

SINTESIS DAN KARAKTERISASI PRASEODYMIUM-142 HIDROKSIAPATIT ($^{142}\text{Pr-HA}$)

Duyeh Setiawan¹, Daud Nurhasan²

¹ Pusat Sains Dan Teknologi Nuklir Terapan - Badan Tenaga Nuklir Nasional

E-mail : d_setiawan@batan.go.id

² Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI PRASEODYMIUM-142 HIDROKSIAPATIT ($^{142}\text{Pr-HA}$). Radionuklida golongan lantanida yang memiliki waktu paruh pendek dan pemancar energi beta pada rentang 0,4 – 2,2 MeV menjadi perhatian baru di bidang kedokteran nuklir. Radionuklida praseodymium-142 (^{142}Pr , $t_{1/2} = 19,2$ jam, $E_{\beta} = 2,16$ MeV) sangat cocok digunakan untuk aplikasi radioterapi. Penandaan ^{142}Pr terhadap hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) dapat dijadikan sebagai zat pembawa radionuklida apabila disuntikkan ke dalam tubuh. Penelitian ini bertujuan sebagai studi awal untuk memperoleh karakteristik praseodymium-142 hidroksiapatit ($^{142}\text{Pr-HA}$) sebagai sediaan radioterapi. Kondisi optimum dalam proses sintesis praseodymium-142 hidroksiapatit diperoleh melalui parameters yang dikontrol seperti pH dan perbandingan berat hidroksiapatit dengan menggunakan praseodymium non radioaktif. Kondisi optimum sintesis praseodymium- hidroksiapatit diperoleh pada pH 5 dan perbandingan berat praseodymium : hidroksiapatit yaitu 1 : 16, menghasilkan persentase penandaan hidroksiapatit dengan $^{142}\text{PrCl}_3$ sebesar 99,50 % dan kemurnian radiokimia $^{142}\text{Pr-HA}$ sebesar 95,20 %.

Kata Kunci : Sintesis, hidroksiapatit, praseodymium-142, radioterapi

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF PRASEODYMIUM-142 HYDROXYAPATITE ($^{142}\text{Pr-HA}$). The use of radioisotope of lanthanide group with range of beta energy 0.4 – 2.2 MeV has been renewed interest in nuclear medicine. Praseodymium-142 radioisotope (^{142}Pr , $t_{1/2} = 19.2$ hours, $E_{\beta} = 2.16$ MeV) is suitable for applications radiotherapy. Labelled of the hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) can be used as carrier of radionuclide after injection in the body injection. This research aim as a preliminary studies to make praseodymium-142 hydroxyapatite ($^{142}\text{Pr-HA}$) as a radiotherapy agent. The optimum condition of praseodymium-142 hydroxyapatite synthesis by controlling several parameters such as the pH and the weight of hydroxyapatite was obtained from process by used the nonradioactive praseodymium. The optimum condition of hydroxyapatite by praseodymium are at pH 5 and weight ratio praseodymium : hydroxyapatite is 1 : 16. The percentase of labeling hydroxyapatite with $^{142}\text{PrCl}_3$ was 99.50 % and the radiochemical purity of $^{142}\text{Pr-HA}$ was 95.20%.

Keywords : Synthesis, hydroxyapatite, praseodymium-142, radiotherapy

PENDAHULUAN

Saat ini aplikasi teknik nuklir dalam bidang kedokteran tidaklah hanya untuk diagnosis tetapi juga untuk terapi. Teknik nuklir dengan menggunakan radioisotop dapat dimodifikasi menjadi beberapa jenis sediaan senyawa bertanda untuk aplikasi radioterapi *rhematoid arthritis* dengan cara sinovektomi radiasi [1]. Cara sinovektomi radiasi melibatkan prosedur injeksi intra –artikular pancaran radiasi bersama-sama sediaan senyawa bertanda radioaktif dalam bentuk partikel/koloid untuk mengendalikan peradangan sendi tulang [2].

Kelemahan sinovektomi adalah kebocoran radioaktivitas dari persendian. Oleh karena itu karakteristik dari senyawa bertanda radioaktif perlu mendapat perhatian yang meliputi, interaksi unsur radioaktif dengan partikel pembawa, kemudahan dalam produksi, kemurnian radionuklida, dan kelayakan produksi radionuklida [3,4]. Radionuklida dengan pancaran sinar beta dan gamma sering dipilih untuk penggunaan terapi radionuklida klinis (*clinical radionuclide therapy*) khususnya untuk cara radiosinovektomi. Batas nilai energi beta yang diharapkan dalam penggunaan terapi radionuklida adalah pada rentang 0,4 – 2,3 MeV. Selama ini

radionuklida yang banyak digunakan dalam terapi radionuklida adalah ^{169}Er (E_{β} 0,34 MeV), ^{153}Sm (E_{β} 0,81 MeV), ^{186}Re (E_{β} 1,07 MeV) dan ^{90}Y (E_{β} 2.288 MeV). Radionuklida-radionuklida tersebut telah banyak digunakan untuk terapi fase awal sampai fase lanjut [5]. Selain radionuklida tersebut, radionuklida praseodymium-142 (^{142}Pr) merupakan katagori memiliki sifat nuklir yang ideal seperti radionuklida diatas tersebut dan sedang dikembangkan para peneliti saat ini untuk digunakan dalam terapi radionuklida. Radionuklida ^{142}Pr memiliki waktu paruh ($t_{1/2} = 19,12$ jam) dan energi pancaran beta ($E_{\beta} = 2,16$ MeV) serta energi gamma ($E_{\gamma} = 1575$ keV) yang memungkinkan untuk evaluasi kebocoran radiasi dalam kasus radiosinovektomi dengan menggunakan kamera pencitraan gamma. Selain itu, radionuklida ^{142}Pr tersebut memiliki kelayakan untuk diproduksi pada reaktor nuklir dengan fluks 10^{13} n.cm⁻².s⁻¹ sehingga memungkinkan untuk diproduksi di Indonesia. Sifat nuklir dari radionuklida ^{142}Pr memiliki kesamaan dengan radionuklida ^{90}Y yang biasa digunakan untuk terapi yang bersifat kuratif. Dalam terapi kuratif, sel kanker dimatikan langsung melalui radiasi dari radionuklida sehingga dibutuhkan E_{β} yang relatif besar dan $t_{1/2}$ relatif pendek [6]. Akan tetapi ketersediaan ^{90}Y dengan aktivitas spesifik yang tinggi sulit diperoleh melalui aktivasi neutron, karena ^{89}Y sebagai target mempunyai penampang lintang rendah. Meskipun ^{90}Y dapat diperoleh dari sistem generator $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ dengan aktivitas spesifik tinggi, namun pemisahan ^{90}Y dari ^{90}Sr melibatkan pekerjaan yang tidak mungkin dilakukan di rumah sakit [7,8]. Sedangkan radionuklida ^{142}Pr mudah diperoleh dengan cara yang sederhana.

Apabila radionuklida-radionuklida yang akan digunakan pada bagian dalam tubuh maka diperlukan zat pembawa (*carrier*) yang sesuai. Zat pembawa yang akan digunakan harus memiliki sifat yang mendukung dalam proses distribusi radionuklida tersebut pada lokasi yang menjadi target. Selain itu, keamanan dari zat pembawa yang digunakan untuk radioterapi menjadi prioritas utama. Dengan demikian, zat pembawa yang akan digunakan perlu memiliki sifat yang mendukung dalam proses distribusi pada sendi tulang (cara radiosinovektomi). Zat pembawa yang berasal dari bahan kalsium posfor (CaP) banyak digunakan untuk terapi pada bagian dalam tubuh karena dianggap aman dan tidak menimbulkan reaksi yang memberikan efek samping. Di antaranya adalah senyawa hidroksiapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) yang memiliki komposisi utama kalsium dan posfat (CaP). Material ini memiliki sifat stabil dan biasa digunakan di bagian dalam tubuh [9,10].

Hidroksiapatit ini dianggap cocok sebagai pembawa radionuklida praseodymium yang akan diaplikasikan untuk radioterapi cara sinovektomi [11].

Oleh karena itu, berdasarkan uraian diatas tersebut perlu adanya penelitian awal untuk memperoleh kondisi optimum sifat interaksi antara hidroksiapatit dengan praseodymium non radioaktif sebagai simulasi sebelum proses penandaan praseodymium radioaktif. Apabila kondisi optimum telah diketahui maka dilakukan penandaan hidroksiapatit menggunakan praseodymium-142 yang bersifat radioaktif disertai karakterisasi melalui penentuan pH, perbandingan berat (hidroksiapatit dan praseodymium), kemurnian radiokimia dan prosentase penandaan.

TATA KERJA

Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini yaitu praseodimium oksida, asam klorida, asam fosfat, amoniak, asam sitrat, natrium sitrat, natrium bifosfat, dan kalsium hidroksida yang semuanya buatan *E. Merck* tingkat analisis. Alat gelas yang digunakan yaitu gelas piala, labu erlenmeyer, labu ukur, gelas ukur, tabung sentrifugasi, pipet volum, pipet tetes, corong saring, corong Buchner, termometer, kaca arloji, dan alat-alat gelas kimia yang biasa digunakan di laboratorium. Instrumentasi yang digunakan yaitu neraca analitis, pH meter, pemanas elektrik, *magnetic stirrer*, *Fourier-Transform Infra-Red* (FT-IR, ITB) *Spectroscopy*, *X-Ray Diffraction* (XRD, PTNBR), dan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive Analysis X-Ray* (SEM-EDAX, PPGL Kelautan), *Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectroscopy* (ICP-AES, UNESA), *Detector High Purity Germanium-Multi Channel Analyzer* (HPGe-MCA) dan *Single Channel Analyzer* (SCA, PTNBR).

Penentuan Kondisi Optimum Pembuatan Praseodymium-Hidroksiapatit Non Radioaktif (Pr-HA)

Kedalam 5 buah vial masing-masing dimasukkan sebanyak 10 mL larutan praseodymium oksida, Pr_2O_3 (≈ 10 mg Pr). Kemudian ditambahkan hidroksiapatit sintesis (11) sebanyak 160 mg yang telah disuspensikan dalam 160 mL air. Selanjutnya ditambahkan tetes demi tetes larutan NH_3 sampai diperoleh variasi pH 3, 4, 5, 6 dan 7. Kemudian ditambah masing-masing 10 mL buffer fosfat 0,2 M (pH 3, 4, 5, 6 dan 7) kedalam larutan tersebut sesuai pH-nya sambil dikocok menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Prosedur diatas diulangi untuk variasi berat hidroksiapatit mulai 80, 120, 160, 200 dan 240 mg. Kemudian masing-masing ditambahkan larutan NH_3 sampai diperoleh pH 5 dan 10 mL buffer fosfat 0,2 M pH 5. Selanjutnya masing-masing campuran (variasi pH dan berat

hidroksiapatit) disentrifugasi pada 2000 rpm selama 15 menit pada suhu kamar ($\sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$). Endapan diambil, dikeringkan, dan ditimbang. Hasilnya dikarakterisasi menggunakan instrumen *Fourier Transform – Infra Red (FT-IR) Spectroscopy*, dan *X-Ray Diffraction (XRD)*. Penentuan kandungan praseodymium pada hidroksiapatit digunakan instrumen *Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES)*.

Penandaan Hidroksiapatit Dengan Praseodymium Radioaktif ($^{142}\text{Pr-HA}$)

Penandaan hidroksiapatit dengan praseodymium-142 dilakukan berdasarkan kondisi optimum dari praseodymium-hidroksiapatit non-radioaktif. Percobaan ini dilakukan dalam seperempat bagian prosedur. Sebanyak $\pm 600\text{ }\mu\text{Ci}/0,5\text{ mL}$ larutan $^{142}\text{PrCl}_3$ (mengandung $2,5\text{ mg }^{141}\text{Pr}$) ditambahkan hidroksiapatit 40 mg yang telah disuspensikan dengan 40 mL aquabidest . Kemudian campuran tersebut dikocok menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu kamar ($\sim 24\text{ }^{\circ}\text{C}$) selama 1 jam lalu ditambahkan NH_3 sampai pH 5 dan 5 mL larutan buffer fosfat $0,2\text{ M}$ pH 5. Selanjutnya disentrifugasi pada 2000 rpm selama 15 menit. Endapan $^{142}\text{Pr-HA}$ dan filtrat dipisahkan, kemudian diukur keradioaktifannya menggunakan *single channel analyzer* (percobaan dilakukan *duplo*). Kemurnian radiokimia $^{142}\text{Pr-HA}$ ditentukan dengan metode kromatografi kertas. Kedalam bejana kromatografi dimasukkan larutan eluen natrium klorida $0,9\%$ kemudian dibiarkan selama 30 menit. Selanjutnya disiapkan kertas Whatmann 3 MM dengan ukuran $2 \times 17\text{ cm}$ yang diberi skala setiap cm mulai -1 sampai dengan 17. Cuplikan (filtrat hasil sentrifugasi) ditotolkan di kertas pada skala nol lalu dikeringkan dan dimasukkan ke dalam bejana kromatografi sampai ujung kertas tercelup sehingga terelusi oleh eluen sampai skala 15. Selanjutnya kertas dikeluarkan dari bejana lalu dikeringkan di oven dan kemudian kertas dipotong-potong setiap 1 cm lalu diukur keradioaktifannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Kondisi pH Optimum Pada Pembuatan Praseodymium Hidroksiapatit Non Radioaktif

Variasi pH ini dilakukan untuk mengetahui kondisi pH optimum pembuatan praseodymium dengan hidroksiapatit. Kadar praseodymium pada hidroksiapatit ditentukan menggunakan instrumen ICP-AES. Hasil analisis seperti dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Data analisis kandungan Praseodymium pada hidroksiapatit.

No	pH	Endapan Pr-HA (mg)	Pr (%)	Pr (mg)
1.	3	114,01	0,76 %	0,86
2.	4	121,10	0,87 %	1,06
3.	5	126,11	1,05 %	1,32
4.	6	129,40	0,99 %	1,28
5.	7	124,13	0,97 %	1,20

Pada pH yang rendah peluang protonisasi gugus fungsi cukup besar, sehingga peluang terjadinya pengikatan logam oleh adsorben relatif kecil. Sebaliknya pada pH tinggi, jumlah proton relatif kecil yang menyebabkan peluang terikatnya logam menjadi lebih besar. Namun demikian, pH tidak boleh terlalu tinggi karena logam praseodymium akan mengalami pengendapan sebagai hidroksidanya. Berdasarkan Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa pH optimum pada pembuatan praseodymium-hidroksiapatit berada pada pH 5. Hasil ini akan digunakan selanjutnya pada penandaan hidroksiapatit dengan praseodymium radioaktif.

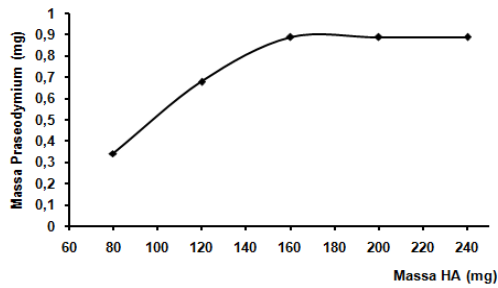
Penentuan Perbandingan Berat Hidroksiapatit Dan Praseodymium Non Radioaktif

Hasil analisis kualitatif dan kuantitatif praseodymium menggunakan ICP-AES (*Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectroscopy*) seperti dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Analisis praseodymium dalam Pr-HA.

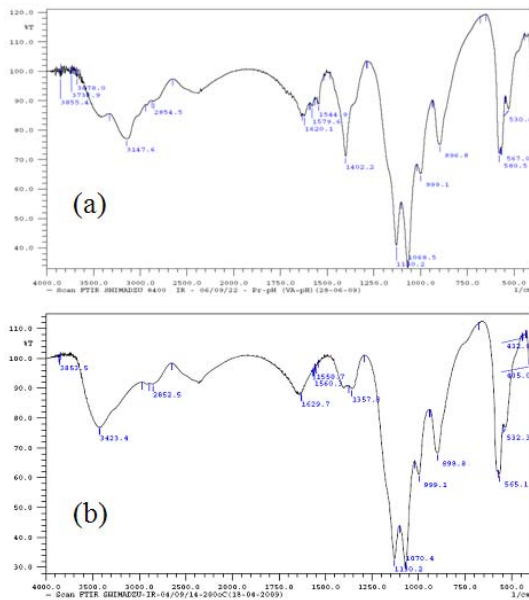
No	Variasi (Pr:HA) (mg)	Pr-HA (mg)	Pr (%)	Pr (mg)
1.	10 : 80	25,01	1,36	0,34
2.	10 : 120	77,10	0,87	0,67
3.	10 : 160	126,11	0,70	0,88
4.	10 : 200	149,40	0,59	0,88
5.	10 : 240	180,13	0,49	0,88

Tabel 2 menunjukkan kondisi optimum untuk pembuatan praseodymium hidroksiapatit berdasarkan perbandingan berat (Pr : HA) = 10:160. Jumlah praseodymium yang teradsorpsi oleh hidroksiapatit sebanyak $0,88\text{ mg}$. Sedangkan pada variasi berat hidroksiapatit berikutnya (200 mg dan 249 mg), penambahan hidroksiapatit tidak menambah massa praseodymium yang teradsorpsi. Hal ini menunjukkan bahwa praseodymium sudah sepenuhnya teradsorpsi oleh hidroksiapatit (sudah mencapai titik jenuh) atau terjadi proses desorpsi (kesetimbangan antara adsorbat dan adsorben) seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan massa praseodymium pada hidroksiapatit variasi berat.

Karakterisasi praseodymium-hidroksiapatit menggunakan *Fourier Transform – Infra Red* (FT-IR) *Spectroscopy* memberikan petunjuk bahwa interaksi yang terjadi antara hidroksiapatit dengan praseodymium adalah interaksi / ikatan secara fisika. Dalam hal ini tidak terjadi ikatan kimia seperti ikatan kovalen koordinasi yang biasa terjadi pada pembentukan senyawa kompleks. Spektum hasil analisis seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

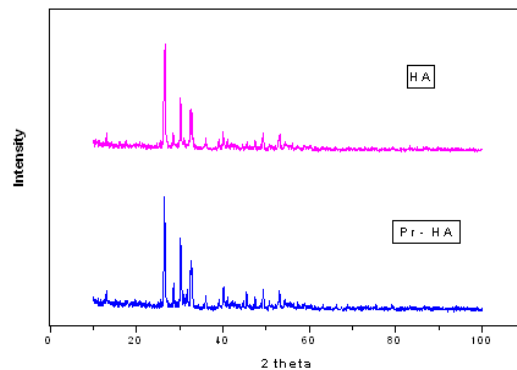


Gambar 2. Perbandingan spektrum *Infra Red*. (a) praseodymium hidroksiapatit, (b) hidroksiapatit

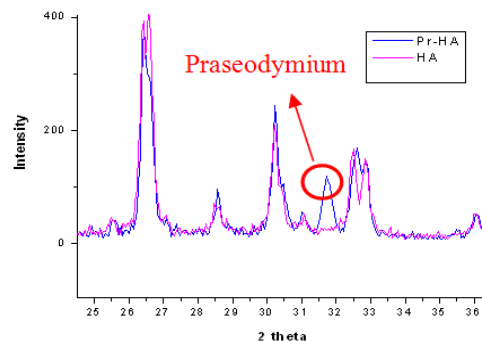
Gambar 2 menunjukkan tidak ada perubahan puncak-puncak pada pola spektrum hidroksiapatit yang telah diinteraksikan dengan praseodymium. Puncak pada daerah panjang gelombang (ν) 3250 – 3500 cm^{-1} dan 1629 cm^{-1} yang diduga berasal dari regang O–H pada gugus hidroksi masih tetap muncul

dan tidak ada perubahan. Puncak pada ν 532 cm^{-1} , 565 cm^{-1} , 999 cm^{-1} , 1070 cm^{-1} , dan 1130 cm^{-1} dan diduga berasal dari regang P–O pada ion PO_4^{3-} masih tetap muncul dan tidak ada perubahan. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak ada interaksi secara kimia yang menyebabkan perubahan gugus fungsi pada hidroksiapatit atau interaksi yang terjadi adalah secara fisika. Hidroksiapatit memiliki kemampuan sebagai *adsorber* yang dapat mengadsorpsi unsur praseodymium.

Karakterisasi praseodymium hidroksiapatit menggunakan *X-Ray Diffraction* (XRD), menunjukkan bahwa difraktogram hidroksiapatit dan praseodymium-hidroksiapatit teridentifikasi pola yang sama seperti pada Gambar 3. Namun apabila diamati lebih teliti, pada daerah sudut difraksi 31,5^o muncul puncak yang diduga adalah praseodymium (Gambar 4). Hal ini pun sesuai dengan data yang didapat dari software PDF, bahwa puncak praseodymium muncul pada daerah $2\theta = 31^\circ$. Puncak yang muncul memiliki intensitas yang kecil, yang menunjukkan bahwa praseodymium yang muncul memiliki jumlah yang sedikit (*trace element*).



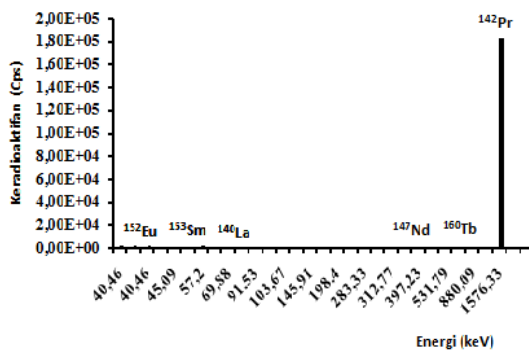
Gambar 3. Difraktogram hidroksiapatit (HA, merah) dan praseodymium Hidroksiapatit (Pr-HA, biru).



Gambar 4. Perbandingan difraktogram hidroksiapatit (HA, merah) dan (Pr-HA, biru) pada rentang sudut difraksi $2\theta = 25^\circ - 36^\circ$.

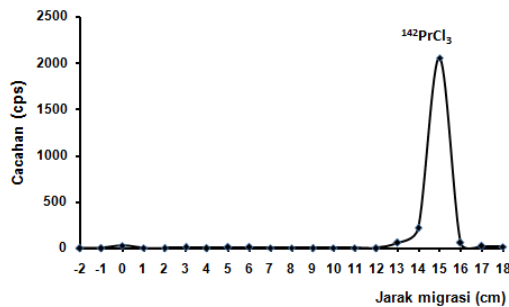
Uji Kualitas Praseodymium-142 (¹⁴²Pr) dan Senyawa Bertanda ¹⁴²Pr-hidroksiapatit

Praseodymium-142 selain memancarkan sinar beta juga memancarkan sinar gamma yang dapat menentukan kemurnian radionuklidanya menggunakan instrumen *Multi Channel Analyzer* (MCA). Besarnya energi gamma yang dipancarkan radioisotop ¹⁴²Pr adalah 1575 KeV (6). Sehingga dapat diidentifikasi bahwa puncak yang muncul pada 1576,33 keV adalah praseodymium-142 seperti Gambar 5. Dari data hasil pengamatan MCA didapatkan bahwa kemurnian radionuklida praseodymium-142 adalah 99,94 % dengan pengotor di antaranya ¹⁵³Sm, ¹⁴⁷Nd, ¹⁶⁰Tb, ¹⁵²Eu, dan ¹⁴⁰La (semuanya merupakan radioisotop dari alam) yang jumlah keradioaktifannya tidak lebih dari 0,06 %.



Gambar 5. Spektrum sinar gamma radionuklida praseodymium-142.

Penentuan kemurnian radiokimia sediaan praseodymium-142 dengan cara metode kromatografi kertas menggunakan eluen larutan *saline* (NaCl 0,9 %) sebagai fase gerak dan fase diam kertas Whatman 3MM (12). Percobaan dilakukan 3 kali (*triplo*) dan diperoleh hasil rata-rata kemurnian radiokimia sebesar 95,86 ± 0,14 %. Kromatogram menunjukkan migrasi radioisotop ¹⁴²PrCl₃ memberikan harga Rf = 0,76 seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kromatogram ¹⁴²PrCl₃ dalam NaCl 0,9 %.

Penandaan Hidroksiapatit oleh Praseodymium-142 dan Penentuan Presentase Penandaannya

Untuk mengetahui presentase penandaan pada ¹⁴²Pr-HA, ditentukan dengan cara perhitungan melalui persamaan sbb :

$$\% \text{ penandaan} = [CE] / [CE + F] \times 100 \%$$

CE = Cacahan Endapan

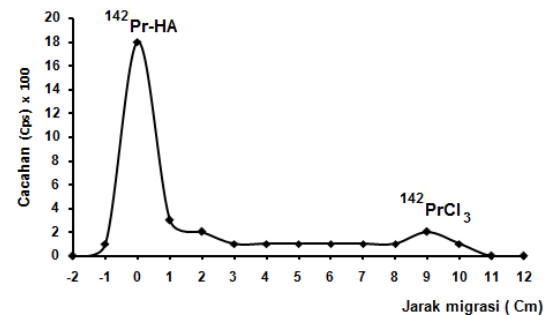
F = Filtrat

Hasil pencacahan endapan dan filtrat ¹⁴²Pr-HA menggunakan *Geiger Counter* dirangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pencacahan endapan dan filtrat ¹⁴²Pr-HA.

Percobaan	Cacahan (cps)	
	Endapan	Filtrat
1	8194,78	41,15
2	7834,66	39,25

Berdasarkan hasil pengukuran dan perhitungan dari dua kali percobaan didapatkan hasil presentase penandaan hidroksiapatit oleh praseodymium-142 rata-rata sebesar 99,50 %. Hal ini menunjukkan bahwa hidroksiapatit memiliki kemampuan sebagai *adsorber* yang dapat mengadsorpsi unsur praseodymium. Kemurnian radiokimia dari ¹⁴²Pr-HA rata-rata sebesar 95,20 % hasil diidentifikasi menggunakan metode kromatografi kertas. Kromatogram ¹⁴²Pr-HA seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Kromatogram ¹⁴²Pr-HA dengan eluen NaCl 0,9 %.

Gambar 7 menunjukkan bahwa ¹⁴²Pr-HA berada pada daerah migrasi 0 cm (Rf = 0) sedangkan ¹⁴²PrCl₃ pada daerah migrasi 8 cm (Rf= 0,7), sama dengan Rf ¹⁴²PrCl₃ (Gambar 6) yaitu radionuklida bebas yang tidak berikatan dengan hidroksiapatit (5).

KESIMPULAN

Senyawa bertanda ^{142}Pr -HA dapat dibuat melalui penandaan hidroksiapatit (HA) dengan radioisotop $^{142}\text{PrCl}_3$ hasil iradiasi Pr_2O_3 alam. Kondisi optimum pembuatan senyawa bertanda ^{142}Pr -hidroksiapatit diperoleh pH 5 dan perbandingan berat Pr : HA (1 : 16). Prosentase penandaan hidroksiapatit dengan praseodymium-142 rata-rata sebesar 99,50 % dengan kemurnian radiokimia ^{142}Pr -HA rata-rata sebesar 95,20 %.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada staf bidang radioisotop P2RR-Serpong dan rekan-rekan kelompok teknologi proses radioisotop PTNBR-BATAN Bandung yang telah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Chakraborty S, Das T, Benerjee S, Subramanian S., Sarma HD, Venkatesh M., ^{175}Yb -labeled Hydroxyapatite : A Potential Agent for Use in Radiation Synovectomy of Small Joint, Nuclear Medicine and Biology 2006;33(4):585-591.
- Kothari K, Suresh S, Sarma HD, Meera V, Pillai M.R.A., ^{188}Re -hydroxyapatite Particles for Radiation Synovectomy, J. Appl. Radiat. Isot. 2003;58: 463-468.
- Davis MA, Chinol M., Radiopharmaceuticals for Radiation Synovectomy : Evaluation of Two Yttrium-90 Particulate Agents, J.Nucl.Med. 1989;30: 1047-1055.
- Fischer M., New Aspects of Radionuclide Therapy of Bone and Joint Diseases in: Therapeutic Application of Radiopharmaceuticals, IAEA-TECDOC-1228. Vienna-IAEA 2001;18-22.
- Chakraborty S, Das T, Banerjee S, Sarma HD, Vankatesh M., Preparation and Preliminary Studies on ^{177}Lu -Labelled Hydroxyapatite Particles for Possible Use in the Therapy of Liver Cancer, J Nucl Med Biol 2008;35:589-97.
- Vivalnath K, Das MK, Meera Veakatesh, and Ramamoorthy N., Production Logistics and Prospects Of ^{142}Pr and ^{143}Pr for Radionuclide Therapy (RNT), Proceeding of 5th International Conference on Isotopes. Brussel 2005;103-108.
- Venkatesh M., Pandey U., Dhami P.S., Kannan R., Achuthan P.V., Chitnis R.R., Gopalakrishnan V., Bonerjee S., Samuel G., Pillai M.R.A., Ramanujam A. Complexation Studies with ^{90}Y From a Novel $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ generator. Radiochim. Acta 89: 413-417, 2001.
- Hsieh B.T., Ting G., Hsieh H.T., Shen L.H., Preparation of Carrier-Free Yttrium-90 for Medical Applications by Solven Extraction Chromatography, Appl. Radiat.Isot. 44: 147-1480, 1993.
- Das MK, Nair KVV, Mukherjee A, Sarma HD, Pal S, Venkatesh M, and Ramamoorthy N., Preparation and Evaluation of [$^{142}\text{Pr}/^{143}\text{Pr}$]-Hydroxyapatite (HA) for Radionuclide Therapy. Proceeding of 5th International Conference on Isotopes. Brussel 2005;521-526.
- Santos MH, Marise, Luciana, Herman SM, and Wander LV., Synthesis Control and Characterization of Hydroxyapatite Prepared by Wet Precipitation Process, Material Research 2004;7(4): 625-630.
- Setiawan D, Basit M., Sintesis dan Karakterisasi Hidroksiapatit Untuk Aplikasi Sinovetomi Radiasi, Prosiding Seminar Nasional SDM Teknologi, Yogyakarta 2011; 251-256.
- Setiawan D, Basit M., Pembuatan Radionuklida Praseodymium-142 Untuk Aplikasi Terapi, Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Nuklir PTNBR-BATAN Bandung 22 Juni 2011;260-267.

TANYA JAWAB

Darlina

- Apakah radiofarmaka yang digunakan/diteliti sudah digunakan di tempat lain.
- Apakah kelebihan dari radiofarmaka yang diteliti.

Duyeh Setiawan

- Radiofarmaka dengan hidrosiapatit untuk radiosinovetomi sudah banyak digunakan ditempat lain seperti : ^{90}Y -hidroksiapatit ($T_{1/2} = 2,67$ hari, $E_{\beta} = 2,2$ MeV), tetapi mempunyai kelemahan waktu paruh pendek yang akan menimbulkan kesulitan analisis, jika terjadi kebocoran radiasi selalu itu ^{90}Y sulit pengadaannya.
- Keuntungan ^{142}Pr mempunyai energy gama ($E_{\gamma} = 155$ keV) untuk evaluasi kebocoran radiasi. Radionuklida ^{142}Pr memiliki kelayakan untuk diproduksi pada reaktor dengan fluks neutron $10^{13} \text{ n.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, sehingga memungkinkan diproduksi di Indonesia ($\theta = 100\%$, $\sigma = 3,9$ barn).