

PENGARUH PERLAKUAN TETRAETHYL ORTHOSILICATE TERHADAP KARAKTERISTIK MATERIAL BERBASIS ZIRKONIUM UNTUK GENERATOR RADIOISOTOP $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$

Rohadi Awaludin dan Sriyono

Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka (PRR) – BATAN
Kawasan Puspiptek, Tangerang Selatan, 15314, Telp/fax (021) 7563141
Email: rohadia@yahoo.com

ABSTRAK

PENGARUH PERLAKUAN TETRAETHYL ORTHOSILICATE TERHADAP KARAKTERISTIK MATERIAL BERBASIS ZIRKONIUM UNTUK GENERATOR RADIOISOTOP $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$. Pada pembuatan generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ menggunakan molibdenum alam teriradiasi diperlukan penyerap (sorben) dengan kapasitas serap (sorpsi) tinggi. Penyerap berupa material berbasis zirkonium (MBZ) dengan kapasitas serap sekitar 183 mg Mo/g MBZ telah berhasil disintesis. Namun, penyerap tersebut mudah pecah dalam proses penyerapan molibdenum karena banyaknya retakan pada butiran yang dihasilkan. Untuk meningkatkan kekerasan, material tersebut direndam di dalam *tetraethyl orthosilicate* (TEOS), ditiriskan dan selanjutnya dipanaskan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa butiran MBZ dengan perlakuan TEOS tidak hancur pada saat direndam di dalam larutan molibdenum. Hasil pengamatan menggunakan SEM menunjukkan bahwa retakan yang terbentuk pada butiran MBZ berhasil dihilangkan melalui perlakuan menggunakan TEOS. Pengukuran menggunakan EDS menunjukkan bahwa setelah perlakuan menggunakan TEOS, pada permukaan material ditemukan adanya silikon dan terjadi kenaikan kandungan oksigen. Hasil uji serap menunjukkan bahwa perlakuan menggunakan TEOS menyebabkan penurunan kapasitas serap terhadap molibdenum dari 183 menjadi 79,8 mg Mo tiap gram MBZ. Perlakuan TEOS pada MBZ dapat meningkatkan kekerasan material namun menyebabkan penurunan kapasitas serap. Material ini perlu diuji lebih lanjut pada pembuatan generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ menggunakan Mo alam teriradiasi untuk mengetahui karakteristik generator yang diperoleh menggunakan MBZ.

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

ABSTRACT

EFFECT OF TETRAETHYL ORTHOSILICATE TREATMENT ON ZIRCONIUM-BASED MATERIAL CHARACTERISTIC FOR $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ RADIOISOTOPE GENERATOR. Preparation of $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ radioisotope generator using irradiated natural molybdenum requires a sorbent with high sorption capacity. Zirconium-based materials (ZBM), sorbent with sorption capacity of about 183 mg Mo / g ZBM, has been successfully synthesized. However, the sorbent was easily broken in the Mo sorption process due to many fractures in the grain. To increase the hardness, the material was immersed in tetraethyl orthosilicate (TEOS), drained and then heated. The hardness test results showed that the ZBM with TEOS treatment was not broken when immersed into the Mo solution. Observations using SEM showed that the fractures formed on the ZBM were successfully removed by TEOS treatment. Measurements using EDS showed that after TEOS treatment, the silicon was detected and the oxygen content increased in the material surface. Sorption test results showed that the TEOS treatment decreased the sorption capacity of molybdenum from 183 to 79.8 mg of Mo per gram of sorbent. It is necessary to examine further the material in preparation of $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ radioisotope generator using irradiated natural Mo to obtain the characteristics of the generator using the ZBM adsorbent.

Keywords: sorbent, molybdenum, $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ radioisotope generator.

1. PENDAHULUAN

Radioisotop teknesium-99m (^{99m}Tc) merupakan radioisotop yang digunakan secara luas di bidang kedokteran nuklir. Lebih dari 80% diagnosis penyakit di kedokteran nuklir menggunakan radioisotop ini (1). Teknesium-99m paling banyak dimanfaatkan untuk diagnosis 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 pengembalian serta dapat berikatan dengan banyak senyawa (2). Radioisotop ini terus dikembangkan pemanfaatannya untuk berbagai tujuan, diantaranya untuk deteksi kanker (3,4,5), diagnosis aliran darah jantung (6), penelitian interaksi *octreotide* dengan reseptor somatostatin (7) serta *brain imaging* (8).

Saat ini, sebagian besar radioisotop ^{99m}Tc diperoleh dari generator radioisotop molibdenum-99/teknesium-99m ($^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$) dengan radioisotop induk ^{99}Mo dari hasil reaksi fisi nuklir isotop uranium-235 (^{235}U). Proses pembuatan generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ ini menggunakan bahan baku ^{99}Mo dari uranium diperkaya (9,10). Seiring dengan penguatan gerakan non proliferasi nuklir untuk mencegah penyalahgunaan bahan nuklir, uranium diperkaya semakin sulit diperoleh pada masa yang akan datang. Sebagai akibatnya, ^{99}Mo dari hasil fisi akan semakin sulit diperoleh dan semakin mahal. Selain itu, proses pengolahan hasil fisi nuklir memerlukan fasilitas yang rumit serta sistem keselamatan yang sangat tinggi.

Generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$

generasi baru menggunakan ^{99}Mo dari molibdenum alam teriradiasi telah mulai dikembangkan di Indonesia (11,12). Generator radioisotop generasi baru ini menawarkan kelebihan berupa mudahnya mendapatkan bahan baku, yaitu molibdenum alam bukan uranium diperkaya, serta fasilitas yang relatif sederhana karena tidak mengolah hasil fisi nuklir. Pengembangan lebih lanjut dari generator ini terkendala pada material penyerap (sorben) Mo dengan kapasitas tinggi. Selama ini, pengembangan generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ dilakukan menggunakan penyerap *polyzirconium compound* (PZC) hasil pengembangan Tatenuma dkk (13). Material ini masih memiliki kelemahan pada sisi kekerasan. Ada sebagian partikel pecah pada saat proses penyerapan (sorpsi) Mo sehingga dapat menurunkan kinerja generator radioisotop tersebut.

Untuk mengatasi kerapuhan penyerap PZC, di Indonesia telah dikembangkan material berbasis zirkonium (MBZ) yang memiliki kapasitas serap tinggi, namun juga masih memiliki kelemahan yaitu mudah pecah (14). *Tetraethyl orthosilicate* (TEOS) adalah sebuah zat yang telah dilaporkan dapat digunakan untuk penguatan material (15,16). Pada makalah ini disajikan hasil perlakuan TEOS pada MBZ. Tujuan kegiatan ini adalah mempelajari pengaruh perlakuan TEOS dalam rangka mendapatkan material berbasis zirkonium yang lebih keras dan tidak pecah pada saat digunakan untuk menyerap molibdenum, sehingga diharapkan dapat digunakan untuk membuat generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$

menggunakan Mo alam.

2. BAHAN DAN TATA KERJA

Pada penelitian ini digunakan bahan berupa isopropanol, tetrahidrofur (THF) dan zirkonium klorida (ZrCl_4) dari Merck, serta molibdenum oksida dan *tetraethyl orthosilicate* (TEOS) dari Aldrich. Peralatan yang digunakan adalah *furnace* dari Vulcan tipe A-130 dan *Scanning Electron Microscope/Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy* (SEM/EDS) dari JEOL tipe JSM-6390A. Pada pengukuran radioaktivitas digunakan *Dose Calibrator* tipe AtomLab 100.

Isopropanol sebanyak 5,2 gram dicampurkan ke dalam THF sebanyak 10 ml. Campuran isopropanol dan THF tersebut selanjutnya dituangkan perlahan-lahan ke dalam wadah reaksi yang telah berisi ZrCl_4 sebanyak 10 gram dan diaduk selama 30 menit. Di wadah reaksi terpisah dibuat campuran air 0,76 gram dan THF 5 ml, diaduk terus menerus dan dipanaskan perlahan-lahan sampai dengan 80°C . Campuran tersebut diaduk sampai mengental sehingga tidak dapat diaduk lagi dan dibiarkan semalam sampai menjadi keras. Hari berikutnya, gumpalan yang diperoleh digerus dan dipanaskan dalam *furnace* pada temperatur 150°C selama 2 jam sehingga diperoleh penyerap berupa MBZ. Pembuatan MBZ ini telah dilaporkan lebih rinci sebelumnya (14).

Proses penyalutan terhadap MBZ dilakukan menggunakan *tetraethyl orthosilicate* (TEOS). Material berbasis zirkonium dimasukan perlahan-lahan ke

dalam TEOS dan dibiarkan selama 3 jam sehingga permukaan terlapisi dengan baik (13), kemudian dikeluarkan dari TEOS dan ditiriskan. Material berbasis zirkonium yang telah terlapisi dengan TEOS selanjutnya dipanaskan dalam *furnace* dengan suhu 200°C selama 1 jam, kemudian didinginkan dan disimpan di dalam lemari kering.

Untuk menguji kekerasannya pada proses penyerapan Mo, MBZ dengan dan tanpa perlakuan TEOS direndam dalam larutan molibdenum selama 2 jam pada temperatur 90°C kemudian kondisi butiran kedua material tersebut diamati khususnya pada kekerasan material di dalam larutan Mo.

Material berbasis zirkonium dengan dan tanpa perlakuan TEOS diamati menggunakan SEM-EDS dengan perbesaran 50, 150 dan 500 kali. Kondisi permukaan material dapat dilihat dari gambar yang didapatkan, sedang kandungan unsur dapat diperoleh dari spektrum sinar-X yang ditangkap oleh EDS (17, 18).

Untuk menguji kapasitas material dalam menyerap Mo, dilakukan uji serap terhadap Mo. Uji serap ini dilakukan menggunakan larutan molibdenum yang ke dalamnya telah dicampurkan perunut (*tracer*) ^{99}Mo radioaktif sebesar 6,5 mCi. Penyerap sebanyak 0,2 gram ditambahkan perlahan-lahan ke dalam 5 ml larutan molibdenum, lalu dimasukkan ke dalam *water bath* dengan temperatur 90°C selama 90 menit. Dari penelitian sebelumnya diketahui bahwa tingkat penyerapan telah mencapai nilai maksimum pada temperatur

dan waktu tersebut (14). Cairan dan padatan dipisahkan dengan dekantasi dan selanjutnya radioaktivitas ^{99}Mo di dalam cairan dan padatan diukur menggunakan *Dose Calibrator*. Kapasitas serap terhadap molibdenum dihitung dari perbandingan radioaktivitas ^{99}Mo yang terserap dan radioaktivitas total ^{99}Mo .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 1 ditunjukkan kondisi MBZ tanpa perlakuan (a) dan dengan perlakuan TEOS (b). Dari Gambar 1a diketahui bahwa MBZ tanpa perlakuan TEOS pecah pada saat direndam dalam larutan Mo. Larutan Mo menjadi keruh karena banyak butiran kecil yang melayang pada larutan tersebut. Kondisi ini berbeda dengan MBZ setelah diberi perlakuan dengan TEOS seperti ditunjukkan pada

Gambar 1b. Butiran-butiran mengendap di bawah dan larutan tetap jernih.

Material berbasis zirkonium tanpa perlakuan dan dengan perlakuan TEOS diperiksa menggunakan *scanning electron microscope* (SEM) dengan perbesaran 150 dan 500 kali dan hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2.

Pada Gambar 2a ditunjukkan bahwa pada permukaan MBZ tanpa perlakuan TEOS terlihat banyak retakan. Retakan ini menyebabkan material mudah pecah pada saat dimasukkan ke dalam larutan Mo. Pada Gambar 2b ditunjukkan MBZ dengan perlakuan TEOS. Retakan tidak terlihat pada permukaan material, menunjukkan bahwa perlakuan dengan TEOS dapat menutup retakan yang terbentuk sehingga butiran MBZ menjadi keras dan tidak mudah pecah.

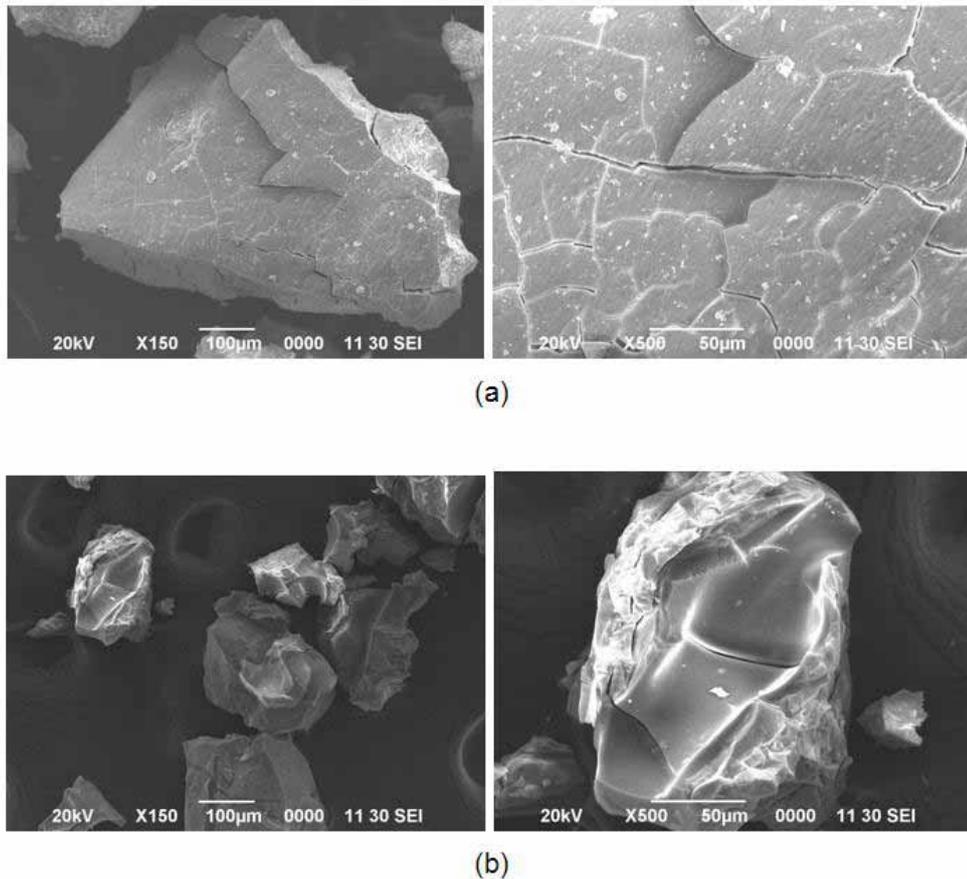


(a)



(b)

Gambar 1. Kondisi penyerap MBZ dalam larutan Mo tanpa perlakuan TEOS (a) dan dengan perlakuan TEOS (b).



Gambar 2. Hasil SEM dari MBZ tanpa perlakuan TEOS (a) dan dengan perlakuan TEOS (b)

Spektrum sinar-X hasil pengukuran EDS ditunjukkan pada Gambar 3, baik untuk MBZ tanpa perlakuan (3a) maupun dengan perlakuan TEOS (3b).

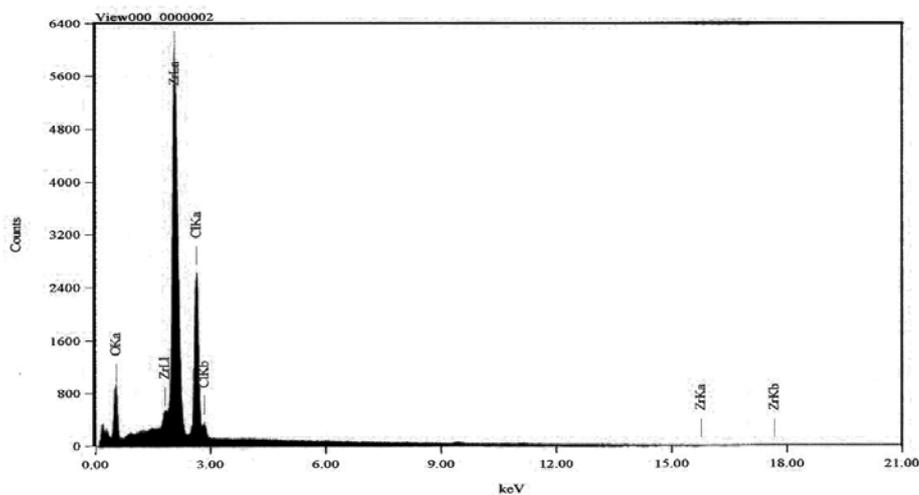
Pada spektrum dari MBZ tanpa perlakuan TEOS (3a) terlihat adanya sinar-X dari oksigen ($K\alpha$ 0,525 keV), zirkonium ($L\alpha$ 2,225 keV, $K\alpha$ 15,78 keV dan $K\beta$ 17,67 keV) serta klor ($K\alpha$ 2,62 keV dan $K\beta$ 2,82 keV), sedang pada spektrum sinar-X dari MBZ dengan perlakuan TEOS (3b), selain sinar-X dari unsur-unsur tersebut, terlihat pula puncak sinar-X dari silikon ($K\alpha$ 1,74 keV). Dari hasil ini diketahui bahwa pada permukaan MBZ ditemukan adanya unsur

zirkonium, oksigen dan klor, sedang pada MBZ dengan perlakuan ditemukan pula adanya silikon selain unsur-unsur yang ada dalam MBZ.

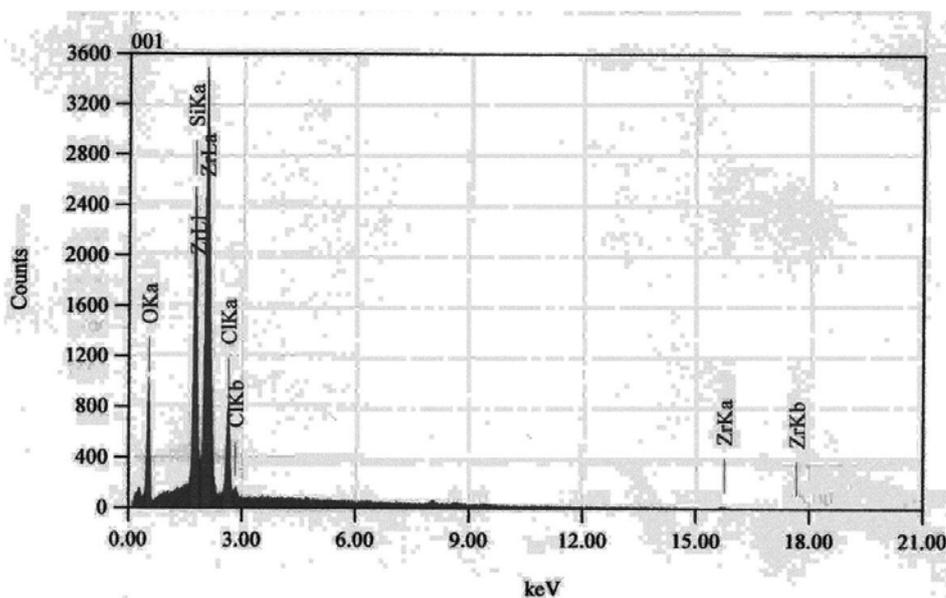
Dari luas area masing-masing puncak sinar-X tersebut selanjutnya dihitung perbandingan kandungan unsur. Persentase massa masing-masing unsur ditunjukkan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 diketahui bahwa pada permukaan MBZ ditemukan zirkonium, oksigen dan klor dengan persentase masing-masing sebesar 53,6; 28,5 dan 17,9%, sedang pada MBZ dengan perlakuan TEOS ditemukan zirkonium, oksigen, klor dan silikon dengan

perbandingan 41,0; 36,9; 6,5 dan 15,6%. Jadi, pada permukaan MBZ diduga terbentuk lapisan silikon oksida sebagai hasil dari perlakuan menggunakan TEOS. Hal ini diketahui dari ditemukannya silikon dan bertambahnya kandungan oksigen pada permukaan material. Silikon terbentuk di permukaan dengan kandungan 15,6%,

sedang kandungan oksigen mengalami peningkatan sebesar 8,4%. Perbandingan massa antara Si dan penambahan O ini dikonversi ke dalam perbandingan jumlah atom dengan menggunakan berat atom O adalah 16 dan berat atom Si adalah 28. Hasilnya diperoleh perbandingan Si:O sekitar 1 : 1.



(a)



(b)

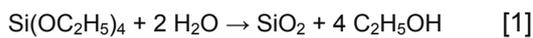
Gambar 3. Hasil dari *energy dispersive X-ray spectroscopy* (EDS) terhadap MBZ
 (a) tanpa perlakuan dan (b) dengan perlakuan TEOS.
 Tabel 1. Perbandingan massa unsur penyusun MBZ tanpa perlakuan dan dengan perlakuan TEOS.

Unsur	MBZ tanpa perlakuan (%)	MBZ dengan perlakuan TEOS(%)
Zirkonium	53,6	41,0
Oksigen	28,5	36,9
Klor	17,9	6,5
Silikon	Tidak ada	15,6

Tabel 2. Hasil uji penyerapan Mo ke dalam MBZ tanpa perlakuan, dengan perlakuan dan penyerap PZC.

No	Jenis penyerap	Kapasitas serap (mg/gram)
1.	MBZ tanpa perlakuan TEOS	183
2.	MBZ dengan perlakuan TEOS	79,8
3.	Penyerap PZC	210

TEOS memiliki rumus molekul $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$. Senyawa ini bereaksi dengan air dan menghasilkan silikon oksida dan etanol melalui reaksi sebagai berikut,



Jika dipanaskan, senyawa ini terurai menjadi silikon oksida dan dietil eter melalui reaksi berikut,



Pada perlakuan dengan TEOS, setelah MBZ dikeluarkan dari rendaman, TEOS yang menempel di permukaan akan bereaksi dengan uap air di udara dan berubah menjadi silikon oksida yang mengeras di permukaan MBZ. Selanjutnya material tersebut dipanaskan untuk memastikan bahwa seluruh TEOS telah berubah menjadi silikon oksida. Jika ada TEOS yang belum berubah diharapkan terurai menjadi silikon oksida dan dietil eter.

Hasil dari EDS menunjukkan adanya Si dan penambahan kandungan O di permukaan MBZ setelah perlakuan dengan TEOS, namun jumlah atom Si dan O belum sesuai dengan silikon oksida yang secara teoritis memiliki perbandingan Si:O sebesar

1:2. Perbedaan ini perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui penyebabnya. Hasil EDS juga menunjukkan bahwa masih terdeteksi adanya zirkonium dan klor pada permukaan MBZ setelah perlakuan dengan TEOS. Dari hasil ini diketahui bahwa tidak seluruh permukaan material tertutup oleh silikon dengan perlakuan tersebut. Persentase Zr yang terdeteksi hanya turun dari 53,6% menjadi 41,0%.

Hasil uji serap MBZ dengan dan tanpa perlakuan TEOS ditunjukkan pada Tabel 2. Pada tabel tersebut ditunjukkan pula kapasitas serap PZC hasil pengembangan Tatenuma dkk (15).

Dari uji serap diperoleh hasil bahwa MBZ tanpa perlakuan memiliki kapasitas serap sebesar 183 mg Mo tiap gram MBZ. Nilai ini mengalami penurunan menjadi 79,8 mg Mo untuk tiap gram penyerap MBZ setelah perlakuan TEOS. Dari hasil ini diketahui bahwa perlakuan menggunakan TEOS menurunkan kemampuan MBZ dalam menyerap molibdenum. Hal ini diduga disebabkan oleh pengaruh silikon oksida yang terbentuk di permukaan material. Silikon oksida dari hasil perlakuan menggunakan TEOS di satu sisi meningkatkan kekerasan MBZ, namun di

sisi lain menutupi sebagian permukaan sehingga mengurangi kapasitas serap terhadap Mo.

Kapasitas serap MBZ dengan perlakuan TEOS ini masih lebih rendah dibandingkan dengan PZC dari Jepang yang sebesar 210 mg Mo per gram penyerap, namun kekerasan yang dimiliki MBZ menjanjikan kelebihan pada generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang dihasilkan. Tantangan pada pembuatan generator terletak pada volume kolom penyerap yang berukuran lebih besar karena diperlukan penyerap dengan jumlah lebih banyak dibandingkan dengan penyerap dari PZC. Material berbasis zirkonium ini perlu diuji lebih lanjut untuk pembuatan generator radioisotop guna mengetahui secara nyata kelebihan dan kelemahan generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ menggunakan Mo alam dengan memanfaatkan material ini, termasuk di dalamnya adalah besarnya *breakthrough* dari silikon oksida. Selain itu, perlu dicari kondisi optimal dalam perlakuan dengan TEOS sehingga diperoleh penyerap yang tidak pecah dalam larutan Mo namun memiliki kapasitas serap yang tetap tinggi.

4. KESIMPULAN

Kelemahan MBZ berupa rapuhnya material dapat diatasi dengan perlakuan menggunakan TEOS. Butiran MBZ dengan perlakuan TEOS tidak hancur pada saat direndam dalam larutan Mo dan larutan Mo tetap jernih. Hasil pengamatan menggunakan SEM menunjukkan bahwa retakan yang terbentuk pada butiran MBZ berhasil dihilangkan melalui perlakuan menggunakan TEOS. Pengukuran

menggunakan EDS menunjukkan bahwa setelah perlakuan TEOS, ditemukan unsur silikon dan terjadi kenaikan kandungan oksigen pada permukaan material.

Hasil uji serap menunjukkan bahwa perlakuan TEOS menurunkan kapasitas serap dari 183 menjadi 79,8 mg Mo tiap gram penyerap. Perlakuan TEOS pada MBZ dapat meningkatkan kekerasan material tersebut namun menyebabkan penurunan kapasitas serap terhadap Mo.

Material berbasis zirkonium ini perlu diuji lebih lanjut untuk dapat dipakai pada generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ menggunakan Mo alam hasil iradiasi, sehingga karakteristik generator yang diperoleh menggunakan penyerap MBZ dapat diketahui.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. International Atomic Energy Agency. Technetium-99m radiopharmaceuticals: manufacture of kits. IAEA-Technical Reports Series No. 466. Viena: IAEA; 2008.
2. Saitoh N. Notebook of radioisotope. Tokyo: Maruzen; 1996.
3. Santini M. The role of technetium-99m hexakis-2-methoxyisobutyl isonitrile in the detection of neoplastic lung lesions. Euro Journ Card-Thor Surge 2009; 35: 325-31
4. Bacovsky J, Myslivecek M. Multiple myeloma: scintigraphy using technetium-99m-2-methoxyisobutylisonitrile. Canc Imag 2008; 12:499-504.
5. Yang J, Guo H, Miao Y. Technetium-

- 99m-labeled Arg-Gly-Asp-conjugated alpha-melanocyte stimulating hormone hybrid peptides for human melanoma imaging. *Nucl Med Biol* 2010; 37: 873-83.
6. Petretta M, Soricelli A, Storto G, Cuocolo A. Assessment of coronary flow reserve using single photon emission computed tomography with technetium 99m-labeled tracers. *J Nucl Card* 2008; 15:456-65.
 7. Wang F, Wang Z, Wu J, Yao W, Zhao J Liu Z. The role of technetium-99m-labeled octreotide acetate scintigraphy in suspected breast cancer and correlates with expression of SSTR. *Nucl Med Biol* 2008; 35:665-71.
 8. Degirmenci B, Miral S, Arslan G, Baykara A, Evren I and Durak H. Technetium-99m HMPAO brain SPECT in autistic children and their families. *Neuroimag* 2008; 162:236-43.
 9. International Atomic Energy Agency Manual for reactor produced radioisotope. IAEA-Technical Reports Series No. 1340. Viena: IAEA; 2003:135-40.
 10. Inoue T, Hayakawa K, Shiotari H, Takada E, Torikoshi M. Economic scale of utilization of radiation (III): medicine. *J Nucl Sci Tech* 2002; 39:1114-9
 11. Mutalib A, Gunawan AH, Lubis H, Tatenuma K. Performance of (n, γ) $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generators produced by using PZC materials and irradiated natural molybdenum. *Proceedings of The 2001 Workshop on the Utilization of Research Reactors*. Beijing ; 2001.
 12. Gunawan AH, Mutalib A, Lubis H, Awaludin R, Sulaeman. Pengaruh pencucian larutan NaOCl dan penambahan kolom kedua alumina terhadap yield dan lolosan ^{99}Mo dari generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis PZC. *J Radioisot Radiofar* 2005; 8:10-20.
 13. Tatenuma K. Natural Mo(n, γ) $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator. *Kaken-Jaeri News* 2001; 101: 1-17.
 14. Awaludin R, Sriyono, Herlina. Sintesis dan karakterisasi penyerap molibdenum berkapasitas tinggi untuk generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. *J Radioisot Radiofar* 2010; 13:23-32.
 15. Hashem KME. Study of TEOS and TPOS anticorrosion coatings developed at different ranges of pyrolysis temperatures. *Appl Surf Sci* 2003; 217: 302-13.
 16. Mahajan AM, Patil LS, Gautam DK. Influence of process parameters on the properties of TEOS-PECVD-grown SiO_2 films. *Surf Coat Tech* 2004; 188:314-18.
 17. Kutchko BG, Kim AG. Fly ash characterization by SEM-EDS. *Fuel* 2006; 85:2537-44.
 18. Szykowska M I, Pawlaczyk A and Rogowski J. ToF-SIMS and SEM-EDS analysis of the surface of chosen bioindicators. *Appl Surf Sci* 2008; 255:1165-69.

