

SINTESIS DAN KARAKTERISASI PENYERAP MOLIBDENUM BERKAPASITAS TINGGI UNTUK GENERATOR $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$

Rohadi Awaludin, Sriyono dan Herlina
Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka (PRR) – BATAN
Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang, Banten

ABSTRAK

SINTESIS DAN KARAKTERISASI PENYERAP MOLIBDENUM BERKAPASITAS TINGGI UNTUK GENERATOR $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Pada pembuatan generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ menggunakan hasil iradiasi neutron terhadap molibdenum alam diperlukan penyerap dengan kapasitas serap tinggi. Penyerap berbasis zirkonium telah berhasil disintesis dengan mereaksikan zirkonium klorida, isopropanol dan air di dalam pelarut tetrahidrofur. Hasil uji serap menunjukkan bahwa penyerap tersebut memiliki kapasitas serap yang tinggi sekitar 180 mg Mo/g. Penyerap dengan kapasitas serap setinggi ini dapat digunakan untuk pembuatan generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ menggunakan ^{99}Mo hasil iradiasi neutron terhadap Mo alam. Namun, butiran penyerap tersebut mudah pecah pada saat proses penyerapan. Hasil pemeriksaan menggunakan mikroskop elektron SEM menunjukkan bahwa pada permukaan butiran penyerap terlihat banyak retakan. Kondisi permukaan ini berbeda dengan penyerap *polyzirconium compound* (PZC) yang menunjukkan sedikit retakan di permukaannya. Hasil *Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (EDS) menunjukkan bahwa penyerap hasil sintesis tersusun dari unsur zirkonium, oksigen dan klor, mendekati komposisi unsur dari PZC.

Kata kunci: penyerap, molibdenum, generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$.

ABSTRACT

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF HIGH CAPACITY MOLYBDENUM ADSORBENT FOR $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ GENERATOR. Adsorbent with high adsorption capacity of ^{99}Mo is required for preparation of $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ radioisotope generator using irradiated natural molybdenum. A zirconium-based adsorbent has been synthesized by reacting zirconium chloride, isopropanol and water in tetrahydrofuran. Adsorption test results showed that the adsorbent had a high adsorption capacity of about 180 mg Mo/g. The high adsorption capacity make the adsorbent can be used for preparation of $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator using irradiated natural Mo. However, the adsorbent was easily broken during the adsorption process. Scanning electron microscope (SEM) image showed that there were many fractures in the surface of the adsorbent. The surface was different with polyzirconium compound (PZC) which showed less fractures. Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) results showed that the adsorbent was composed of zirconium, oxygen and chlorine, almost the same as the elemental composition of PZC.

Key words: Adsorbent, molybdenum, $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator

PENDAHULUAN

Radioisotop teknesium-99m (^{99m}Tc) merupakan radioisotop utama di bidang kedokteran nuklir. Lebih dari 80% diagnosis di kedokteran nuklir menggunakan radioisotop ini. Teknesium-99m banyak dimanfaatkan karena merupakan pemancar gamma murni dengan energi relatif rendah yaitu 141 keV, tidak memancarkan radiasi partikel bermuatan, memiliki waktu paruh yang pendek yaitu 6 jam, dapat diperoleh dalam bentuk bebas pengemban serta dapat berikatan dengan banyak senyawa. Radioisotop ini terus dikembangkan pemanfaatannya untuk berbagai tujuan[1-4].

Radioisotop ^{99m}Tc dapat diperoleh dari radioisotop induk molibdenium-99 yang memiliki waktu paruh 66 jam. Radioisotop induk ^{99}Mo dapat dihasilkan melalui reaksi aktivasi neutron dengan sasaran isotop ^{98}Mo dan dari hasil fisi dari *fissile isotope* seperti uranium-235. Radioisotop ^{99}Mo dapat dihasilkan dengan cara relatif mudah menggunakan aktivasi neutron. Namun, radioaktivitas jenis ^{99}Mo dari hasil aktivasi neutron memiliki radioaktivitas jenis relatif rendah, kurang dari 3 Ci ^{99}Mo per gram Mo pada saat akhir iradiasi, bergantung pada fluks neutron dan lama iradiasi. Sedang dari hasil fisi, dapat dihasilkan ^{99}Mo dengan radioaktivitas jenis lebih dari 10^4 Ci per gram Mo. Oleh sebab itu, meskipun Mo hasil fisi memerlukan peralatan dan fasilitas yang rumit serta menghasilkan limbah radioaktif yang perlu dikelola dengan baik, selama ini produksi ^{99m}Tc dipenuhi dari ^{99}Mo hasil fisi karena tingginya radioaktivitas jenis tersebut. Tingginya radioaktivitas jenis ^{99}Mo tersebut memungkinkan dibuat generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ dengan mudah menggunakan alumina (Al_2O_3)

sebagai penyerap, meskipun alumina hanya memiliki kapasitas serap beberapa mg Mo tiap gram alumina. Industri radioisotop memilih metode ini dalam pembuatan generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ dalam skala besar[5].

Kemudahan menghasilkan ^{99}Mo dari aktivasi neutron tetap menarik dan terus dikembangkan oleh para peneliti untuk membuat generator dengan radioaktivitas tinggi [6-8]. Upaya ini semakin terpacu dengan semakin sulitnya mendapatkan uranium diperkaya yang merupakan bahan baku pembuatan ^{99}Mo hasil fisi. Tantangan utama pemanfaatan ^{99}Mo hasil aktivasi neutron terletak pada rendahnya radioaktivitas jenis. Tantangan ini dapat teratasi jika dapat ditemukan material dengan kapasitas serap yang tinggi terhadap Mo. *Japan Atomic Energy Research Institute* (saat ini *Japan Atomic Energy Agency, JAEA*) bekerja sama dengan Kaken Co. telah mengembangkan penyerap molibdenum dengan kapasitas serap yang tinggi dengan kapasitas serap lebih dari 200 mg Mo per gram penyerap. Material penyerap tersebut dinamakan *polyzirconium compound* (PZC) [8]. Selanjutnya, pengembangan pemanfaatan PZC dalam bentuk generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ telah dilakukan lebih lanjut di Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka (PRR) BATAN melalui kerjasama dengan Kaken Co. Penelitian di PRR berhasil memperoleh generator dengan *yield* ^{99m}Tc lebih dari 80% untuk ^{99}Mo dengan radioaktivitas sampai dengan 600 mCi melalui penambahan sedikit oksidator [9-11].

Untuk mengembangkan lebih lanjut dan mendayagunakan generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ menggunakan ^{99}Mo hasil aktivasi neutron di tanah air, telah dilakukan upaya sintesis penyerap

molibdenum dengan kapasitas serap yang tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan penyerap dengan kapasitas serap tinggi terhadap molibdenum sehingga dapat digunakan untuk generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ menggunakan ^{99}Mo hasil aktivasi neutron.

TATA KERJA

Zirkonium klorida (ZrCl_4) sebanyak 10,0 gram dimasukkan ke dalam wadah reaksi. Di tempat terpisah, ke dalam isopropanol 5,2 gram dicampurkan tetrahidrofur (THF) sebanyak beberapa ml. Campuran isopropanol THF dan tersebut selanjutnya dituangkan pelan pelan ke dalam wadah reaksi yang telah berisi ZrCl_4 dan diaduk. Campuran ini diaduk selama 30 menit. Di tempat terpisah dibuat campuran air 0,76 gram dan THF beberapa ml. Campuran tersebut dicampurkan ke dalam wadah reaksi dan terus diaduk. Wadah reaksi dipanaskan pelan pelan sampai dengan 80°C . Campuran tersebut diaduk sampai mengental sehingga tidak dapat diaduk lagi. Hasil reaksi tersebut dibiarkan semalam dan menjadi keras. Hari berikutnya, gumpalan yang diperoleh digerus dan dipanaskan ke dalam *furnace* pada temperature 150°C selama 2 jam.

Karakterisasi penyerap meliputi uji serap terhadap molibdenum dan karakterisasi struktur bahan. Uji serap dilakukan menggunakan larutan molibdenum yang ke dalamnya telah dicampurkan perunut ^{99}Mo radioaktif. Penyerap yang telah disintesis sebanyak 0,2 gram dimasukkan pelan pelan ke dalam larutan molibdenum sebanyak 5 ml dengan kandungan molibdenum sebesar 47,0 mg. Berat molibdenum di dalam larutan dihitung dari

penjumlahan molibdenum yang dilarutkan dan molibdenum radioaktif yang ditambahkan sebagai perunut. Campuran tersebut dimasukkan ke dalam *water bath* dengan temperatur 90°C selama 30, 60 dan 90 menit. Setelah waktu yang ditentukan, cairan dan padatan dipisahkan dan radioaktivitas ^{99}Mo di dalam keduanya diukur menggunakan Dose Calibrator AtomLab 100. Pada pengukuran radioaktivitas menggunakan Dose Calibrator AtomLab 100, telah diuji bahwa geometri sampel tidak berpengaruh pada hasil pengukuran sampai dengan volume 5 ml. Kapasitas serap terhadap molibdenum dihitung dari radioaktivitas ^{99}Mo yang terserap dan ^{99}Mo yang masih tersisa di dalam larutan. Dari perbandingan ini selanjutnya dihitung jumlah gram molibdenum yang terserap ke dalam penyerap.

Penyerap yang telah berhasil disintesis diperiksa menggunakan *Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM/EDS). Pada pemeriksaan ini digunakan perangkat SEM/EDS dari JEOL tipe JSM-6390A. Perbesaran dilakukan sebesar 50, 150 dan 500 kali. Kondisi permukaan dari penyerap dapat dilihat dari gambar yang didapatkan, sedang kandungan unsur dapat diperoleh dari spektrum EDS yang tertangkap[12,13]. Hasil SEM/EDS terhadap penyerap hasil sintesis dibandingkan dengan hasil SEM/EDS terhadap penyerap *polyzirconium compound* (PZC) dari Kaken Co.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji penyerapan molibdenum ke dalam penyerap ditunjukkan pada Tabel 1. Setelah diserapkan selama 30 menit, jumlah molibdenum

yang terserap ke dalam penyerap sebesar 51,3% dari Mo yang ada dalam larutan awal. Jumlah tersebut naik menjadi 82,6% setelah 1 jam dan selanjutnya hampir sama yaitu sebesar 81,5% pada penyerapan selama 90 menit. Dari hasil ini dapat diketahui bahwa setelah 1 jam, jumlah molibdenum yang terserap telah mencapai maksimum. Jika persentase penyerapan tersebut dihitung ke kapasitas serap berdasarkan jumlah molibdenum dalam larutan dan berat penyerap yang digunakan, diperoleh kapasitas serap masing masing 116,4; 191,1 dan 183,4 mg Mo untuk tiap gram penyerap. Kapasitas serap ini jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kapasitas serap alumina yang hanya beberapa mg Mo untuk tiap gram alumina.

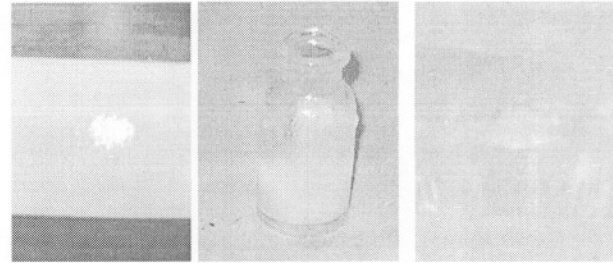
Generator pada skala kecil memiliki radioaktivitas sekitar 250 mCi. Hasil iradiasi neutron terhadap molibdenum alam menggunakan reactor G.A. Siwabessy menghasilkan ^{99}Mo dengan radioaktivitas jenis sekitar 1,0 mCi / mg Mo pada saat setelah proses pelarutan atau sekitar 5 jam setelah iradiasi. Oleh sebab itu, untuk mendapatkan generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ skala kecil dengan radioaktivitas ^{99}Mo sebesar 250 mCi diperlukan Mo teriradiasi sebanyak 250 mg. Dengan penyerap dengan kapasitas 180 mgMo/g, generator sebesar 250 mCi ^{99}Mo memerlukan penyerap sebanyak 1,4 g. Penyerap sebanyak ini memungkinkan dimasukkan ke dalam sebuah kolom generator radioisotop.

Tabel 1. Hasil uji penyerapan Mo ke dalam penyerap.

No	Berat penyerap (mg)	Lama waktu penyerapan (jam)	Persentase penyerapan (%)	Kapasitas serap (mg/gram)
1	0,2071	0,5	51,3	116,4
2	0,2030	1,0	82,6	191,1
3	0,2089	1,5	81,5	183,4

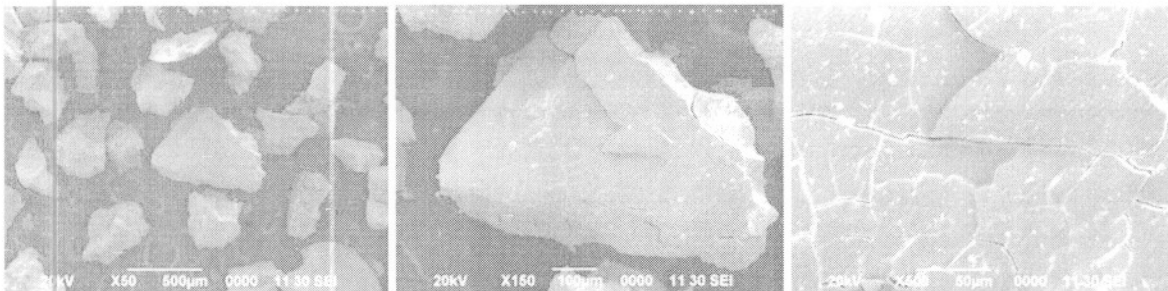
Oleh sebab itu, dari sisi kapasitas serap, penyerap yang telah disintesis ini telah memungkinkan digunakan sebagai penyerap untuk generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ menggunakan ^{99}Mo hasil iradiasi neutron terhadap molibdenum alam.

Selama proses penyerapan, butiran butiran penyerap mengalami perubahan. Sebelum penyerapan, penyerap berbentuk butiran seperti pada gambar 2.a. Pada saat proses penyerapan, butiran butiran pecah menjadi butiran butiran yang lebih kecil dan larutan menjadi keruh seperti pada gambar 2.b. Setelah penyerapan, penyerap mengandung molibdenum menjadi lembek seperti ditunjukkan pada Gambar 2.c. Dalam kondisi lembek seperti ini, penyerap mengandung ^{99}Mo sulit dimasukkan ke dalam kolom serta ^{99}Tc yang tumbuh di dalamnya sulit dielusi.

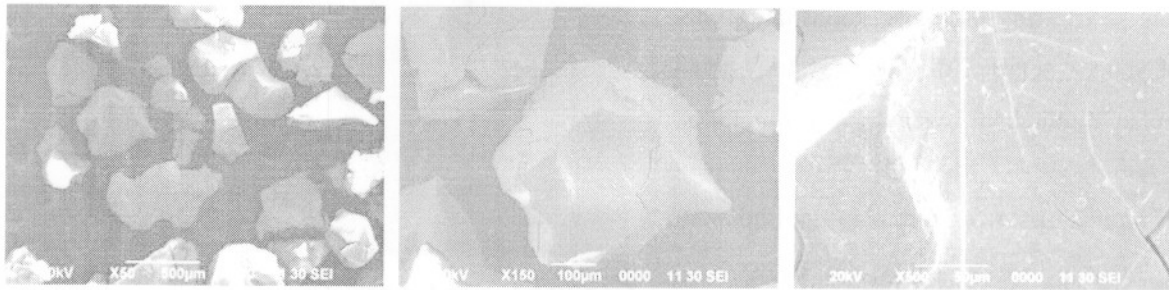


Gambar 1. Kondisi penyerap sebelum penyerapan, pada saat penyerapan dan setelah penyerapan.

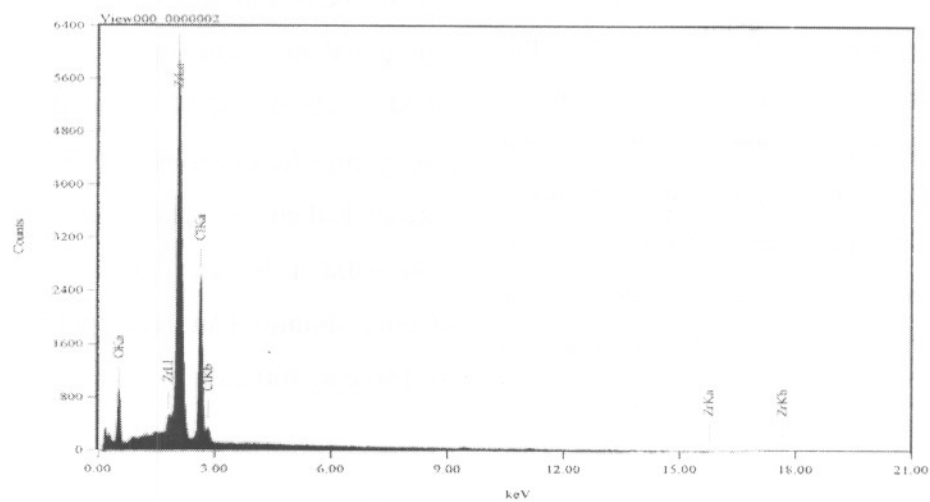
Untuk menelusuri penyebab pecahnya butiran, penyerap sebelum digunakan diperiksa menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Hasil SEM dibandingkan dengan penyerap *polyzirconium compound* (PZC) hasil sintesis Kaken Co. Hasil tersebut ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4. Pada gambar tersebut ditunjukkan hasil perbesaran setinggi 50, 150 dan 500 kali.



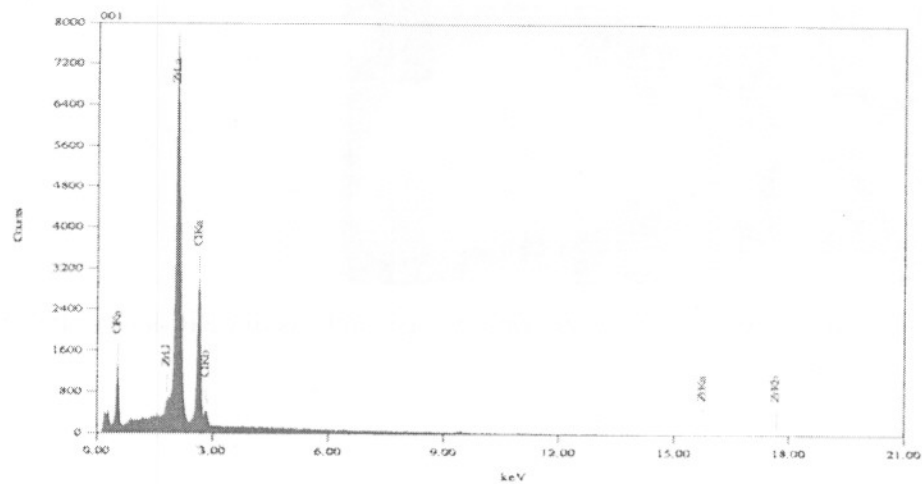
Gambar 2. Hasil SEM penyerap berbasis zirkonium hasil sintesis di PRR dengan perbesaran 50x, 150x dan 500x



Gambar 3. Pernyerap PZC yang dikembangkan oleh Kaken Co. dengan perbesaran 50x, 150x dan 500x.



Gambar 4. Hasil dari *energy dispersive X-ray spectroscopy* (EDS) terhadap penyerap hasil sintesis.



Gambar 5. Hasil dari *energy dispersive X-ray spectroscopy* (EDS) terhadap penyerap PZC dari Kaken Co.

Tabel 2. Perbandingan massa unsur penyusun penyerap hasil sintesis dan penyerap PZC

Unsur	Penyerap hasil sintesis (%)	Penyerap PZC dari Kaken Co. (%)
Oksigen	28,5	26,5
Klor	17,9	16,7
Zirkonium	53,6	56,8

Dari gambar 3 dan 4 diketahui bahwa pada permukaan butiran penyerap yang disintesis terlihat banyak retakan. Kondisi ini berbeda dengan PZC yang hanya menunjukkan sedikit retakan di permukaannya. Dari hasil ini dapat diduga bahwa hancurnya butiran penyerap hasil sintesis dikarenakan adanya banyak retakan pada butiran tersebut.

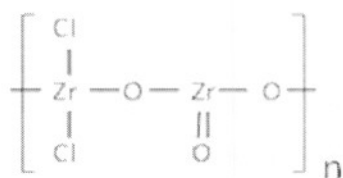
Unsur unsur penyusun dari penyerap tersebut dapat diketahui dari spektrum EDS yang diperoleh. Spektrum EDS dari penyerap hasil sintesis dan penyerap PZC dari Kaken memiliki bentuk yang hampir sama. Spektrum EDS dari penyerap hasil sintesis ditunjukkan pada Gambar 5, sedang spektrum EDS dari PZC ditunjukkan pada gambar 6. Keduanya memiliki bentuk yang hampir sama. Dari energi sinar-X yang dipancarkan diketahui bahwa penyerap hasil sintesis dan penyerap PZC tersusun dari unsur zirkonium, klor dan oksigen. Sinar-X karakteristik dari ketiga unsur tersebut tampak jelas dalam spektrum EDS. Perbandingan unsur penyusun penyerap ditunjukkan pada Tabel 2. Dari Tabel 2 diketahui bahwa zirkonium, oksigen dan klor masing masing sebesar 53,6%, 28,5% dan 17,9% berat. Sedang kandungan unsur zirkonium, oksigen dan klor di dalam penyerap PZC dari Kaken sebesar 56,8%, 26,5% dan 16,7%. Jika perbandingan tersebut dikonversi ke

dalam jumlah atom masing masing unsur, maka perbandingan unsur untuk penyerap hasil sintesis adalah $Zr : O : Cl$ adalah $1,0 : 3,0 : 0,9$. Sedang untuk perbandingan atom dalam PZC adalah $Zr : O : Cl$ sebesar $1,0 : 2,7 : 0,8$.

Pada saat proses reaksi, terjadi peningkatan viskositas cairan hasil reaksi. Peningkatan viskositas dapat terjadi karena peningkatan berat molekul pada reaksi polimerisasi. Kondisi ini memperkuat konsep bahwa molekul bahan berbasis zirkonium merupakan polimer anorganik. Tatenuma[8] mengemukakan bahwa PZC yang merupakan salah satu bentuk bahan berbasis zirkonium merupakan polimer anorganik dengan rantai utama tersusun dari atom zirconium dan oksigen seperti ditunjukkan pada gambar 7 (a). Tatenuma tidak menunjukkan hasil analisis unsur secara kuantitatif berkaitan dengan struktur molekul yang dikemukakan. Struktur molekul tersebut disusun berdasarkan struktur polimer anorganik yang mungkin terbentuk dari unsur zirkonium, oksigen dan klor.



(a)



(b)

Gambar 6. (a) Struktur molekul dari penyerap PZC yang diusulkan oleh Tatenuma dkk, (b) struktur meolekul yang lebih mendekati dengan hasil analisis unsur.

Jika dilihat dari perbandingan unsur yang ada di dalamnya, perbandingan unsur ketiganya tidak sesuai antara hasil analisis unsur dengan struktur yang dikemukakan. Struktur molekul yang lebih mendekati perbandingan jumlah unsur penyusunnya adalah struktur molekul dengan menggantikan 2 atom Cl dengan atom O seperti pada gambar 7 (b). Struktur ini memiliki perbandingan unsur $\text{Zr} : \text{O} : \text{Cl} = 2 : 3 : 2$. Hasil analisis menunjukkan perbandingan $\text{Zr} : \text{O} : \text{Cl} = 1 : 3 : 0,9 = 2 : 6 : 1,8$. Jadi perbandingan unsur Zr dan Cl di dalam struktur tersebut telah mendekati hasil analisis. Perbedaan terletak pada jumlah unsur O. Diduga bahwa di dalam material tersebut mengandung senyawa lain yang kaya dengan unsur oksigen, misalnya air yang terjebak di dalam struktur tersebut. Keberadaan unsur H sulit terdeteksi menggunakan EDS karena sinar-X

karakteristik dari unsur H memiliki energi yang sangat rendah sebesar 0,014 keV.

KESIMPULAN

Penyerap untuk molibdenum dengan kapasitas serap yang tinggi telah berhasil disintesis. Kapasitas serap molibdenum pada kisaran 180 mg molibdenum tiap gram penyerap jauh di atas kapasitas serap alumina yang hanya beberapa mg Mo tiap gram alumina. Penyerap dengan kapasitas serap setinggi ini telah memungkinkan digunakan untuk pembuatan generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ menggunakan ^{99}Mo hasil aktivasi neutron menggunakan Mo alam. Namun, penyerap ini mudah pecah pada saat proses penyerapan Mo ke dalamnya. Hasil pemeriksaan menggunakan mikroskop elektron SEM menunjukkan bahwa pada permukaan butiran penyerap terlihat banyak retakan. Retakan retakan ini diduga sebagai penyebab mudah hancurnya penyerap pada proses penyerapan. Penyerap hasil sintesis tersusun dari unsur zirkonium, oksigen dan klor dengan perbandingan 53,6%, 28,5% dan 17,9% massa. Komposisi unsur ini mendekati komposisi unsur penyerap PZC hasil sintesis Kaken Co. Diduga bahwa material ini tersusun dari polimer anorganik dengan rantai utama tersusun dari atom Zr dan O.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. K. Tatenuma dari Kaken Co. Jepang atas pemberian sampel penyerap PZC.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONYMOUS, "Technetium-99m Radiopharmaceuticals: Manufacture of Kits" IAEA, Viena (2008).
2. ECKELMAN, W.C., Unparalleled Contribution of Technetium-99m to Medicine Over 5 Decades, *Cardiovascular Imaging*, Vol 2, No 3, 2009: 364-368.
3. CHEN, Y., HUANG, Z.W., HE, L., ZHENG, S.L., LEE, J.L, AND QIN, D.L, Synthesis and Evaluation of a Technetium-99m-labeled Diethylenetriaminepentaacetate–deoxyglucose Complex ([^{99m}Tc]–DTPA–DG) as a Potential Imaging Modality for Tumors, *Applied Radiation and Isotopes*, Vol. 64, No 3, 2006: 342-347.
4. LEE, B.C., SUNG, H.J., KIM, J.S., JUNG, K.H., CHO, Y.S., LEE, K.H. AND CHI, D.Y., Synthesis of Tc-99m Labeled Glucosamino-Asp-cyclic(Arg-Gly-Asp-d-Phe-Lys) as a Potential Angiogenesis Imaging Agent, *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, Vol. 15, 2007: 7755-7764.
5. ANONYMOUS, "Manual for Reactor Produced Radioisotope", IAEA, Viena (2003).
6. CHAKRAVARTYA, R., DASH, A., AND VENKATESHA, M., A Novel Electrochemical Technique for The Production of Clinical Grade ^{99m}Tc Using (n, γ)⁹⁹Mo, *Nuclear Medicine and Biology*, Vol. 37, No 1, 2010: 21-28.
7. DAVARPANAHA, M.R., NOSRATI, S.A., FAZLALIA, M., BOUDANIA, M.K., KHOSHOSNA, H. AND MARAGHEH, M.G., Influence of Drying Conditions of Zirconium Molybdate Gel on Performance of ^{99m}Tc Gel Generator, *Applied Radiation and Isotopes*, Vol 67, No 10, 2009: 1796-1801.
8. TATENUMA, K., Natural Mo(n,γ)⁹⁹Mo - ^{99m}Tc generator, Kaken-Jaeri News, No 101, 2001: 1 – 17.
9. GUNAWAN, A.H., MUTALIB, A., LUBIS, H., AWALUDIN, R. DAN SULAEMAN, Pengaruh Pencucian Larutan NaOCl dan Penambahan Kolom Kedua Alumina Terhadap Yield dan Lolosan ⁹⁹Mo dari Generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc Berbasis PZC, *Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka*, Vol 8, 2005:10-20.
10. GUNAWAN, A.H., YONO, S., ARTADI, H.W., WAYAN, MUTALIB, A., Modifikasi ⁹⁹Mo Automatic Loading System Generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc Berbasis PZC, *Jurnal Forum Nuklir*, Vol. 2 No. 2, 2008: 133-142.
11. KADARISMAN, GUNAWAN, A.H., LUBIS, H., HERLINA, SRIYONO, ABIDIN, YONO S., SUBUR, M. DAN SULAIMAN, Unjuk Kerja Generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc dengan Radioaktivitas ⁹⁹Mo 600 dan 800 mCi Berbasis PZC, *Jurnal Radioisotop dan Radiofarmaka*, Vol. 12, 2009: 32-41.
12. YUANA, Y., SHIMADA, Y., ICHINOSE, S. AND TAGAMI, J., Qualitative Analysis of Adhesive Interface Nanoleakage Using SEM/EDS, *Dental Materials*, Vol. 23, No. 5, 2007: 561-569.

-
13. HALEY, S.M., TAPPIN, A.D. AND FITZSIMONS, M.F., A Comparison of SEM-EDS with ICP-AES for The Quantitative Elemental Determination of Estuarine Particles, *Environmental Chemistry Letters*, Vol. 4, No. 4, 2006: 235-238.