menggunakan spektrometer gamma diperoleh spektrum gamma pada energi $366,6 \text{ KeV}$ ($^{115\text{m}}\text{In}$) (Gambar 3). Radionuklida $^{115\text{m}}\text{In}$ yang diperoleh dari pencacahan selama 900 detik ini sebesar $80,62 \mu\text{Ci/ml}$ (pukul: 9.02, 23 Januari 2008), dengan perhitungan seperti di atas, maka dari kegiatan penelitian ini (2 kali percobaan)diperoleh hasil seperti terdapat dalam Tabel 6.

KESIMPULAN

Hasil percobaan dari dua kali iradiasi kadmium oksida (CdO) alam menunjukkan bahwa diperoleh radioaktivitas ^{115}Cd masing masing sebesar $5,358 \text{ mCi}$ dan $15,27 \mu\text{Ci}$, efisiensi penyerapan ^{115}Cd ke dalam resin masing-masing sebesar $89,5\%$ dan $99,5\%$, radioaktivitas $^{115\text{m}}\text{In}$ telah dapat dipisahkan dari matriks kadmium teriradiasi dengan tingkat radioaktivitas masing-masing sebesar $806,2 \mu\text{Ci}$ dan $1,46 \mu\text{Ci}$, dan kemurnian radionuklida produk $^{115\text{m}}\text{In}$ 100% .

UCAPAN TERIMA KASIH

Atas terlaksananya tulisan/paper ini saya mengucapkan terima kasih kepada;

1. Dr. Ibon Suparman yang telah membantu dalam perhitungan Yield $^{115\text{m}}\text{In}$ menggunakan perangkat lunak Quiks Basic, semoga jasa baiknya mendapat pahala dari Tuhan Yang Maha Esa.
2. Sriyono, Mujinah dan Witarti yang telah membantu dalam pelaksanaan percobaan dari penyiapan sasaran yang akan diiradiasi, pelarutan sasaran paska iradiasi, pemisahan dan pemurnian radioisotop $^{115\text{m}}\text{In}$ dari matriks kadmium alam teriradiasi sampai dengan analisis radionuklida menggunakan spektrometer gamma. Semoga amal baik bapak dan ibu mendapat balasan yang sebanyak-banyaknya dari Allah SWT. Amien.

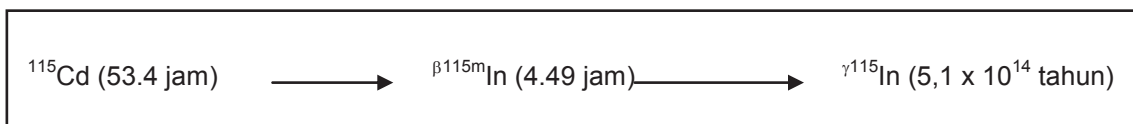
DAFTAR RUJUKAN

- [1] G.J. Ehrhardt, W. Volkert, W.F. Goeckeler, D. N. Kapsch, "A New $^{115}\text{Cd}/^{115\text{m}}\text{In}$ Radioisotope Generator", J. Radioanal. Nucl. Chem. Letters, 201 [20] (1995), 89 – 96.
- [2] A. Mushtaq, H.M.A. Karim, "Ion Exchange Behavior of Cadmium and Indium on Organic Anion and Cation Exchange Column", J. Radioanal. Chem., 60 (1993), 189 – 191.
- [3] D.K. Bhattacharyya, S. Basu, "Separation of Carrier-free $^{115\text{m}}\text{In}$ from ^{115}Cd and ^{132}I from ^{132}Te over the Zirconium Oxide Column", J. Radioanal. Chem. 52 [2] (1979), 267 – 273.
- [4] Thakur M.L., "Cell labeling: Achievements, challenges and prospects", J. Nucl. Med. 22:1011 - 1109, 1981.
- [5] J.L. Vucina, "Elution Efficiency of $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generators", Facta Universitatis. Series; Physics, Chemistry and Technology Vol. 2, No. 3, 2001, 125 – 130.
- [6] Diego Cecchin, MD., Pietro Zucchetta MD, Paolo Faggin CNMT, Enrico Bolla Healt Physicist, Franco Bui MD., " $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generator Shortage: Free, Web-Based Software", Journal Nuclear Medicine, Vol. 51, No. 8, 2010, 14N – 15N.
- [7] M.R.A. Pillai PhD., "Overcoming the $^{99\text{m}}\text{Tc}$ Shortage: Area Options Being Overlooked ?", Journal of Nuclear Medicine, Vol. 52, No. 2, 2011, 27N – 28N.
- [8] Sriyono, Sunarhadijoso Soenarjo, Kadarisman Wisnukaton, Herlina, Mujinah dan Witarti, "Pemisahan Radionuklida Indium-115m dari Matriks Kadmium Alam Pasca Iradiasi dengan Teknik Ekstraksi dan Kromatografi Kolom", Prosiding Seminar Penelitian dan Pengelolaan Perangkat Nuklir, Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan, Yogyakarta, 6 Oktober 2009, ISSN 1410-8178, Buku I, 219 – 225.
- [9] W. Seemann-Eggebert, G. Pfennig, H. Munzel and H. Kleve-Nebenics, Chart of The Nuclides, Kernforschungszentrum, Karlsruhe GmbH, 1981.
- [10] Sunarhadijoso Soenarjo, Kadarisman Wisnukaton, Sriyono, Abidin dan Herlina, "Radionuclidic separation of radioactive indium for medical and biological research applications from target matrix based on nuclear reaction

of $^{nat}\text{Cd}(n,\gamma)^{115m}\text{In}$ ", *Jurnal Ilmiah APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI (A Scientific Journal for The Applications of Isotopes and Radiation)*, Volume 5, Nomor 2, Desember 2009, 147 -165.

- [11]** Gerhart Friedlander, Joseph W. Kennedy, Edward S. Macias and Julian Malcolm, "Nuclear and Radiochemistry", Copyright c_1981 by John Wiley & Sons. Inc, 193 – 195.
- [12]** Wisnu Susetyo dan Fonali Lahagu, "RADIOKIMIA", Pusat Pendidikan dan Latihan, BATAN, 1985, 11 – 12.

LAMPIRAN



Gambar 1.Skema peluruhan radioisotope ^{115}Cd .

Tabel 1 Radioisotop hasil reaksi inti (n, γ) dan (n,p) dari bahan sasaran kadmium Oksida (CdO) alam [8]

ISOTOP TARGET Cd ALAM (KELIMPAHAN %)	HASIL REAKSI INTI					
	(n, γ)			(n,p)		
	ISOTOP	ENERGI γ	T1/2	ISOTOP	ENERGI	T1/2
^{106}Cd (1,25%)	^{107}Cd	829 KeV	6,5 jam	^{106}Ag	512 KeV	24 menit
^{108}Cd (0,89%)	^{109}Cd	650 KeV*	463 hari	^{108}Ag	633 KeV	2,41 menit
^{110}Cd (12,49%)	^{111}Cd	264 KeV	49 menit	^{110}Ag	658 KeV	24,6 detik
^{111}Cd (12,80%)	^{112}Cd	Stabil	Stabil	^{111}Ag	342 KeV	7,45 hari
^{112}Cd (24,10%)	^{113}Cd	Stabil	Stabil	^{112}Ag	617 KeV	3,12 jam
^{113}Cd (12,22%)	^{114}Cd	Stabil	Stabil	^{113}Ag	299 KeV	5,37 jam
^{114}Cd (28,70%)	^{115}Cd	528 KeV	53,38 jam	^{114}Ag	588 KeV	4,5 detik
	$^{115\text{m}}\text{Cd}$	934 KeV	44,6 jam			
^{116}Cd (7,49%)	^{117}Cd	564 KeV	3,31 jam	^{116}Ag	514 KeV	2,7 menit
	$^{117\text{m}}\text{Cd}$	273 KeV	2,42 jam			

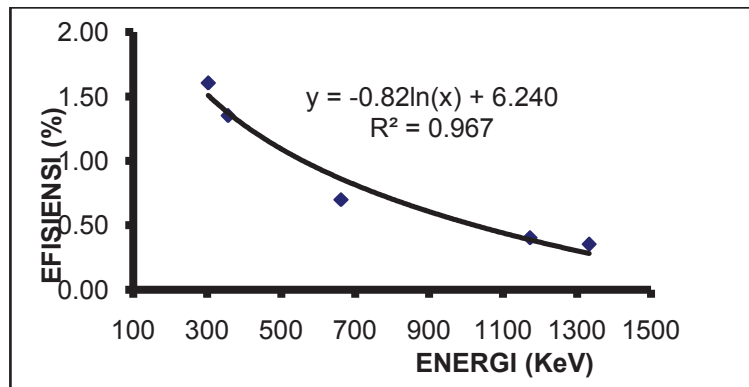
Keterangan: *Energi partikel alfa (α)

Tabel 2 Radioisotop hasil dari bahan sasaran kadmium oksida (CdO) alam yang dianalisis

Menggunakan spetrometer gamma.

ISOTOP	ENERGI γ (KeV)	INTENSITAS (%)	T _{1/2} (Jam)
Cd-115	231,5	0,74*	53,38*
Cd-115	261,0	1,94*	53,38*
In-115m	336,0	45,8*	4,49*
Cd-115	492	8,03*	53,38*
Cd-115	528	27,5*	53,38*

Ketereangan: *JEAN BLACHOT, Citation: Nuclear Data Sheets 104, 967 (2005),



Gambar 2 Kurva efisiensi vs Energi

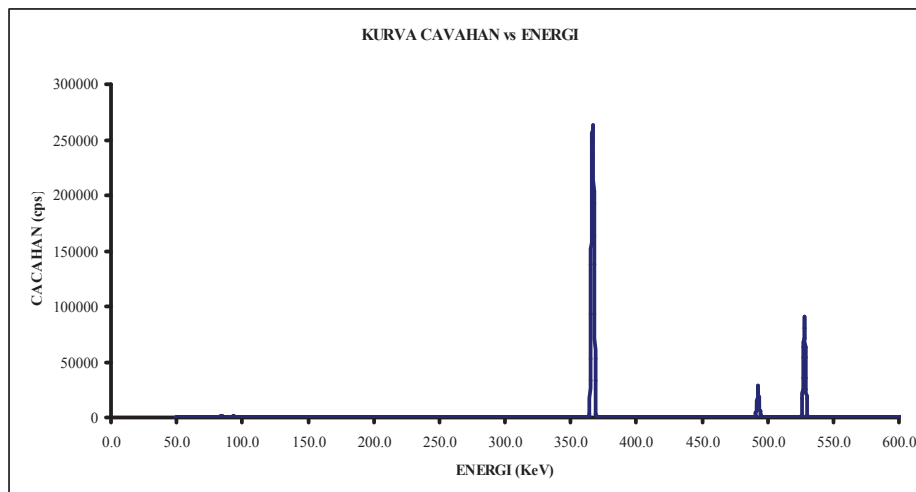
Tabel 3. Efisiensi pencacahan sumber standar campuran pemancar sinar gamma.

No	Isotop	Energi (KeV)	Efisiensi (%)*
1	Ba-133	302,85	0,604
2	Ba-133	356,01	1,352
3	Cs-137	661,64	0,700
4	Co-60	1173,20	0,404
5	Co-60	1332,50	0,354

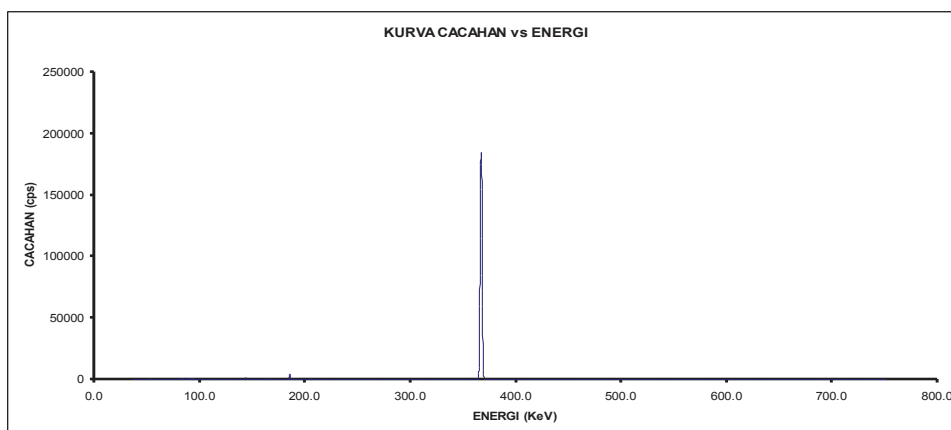
*Keterangan: *Efisiensi (%) diperoleh dari hasil kalibrasi perangkat spektrometer gamma di Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka dengan standar radioisotop campuran (Ba-133, Cs-137 dan Co-60) sumber pemancar sinar gamma.*

Tabel 4. Efisiensi pencacahan cuplikan ^{115}Cd dan $^{115\text{m}}\text{In}$

No	Isotop	Energi (KeV)	Efisiensi (%)
1	Cd-115	528,10	1,0484
2	In-115m	336,20	1,4224



Gambar 3. Spektrum Gamma Larutan Stok Kadmium Teriradiasi



Gambar 4 Spektrum Gamma Eluat Produk In-115m

Tabel 5 Hasil perhitungan konsentrasi radioaktivitas ^{115}Cd dan $^{115\text{m}}\text{In}$ pada waktu pengukuran

Pada percobaan 1.

NO	CUPL	ISOTOP	E_γ (KeV)	Ef. S.G. (%)	Inten (%)	T. Cch (detik)	Cps	A_0 $\mu\text{Ci/ml}$	T_0 Tgl	Pukul	T_1 Tgl	Pukul	$T_{1/2}$ (jam)	A_1 $\mu\text{Ci/ml}$	V ml	A_t mCi
1	Stok	^{115}Cd	528	1,048	0,2910	600	151,20	267,90	23-1-08	09:02	23-1-08	09:02	53,38	267,9	20	5,358
2	Limbh	^{115}Cd	528	1,048	0,2910	600	3,96	7,11	23-1-08	10:08	23-1-08	09:02	53,38	7,02	20	0,140
3	Eluat	$^{115\text{m}}\text{In}$	336	1,472	0,4670	900	307,62	3753,01	24-1-08	09:55	23-1-08	09:02	4,49	80,62	10	806,20

Keterangan: CUPL = Cuplikan; E_γ = Energi Gamma; Inten = Intensitas peluruhan energi gamma; T. Cch = Lama pencacahan; Cps = cacahan per detik; A_0 = Radioaktivitas saat T_0 ; T_0 = Waktu pencacahan; T_1 = Waktu kalibrasi (tertentu); $T_{1/2}$ = Waktu paruh; A_1 = Radioaktivitas waktu kalibrasi dan A_t = Radioaktivitas total

Tabel 6 Hasil percobaan pemisahan radionuklida $^{115\text{m}}\text{In}$ melalui kolom kromatografi.

PERCOBAAN	RADIOAKTIVITAS ^{115}Cd	RADIOAKTIVITAS $^{115\text{m}}\text{In}$ (μCi)	EFI. SERAP ^{115}Cd (%)	K.R. $^{115\text{m}}\text{In}$ (%)
1	5,358 mCi	806,2	89,5	100
2	15,27 μCi	1,46	99,5	100

Keterangan: EFI.SERAP = Efisiensi penyerapan resin terhadap ^{115}Cd
K.R. = Kemurnian Radionuklida $^{115\text{m}}\text{In}$