

KARAKTERISTIK GEL TITANIUM MOLIBDAT DAN PENGARUHNYA TERHADAP EFISIENSI PELEPASAN ^{99m}Tc

Edy Giri Rachman Putra *), Harjoto Djojosebroto**).

*) Kimia - Institut Teknologi Bandung

**). Pusat Penelitian Teknik Nuklir.- Badan Tenaga Atom Bandung

ABSTRAK

KARAKTERISTIK GEL TITANIUM MOLIBDAT DAN PENGARUHNYA TERHADAP EFISIENSI PELEPASAN ^{99m}Tc . Gel titanium molibdat merupakan senyawa yang akhir-akhir ini dikembangkan sebagai matriks dalam generator ^{99m}Tc . Hal ini didasarkan pada penemuan senyawa Zirkonium molibdat yang telah dikembangkan dan dipelajari sebagai generator ^{99m}Tc . Penelitian ini mempelajari sifat-sifat gel titanium molibdat yang meliputi struktur, perbandingan unsur Ti:Mo dalam gel, ikatan-ikatan yang terbentuk dalam gel. Sifat-sifat gel ini akan dilihat keterkaitannya dengan efisiensi pelepasan ^{99m}Tc . Pengendapan gel dilakukan pada pH 4 dan memberikan kandungan Mo sebesar 20 - 32% sebagai hasil karakterisasi dengan fluoresensi sinar-X. Gel yang dikeringkan selama 3 jam pada suhu 70, 80 dan 130 °C, kemudian diiradiasi dengan fluks neutron $4,39 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ detik}^{-1}$ selama 3 hari. Setelah didinginkan selama 6 hari, ^{99m}Tc dipisahkan dengan menggunakan larutan saline (NaCl 0,9%). Hasil pemisahan memberikan rendemen ^{99m}Tc yang berbeda untuk setiap gel titanium molibdat. Rendemen ^{99m}Tc mencapai lebih dari 50% pada gel dengan perbandingan unsur Ti:Mo = 1:1 dan semakin besar perbandingan unsur Ti:Mo akan menurunkan rendemen ^{99m}Tc . Karakterisasi dengan defraksi sinar-X dapat ditunjukkan bahwa seluruh gel titanium molibdat baik yang direfluks maupun tidak adalah amorf. Dengan memanaskan atau memijarkan gel tersebut, akan mengubah struktur dari amorf menjadi semi kristalin melalui mekanisme modifikasi internal polimer. Iradiasi neutron yang dilakukan pada penelitian ini tidak mengakibatkan perubahan struktur gel menjadi kristalin. Gel dengan struktur amorf memberikan rendemen ^{99m}Tc yang lebih besar daripada bentuk kristalin. Kekompakan atau kerapatan struktur kristalin sebagai hasil dari reaksi dehidrasioksolasi menyebabkan rendemen ^{99m}Tc menjadi rendah. Hilangnya ikatan logam-OH dapat dilihat dengan spektrometri infra merah dan memberi petunjuk terbentuknya ikatan logam-O-logam yang dapat mempengaruhi rendemen ^{99m}Tc .

ABSTRACT

THE CHARACTERISTICS OF TITANIUM MOLYBDATE GEL AND ITS INFLUENCE ON THE EFFICIENCY OF ^{99m}Tc RELEASE. Titanium molybdate gel is a compound recently developed as a matrix in ^{99m}Tc generators. This was based on the discovery of zirconium molybdate compound, which has been developed and studied as a ^{99m}Tc generator. In the present study a study was made on the characteristics of titanium molybdate gel including its structure, the Ti-Mo ratio in the gel, and the bindings formed in the gel. The correlation between gel properties and efficiency of ^{99m}Tc release were studied. The gel was precipitated at pH 4 yielding a Mo content of 20-32% characterized by X-ray fluorescence. The gel was dried for 3 hours at temperature of 70, 80, and 130°C and irradiated at a neutron flux of $4.39 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ sec}^{-1}$ for three days. After a cooling period of 6 days, ^{99m}Tc was separated by means of a saline solution (NaCl 0.9%). The separation yield of ^{99m}Tc was different for each titanium molybdate gel. A yield of 50% for ^{99m}Tc was obtained with a gel having a Ti:Mo = 1:1 and a higher Ti-Mo ratio will result in a lower ^{99m}Tc yield. Characterization by X-ray diffraction showed that all titanium molybdate gels, whether refluxed or not, are amorphous. Heating or igniting the gel will change its structure from amorphous to semi-crystalline through internal polymer modification mechanism. In the present study neutron irradiation did not produce a crystalline gel structure. Amorphous gels give higher ^{99m}Tc yields than crystalline forms. The compactness or density of the crystalline structure as a result of dehydration-oxalate reactions led to low ^{99m}Tc yields. The disappearance of the metal-OH bond can be shown by infra red spectrophotometry, indicating the formation of metal-O-metal bonds affecting the ^{99m}Tc yield.

PENDAHULUAN

Isotop ^{99m}Tc telah diproduksi oleh BATAN untuk memenuhi kebutuhan di bidang kedokteran nuklir. Penggunaan isotop ^{99m}Tc sangat luas, terutama untuk keperluan diagnosis. Ini disebabkan karena isotop ^{99m}Tc memiliki waktu paruh yang pendek, pemancar radiasi- γ tunggal, energi radiasinya kecil dan mudah dijadikan sediaan radiofarmaka.

Pemisahan ^{99m}Tc dari radionuklida induk ^{99}Mo dapat dilakukan dengan berbagai cara seperti ekstraksi pelarut menggunakan metil etil keton, sublimasi, dan elusi dari Mo yang terikat pada padatan alumina atau padatan senyawa molibdat. Salah satu diantara penelitian tentang ^{99m}Tc adalah metode pemisahan ^{99m}Tc dari padatan berupa gel Titanium molibdat.

Dari penelitian terdahulu dapat dilihat bahwa kondisi pembuatan gel Titanium molibdat mempengaruhi efisiensi pelepasan dan kemurnian ^{99m}Tc [1,2]. Perlakuan fisik dan kimia setelah padatan terbentuk dapat menyebabkan terjadinya perubahan sifat padatan titanium molibdat. Untuk itu, dipelajari sifat-sifat yang meliputi struktur padatan senyawa titanium molibdat, perbandingan unsur Ti:Mo dan ikatan yang terbentuk di dalam senyawa tersebut. Sifat-sifat ini dikaitkan dengan efisiensi pelepasan ^{99m}Tc , sehingga diperoleh suatu hubungan dengan pola tertentu antara sifat padatan titanium molibdat dengan rendemen ^{99m}Tc .

Kondisi percobaan seperti pH, temperatur dan lama pengeringan, volume pengelusi dibuat tetap. Variasi konsentrasi dilakukan untuk mendapatkan kandungan ^{99}Mo yang cukup besar di dalam padatan titanium molibdat. Struktur padatan titanium molibdat, baik yang direfluks maupun yang tidak dapat ditunjukkan dengan teknik defraksi sinar-X. Fluoresensi sinar-X dapat memberikan informasi kandungan unsur Ti dan Mo di dalam gel. Teknik infra merah akan memberikan informasi ada tidaknya kandungan air dan ikatan-ikatan yang terbentuk dalam gel.

BAHAN DAN TATA KERJA

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini seluruhnya berasal dari E. Merck, seperti MoO_3 , TiCl_4 , H_2SO_4 , KBr , LiB_4O_7 dan NaCl . Alat atau instrumen yang digunakan antara lain pH meter, infra merah (FTIR) Shimadzu DR-8011, defraksi sinar-X Jeol DX-GERP-12, fluoresensi sinar-X Shimadzu VF-30. Pengana-

lisis multi saluran Tennelec CNVDS-30-10190, neraca analitik Ainsworth 24N, pengaduk magnetik Thermolyne Nouva II, oven.

Tata Kerja

Pembuatan Gel Titanium molibdat

Gel Titanium molibdat dibuat dengan mencampurkan larutan titanil [T] dan larutan molibdat [M][3]. [T] ditambahkan sedikit demi sedikit secara kontinyu ke dalam [M]. Perbandingan konsentrasi larutan Ti:Mo dibuat dengan urutan 1:0,5; 1:1; 1:2; 1:3; 1:4. Pengendapan dilakukan pada pH 4 yang dilakukan dengan penambahan H_2SO_4 atau NH_4OH .

Sebagian gel direfluks dalam larutan induknya selama 4 jam. Gel dipisahkan dari larutan induknya dengan kertas saring Whatman no. 42 dan dicuci dengan air suling. Gel dikeringkan di dalam oven pada temperatur 70, 80 dan 130 °C selama 3 jam. Beberapa cuplikan gel yang telah kering, sebagian dipijarkan dengan Fisher selama 5 menit.

Karakterisasi dengan defraksi sinar-X

Analisis dengan defraksi sinar-X dilakukan dua kali, yaitu sebelum dan sesudah iradiasi neutron. Seluruh gel, baik yang direfluks maupun tidak dan yang dipijarkan dengan Fisher dilakukan analisis difraksi sinar-X.

Karakterisasi dengan fluoresensi sinar-X

Dibuat terlebih dahulu matriks dengan mencampur cuplikan dengan litium tetraborat. Sudut defraksi sinar-X untuk titanium adalah 86,14 dan molibdenum adalah 20,33 derajat.

Karakterisasi dengan infra merah

Menggunakan cuplikan gel yang dikeringkan pada 70, 130°C dan yang dipanaskan dengan Fisher. Cuplikan terlebih dahulu dibuat pelet dengan KBr.

Iradiasi neutron

Dua puluh lima mg gel titanium molibdat, baik yang direfluks maupun tidak direfluks serta yang dipijarkan dengan Fisher diiradiasi pada fluks neutron $4,39 \times 10^{12}$ n cm^{-2} detik $^{-1}$ dengan daya 900 kW selama 1 periode.

Pemisahan dan rendemen ^{99m}Tc

Sebelum pemisahan, gel dicacah terlebih dahulu dan keaktifan relatif pada energi 140,6; 180,9; 366,3; 739,9 dan 778,5 KeV dicatat. Puncak-puncak tersebut adalah energi sinar- γ yang karakteristik untuk ^{99m}Mo . Gel dikontakkan dengan larutan NaCl fisiologis sebanyak 4 ml

dan dipisahkan dengan cara dekantasi. Filtrat dan endapan dicacah dalam kondisi yang sama dengan pencacahan sebelum gel dikontakkan. Penurunan cacahan pada energi 140,6 KeV yang juga puncak karakteristik untuk ^{90m}Tc menunjukkan bahwa ^{90m}Tc terelusi ke dalam filtrat. Rendemen ^{90m}Tc dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Rendemen} = \frac{A - A'}{A} \times 100\%$$

A = Perbandingan luas puncak pada energi 140,6 KeV sebelum pemisahan; A' = Perbandingan luas puncak pada energi 140,6 KeV sesudah pemisahan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

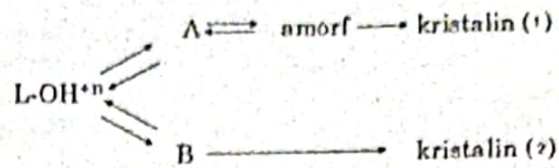
Secara keseluruhan, hasil penelitian dapat ditunjukkan dalam Tabel 1.

Perbandingan konsentrasi [T] dan molibdat dilakukan dengan variasi menaikkan konsentrasi [M]. Hasil karakterisasi dengan fluoresensi sinar-X pada seluruh gel yang diendapkan pada pH 4 memberikan perbandingan kandungan unsur Ti:Mo bervariasi. Hasil defraksi sinar-X, pada Gambar 1-12, menunjukkan adanya struktur amorf dan semi kristal.

Perlakuan refluks terhadap gel dalam larutan induknya tidak mengubah struktur dari amorf menjadi kristalin. Akan tetapi dapat menyebabkan terjadinya keteraturan perbandingan unsur Ti:Mo di dalam gel, sehingga penambahan konsentrasi [M] akan memiliki pola perbandingan unsur Ti:Mo = 1:2 yang relatif tetap.

Hasil karakterisasi dengan teknik fluoresensi sinar-X (Tabel 2) menunjukkan bahwa kandungan molibdenum dalam gel antara 20 - 32%, sedangkan titanium antara 13 - 25%. Jumlah kandungan titanium dan molibdenum dalam gel untuk Ti:Mo = 1:1 sekitar 44% dan Ti:Mo = 1:2 dapat mencapai 49%. Sisanya dapat berupa oksigen atau hidrogen sebagai gugus hidroksil atau air hidrat.

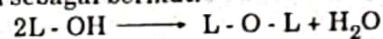
Gel titanium molibdat yang dipanaskan dengan Fisher mengalami perubahan struktur menjadi semi kristalin. Pembentukan struktur kristalin suatu penukar ion anorganik sintesis, dapat dibentuk baik secara modifikasi internal struktur polimer amorfnya atau melalui penumbuhan inti kristal. Secara sederhana dapat digambarkan sebagai berikut : [4]



Berdasarkan teori di atas, maka pembentukan kristal titanium molibdat dapat melalui mekanisme pembentukan kristal [2] bila diberikan suatu kondisi tertentu untuk menumbuhkan inti kristal dari larutan titanium molibdat.

Terbentuknya struktur semi kristalin dari gel titanium molibdat yang dipanaskan dengan Fisher disebabkan karena terjadinya dehidrasi yang diikuti dengan reaksi oksolasi. Reaksi oksolasi ini dapat menyebabkan terbentuknya ikatan-ikatan silang sehingga struktur gel menjadi kompak.

Mekanisme reaksi oksolasi dapat digambarkan sebagai berikut:



L = logam

Iradiasi gel titanium molibdat pada fluks neutron $4,39 \times 10^{12} \text{ n cm}^{-2} \text{ detik}^{-1}$ dengan daya reaktor 900 KW selama 1 periode tidak menunjukkan perubahan struktur menjadi kristalin.

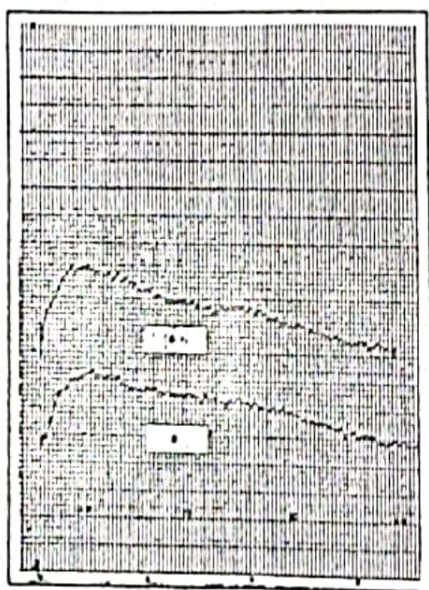
Hasil karakterisasi dengan infra merah (Tabel 3) gel titanium molibdat dengan pemanasan 130°C, puncak pada 1100 cm^{-1} hilang atau lemah. Daerah 1100 cm^{-1} ini merupakan absorpsi untuk vibrasi tekuk ikatan L-O-H [5]. Absorpsi *bending* L-O-H akan lemah atau bahkan hilang untuk senyawa anhidrat. Untuk itu, pemijaran gel dengan Fisher akan membentuk ikatan L-O-L yang meningkatkan kekristalan gel tersebut. Spektrometri infra merah ini membuktikan hilangnya ikatan L-O-H melalui reaksi dehidrasi-oksolasi.

Dari penelitian J.V Evans [6] dapat ditunjukkan bahwa dengan penambahan basa ke dalam larutan zirkonil akan terbentuk spesi $\text{Zr}(\text{OH})^{+3}$, $\text{Zr}_3(\text{OH})_{4+8}$, $\text{Zr}_3(\text{OH})_{8+7}$, $\text{Zr}_4(\text{OH})_{8+8}$ dan Le Van So [2] menemukan kompleks Ti-OH dalam gel titanium molibdat. Dari pernyataan di atas dapat disimpulkan bahwa absorpsi *bending* L-O-H merupakan absorpsi *bending* Ti-O-H. Gel yang dipanaskan dengan Fisher membentuk ikatan Ti-O-Ti, sehingga kekompakan struktur gel meningkat.

Dengan mengambil model struktur gel zirkonium molibdat dari hasil penelitian A. Clearfield, [7] maka atom Zr sebagai atom pusat dapat diganti dengan atom Ti. Model struktur ini di-

Tabel 1. Kondisi sintesis gel titanium molibdat dan hasil karakterisasi dengan fluoresensi sinar-X, defraksi sinar-X, Penganalisis multi saluran

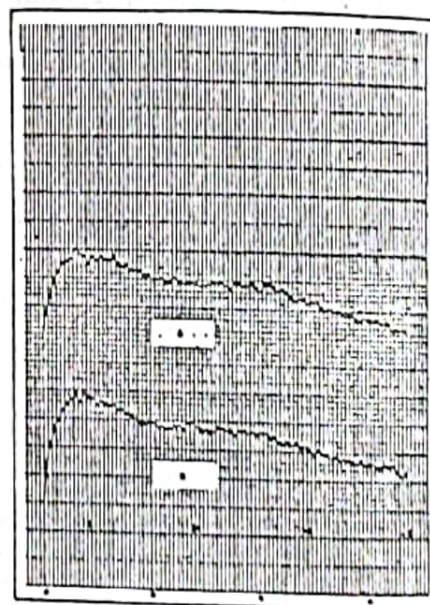
[Ti]	[Mo]	[Ti:Mo]	pH	Perlakuan gel	Ti:Mo	Struktur	% Tc
0,182	0,091	1 : 0,5	3,98	-	1 : 1	Amorf	58
0,182	0,182	1 : 1	3,97	-	1 : 2	Amorf	1
0,182	0,360	1 : 2	3,94	-	1 : 1	Amorf	56
0,109	0,328	1 : 3	3,96	-	1 : 2	Amorf	2
0,730	0,292	1 : 4	3,93	-	1 : 2	Amorf	28
0,182	0,091	1 : 0,5	3,92	Refluks	1 : 1	Amorf	28
0,182	0,182	1 : 1	3,94	Refluks	1 : 2	Amorf	4
0,182	0,360	1 : 2	3,95	Refluks	1 : 2	Amorf	8
0,109	0,328	1 : 3	3,96	Refluks	1 : 2	Amorf	8
0,730	0,292	1 : 4	3,95	Refluks	1 : 2	Amorf	2
0,182	0,360	1 : 2	3,94	Pemijaran dengan Fisher	1 : 1	Semi kristalin lemah	< 1
0,182	0,360	1 : 2	3,95	Refluks + pemijaran dengan Fisher	1 : 2	Semi kristalin lemah	< 1



Gambar 1. Defraktogram gel titanium molibdat [Ti : Mo = (1:0,5)] tanpa perlakuan

Keterangan:

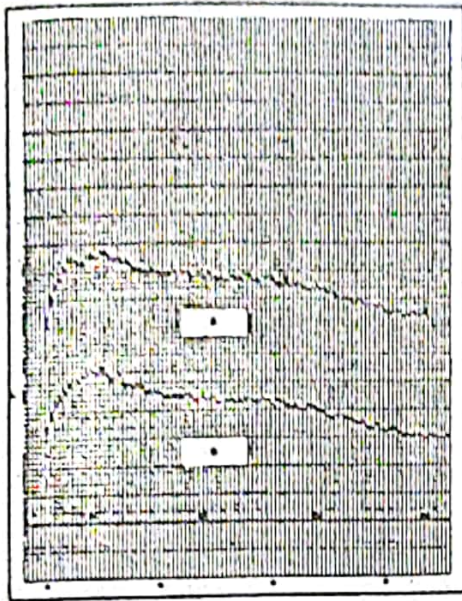
(A) sebelum iradiasi; (B) sesudah iradiasi



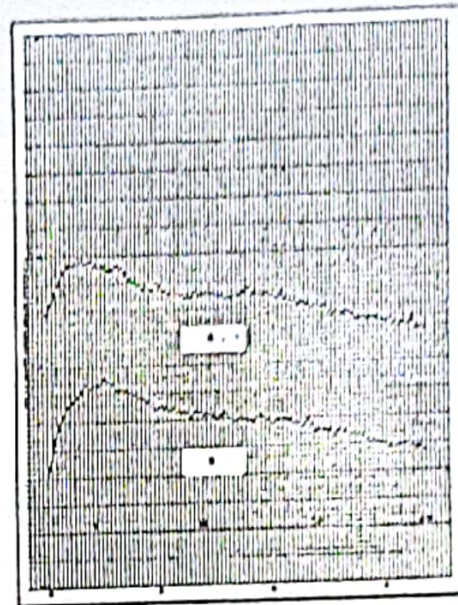
Gambar 2. Defraktogram gel titanium molibdat [Ti : Mo = (1:1)] tanpa perlakuan

Keterangan:

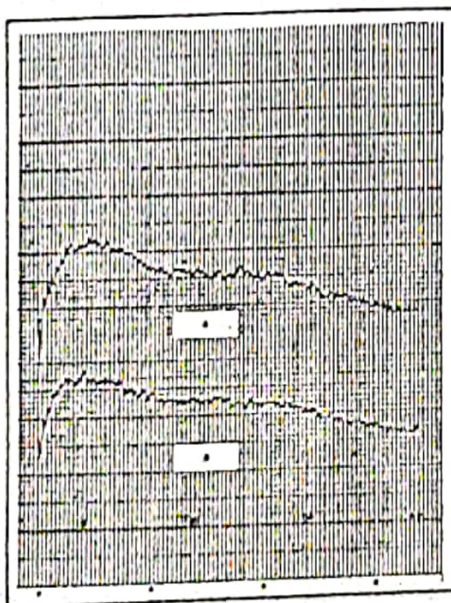
(A) sebelum iradiasi; (B) sesudah iradiasi



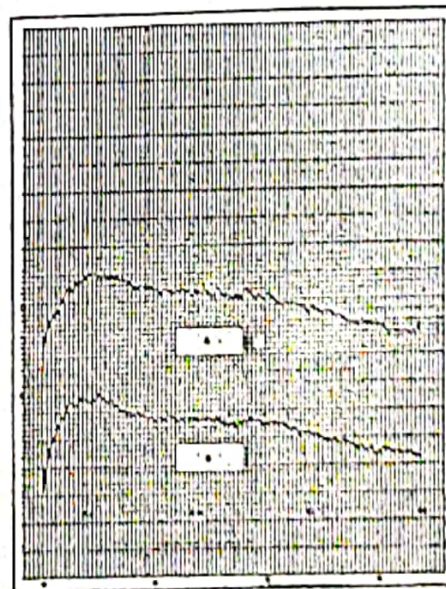
Gambar 3. Defraktogram gel titanium molibdat [Ti : Mo = (1:2)] tanpa perlakuan
Keterangan:
(A) sebelum iradiasi; (B) sesudah iradiasi



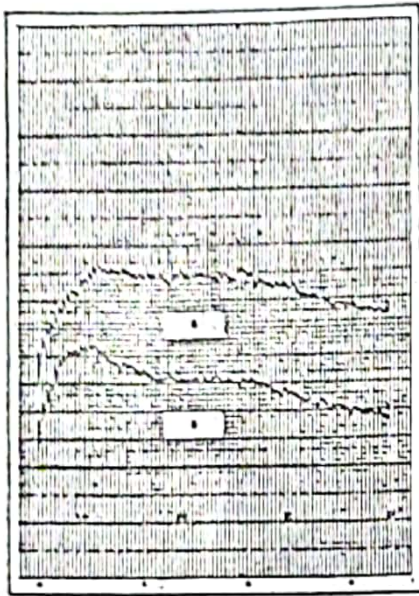
Gambar 5. Defraktogram gel titanium molibdat [Ti : Mo = (1:4)] tanpa perlakuan
Keterangan:
(A) sebelum iradiasi; (B) sesudah iradiasi



Gambar 4. Defraktogram gel titanium molibdat [Ti : Mo = (1:3)] tanpa perlakuan
Keterangan:
(A) sebelum iradiasi; (B) sesudah iradiasi



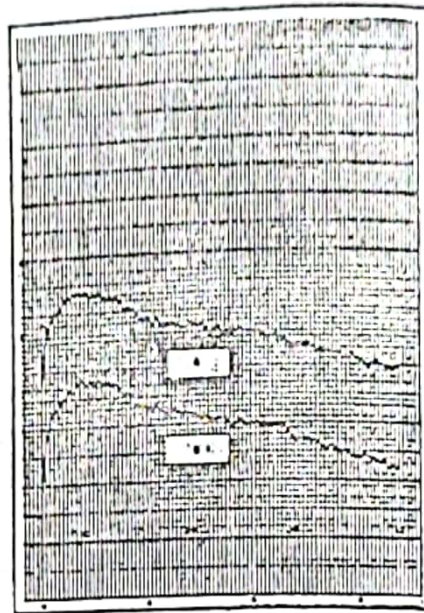
Gambar 6. Defraktogram gel titanium molibdat [Ti : Mo = (1:0,5)] hasil refluks
Keterangan:
(A) sebelum iradiasi; (B) sesudah iradiasi



Gambar 7. Defraktogram gel titanium molib-
dat [Ti : Mo = (1:1)] hasil refluks

Keterangan:

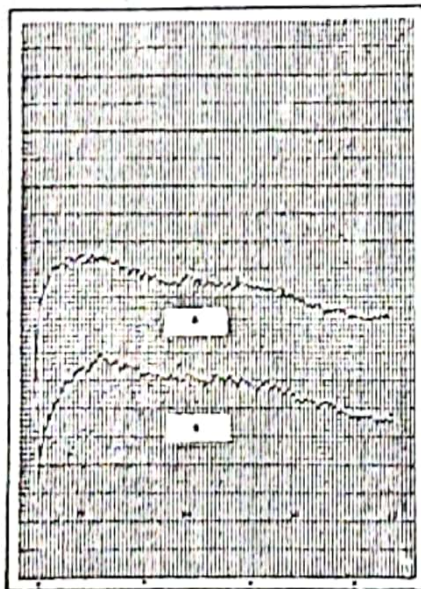
(A) sebelum iradiasi; (B) sesudah iradiasi



Gambar 9. Defraktogram gel titanium molib-
dat [Ti : Mo = (1:3)] hasil refluks

Keterangan:

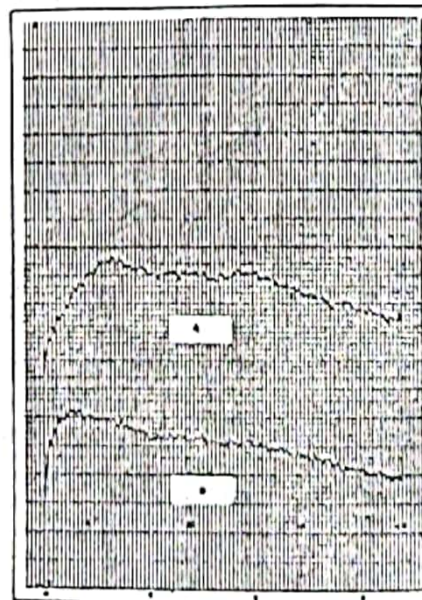
(A) sebelum iradiasi; (B) sesudah iradiasi



Gambar 8. Defraktogram gel titanium molib-
dat [Ti : Mo = (1:2)] hasil refluks

Keterangan:

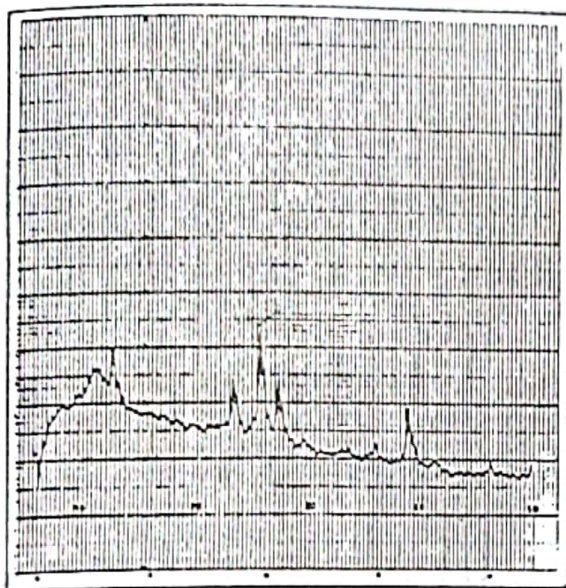
(A) sebelum iradiasi; (B) sesudah iradiasi



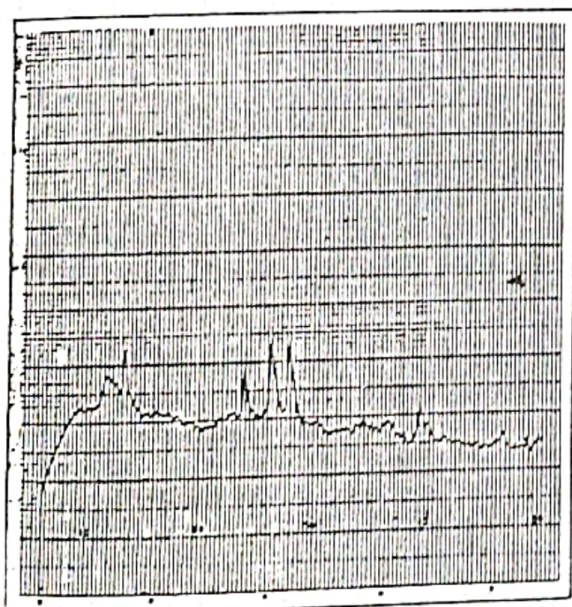
Gambar 10. Defraktogram gel titanium molib-
dat [Ti : Mo = (1:5)] hasil refluks

Keterangan:

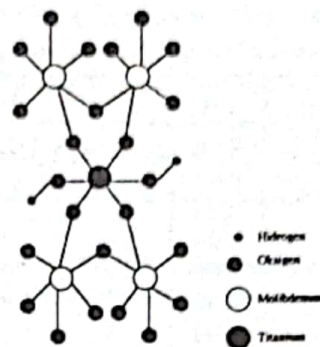
(A) sebelum iradiasi; (B) sesudah iradiasi



Gambar 11. Defraktogram gel titanium molibdat [Ti : Mo = (1:2)] hasil pemanasan dengan Fisher



Gambar 12. Defraktogram gel titanium molibdat [Ti : Mo = (1:2)] hasil refluks + pemanasan dengan Fisher



Gambar 13. Kedudukan atom pada senyawa titanium molibdat

Keterangan :
 Hidrogen
 Oksigen
 Molibdenum
 Titanium

ambil karena perbandingan unsur Ti:Mo = Zr:Mo = 1:2. Perbedaan dengan struktur gel titanium molibdat hanya pada panjang ikatan L - O, sebab panjang ikatan Ti - O lebih pendek dibanding panjang ikatan Zr - O. Dengan struktur seperti pada Gambar 13 memungkinkan untuk terjadinya ikatan Ti - O - Ti melalui reaksi dehidrasi - oksolasi.

Peningkatan kekompakan struktur gel titanium molibdat menyebabkan ^{99m}Tc sebagai ion TcO_4^- sulit untuk berdifusi keluar dari matriks gel. Rendemen ^{99m}Tc besar pada gel yang amorf, sedangkan rendemen ^{99m}Tc menjadi rendah pada gel yang semi kristalin. Disamping itu, karena ion TcO_4^- mudah berhidrasi dengan pelarut polar maka penurunan kadar air dan gugus hidroksi di dalam gel dapat menurunkan pula rendemen ^{99m}Tc . Ini dapat ditunjukkan bahwa gel dengan perbandingan unsur Ti:Mo = 1:2 mempunyai perbedaan berat sekitar 5% dibandingkan dengan Ti:Mo = 1:1. Mungkin sekali perbedaan kandungan air ini dapat mempengaruhi migrasi ion TcO_4^- .

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan karakterisasi dengan fluoresensi sinar-X dapat ditunjukkan bahwa gel titanium molibdat memiliki perbandingan unsur Ti:Mo maksimum = 1:2. Pengendapan gel pada pH 4 memberikan gel dengan struktur amorf dan struktur ini bertahan meskipun dilakukan refluks dalam larutan induknya.

Tabel 2. Hasil karakterisasi gel titanium molibdat dengan fluoresensi sinar-X

[Ti] : [Mo]	pH	Perlakuan gel	% Ti	% Mo	Ti:Mo	Ti:Mo
1 : 0,5	3,98	-	24,75	21,39	1 : 0,86	1:1
1 : 1	3,97	-	13,42	30,74	1 : 2,29	1:2
1 : 2	3,94	-	25,29	23,65	1 : 0,94	1:1
1 : 3	3,96	-	13,00	32,01	1 : 2,46	1:2
1 : 4	3,93	-	14,68	30,05	1 : 2,05	1:2
1 : 0,5	3,92	Refluks	23,49	20,57	1 : 0,88	1:1
1 : 1	3,94	Refluks	14,13	30,07	1 : 2,13	1:2
1 : 2	3,95	Refluks	14,56	30,21	1 : 2,07	1:2
1 : 3	3,96	Refluks	13,66	30,11	1 : 2,20	1:2
1 : 4	3,95	Refluks	13,41	32,19	1 : 2,40	1:2

Tabel 3. Karakterisasi gel titanium molibdat, amonium molibdat, molibdenum oksida dan titanium oksida dengan infra merah

Senyawa	v 3500-3000	v 1600	v 1400	v 1100	v 1000-400
Titanium molibdat Ti:Mo=1:1 (70°C)	lebar - kuat	tajam - sedang	sedang - kuat	tajam - kuat	lemah
Titanium molibdat Ti:Mo=1:1 (130°C)	lebar - lemah	tajam - sedang	tajam - kuat	sangat - lemah	sangat - lemah
Titanium molibdat Ti:Mo=1:2 (70°C)	lebar - kuat	tajam - kuat	sedang - kuat	sedang - kuat	sangat - lemah
Titanium molibdat Ti:Mo=1:2 (130°C)	lebar - lemah	tajam - sedang	tajam - kuat	lemah	sangat - lemah
Amonium molibdat	sedang - kuat	tajam - sedang	tajam - kuat	-	tajam - kuat
Molibdenum oksida	sedang - kuat	-	tajam - kuat	-	tajam - kuat
Titanium oksida	-	-	-	-	-

Dengan spektrometri infra merah dapat dilihat hilangnya ikatan logam - OH di dalam gel yang dipijarkan dengan Fisher, ini menunjukkan terbentuknya ikatan silang yang meningkatkan kekristalan gel. Penurunan rendemen ^{99m}Tc dapat dipengaruhi oleh meningkatnya derajat kristalinitas dan penurunan kandungan air di dalam gel.

Saran

Analisis termogravimetri perlu dilakukan untuk menunjukkan hubungan yang lebih jelas antara kandungan air di dalam gel dengan efisiensi pelepasan ^{99m}Tc . Perlu dilakukan pemodelan struktur kristal titanium molibdat dengan mekanika molekular untuk melihat besarnya rongga sebagai jalan keluarnya ion per-teknetat TcO_4^- .

DAFTAR PUSTAKA

1. Muhayatun, Zakiyah, Harjoto Dj., Pelepasan ^{99m}Tc dari padatan molibdat, Proceeding Seminar Pendayagunaan Reaktor Nuklir Untuk Kesejahteraan Masyarakat, Bandung, (1990).
2. Le Van So, Preparation of Gel Type Chromatographic ^{99m}Tc Generators Using Titanium-Molybdate and Zirconium-Molybdate Columns Containing (n, γ) ^{99}Mo , IAEA's Research Co-

- ordination Meeting on Development of ^{99m}Tc Generators Using Low-power Research Reactor, Bandung, (1987).
3. Qureshi, M., Rathore, H.S., Synthesis and ion-exchange properties of titanium molybdate, *J. Chem. Soc. (A)*, (1969) 2515-2518.
 4. Clearfield, A., *Inorganic Ion Exchange of Chemical Analysis*, CRC Press, Inc., Florida, (1982).
 5. Nakamoto, K., *Infrared Spectra of Inorganic and Coordination Compounds*, John Wiley & Sons, Inc., New York, (1963).
 6. Evans, J. V., et. all, Performance Criteria of Gel Generator, IAEA's Research Coordination Meeting on Development of ^{99m}Tc Generators Using Low-power Research Reactor, Bandung, (1987).
 7. Clearfield, A., Blessing, H., The Preparation and crystal structure of a basic zirconium molybdate and its relationship to Ion exchange Gels, *J. Inorg. Nucl. Chem. Vol. 34*, (1972) 2643-2663.

DISKUSI

M. Faruq:

1. Bagaimana anda menghitung rendemen ^{99m}Tc .
2. Fenomena apa yang terjadi apabila rendemen ^{99m}Tc yang diperoleh dengan parameter-parameter yang diamati. Rendemen ^{99m}Tc vs ratio (Ti:Mo)

Edy Giri Rahman Putra:

1. Rendemen ^{99m}Tc ditentukan dengan persamaan : Rendemen =
$$\frac{\left(\frac{140,6}{180,9}\right) - \left(\frac{140,6}{180,9}\right)'}{\left(\frac{140,6}{180,9}\right)} \times 100\%$$

$\left(\frac{140,6}{180,9}\right)$ = sebelum elusi; $\left(\frac{140,6}{180,9}\right)'$ = sesudah elusi; 140,6 dan 180,9 adalah cacahan energi γ dengan Penganalisis multi saluran.

2. Gel dengan ratio Ti:Mo = 1:1 memiliki berat total (Mo + Ti) dalam gel $\pm 45\%$.
Gel dengan ratio Ti:Mo = 1:2 memiliki berat total (Mo +Ti) dalam gel $\pm 49\%$. Ada perbedaan berat $\pm 4\%$. Perbedaan ini mungkin menyebabkan perbedaan rendemen ^{99m}Tc , karena selisih tersebut berarti memiliki selisih kandungan O dan H sebagai air hidrat atau gugus hidroksil.