

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



PELAPISAN MATERIAL BERBASIS ZIRKONIUM SEBAGAI PENYERAP MOLIBDENUM UNTUK PREPARASI GENERATOR $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$

Sriyono, Rohadi Awaludin, Herlina, Endang Sarmini, dan Indra Saptiama

Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka – BATAN
Kawasan PUSPIPTEK Gd. 11, Serpong, Tangerang Selatan 15320
Telp./Fax : 021 7563141, E-mail : sriyonoprr@batan.go.id

ABSTRAK

PELAPISAN MATERIAL BERBASIS ZIRKONIUM SEBAGAI PENYERAP MOLIBDENUM UNTUK PREPARASI GENERATOR $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Radioisotop Teknesium-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) merupakan anak luruh dari radionuklida molibdenum-99 (^{99}Mo) yang dikemas dalam kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dan banyak digunakan di bidang medis untuk diagnosa berbagai penyakit. Dalam penelitian ini, adsorbent ^{99}Mo yang digunakan adalah bahan penyerap polimer berbasis zirkonium yang dilapis dengan silikat. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan material penyerap berbasis zirkonium (MBZ) yang keras (tidak mudah pecah dalam air) dan mempunyai kapasitas serap yang tinggi terhadap Molibdenum sehingga bisa digunakan untuk preparasi generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Metoda yang digunakan adalah sintesa dan pelapisan MBZ, uji serap MBZ dan preparasi generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Pelapisan MBZ dilakukan dengan cara elusi menggunakan larutan campuran TEOS-methanol dengan perbandingan 20:80, 25:75 dan 30:70. Dari percobaan ini diperoleh tiga jenis MBZ yang tidak pecah dalam air dan mempunyai kapasitas serap masing-masing 162, 190 dan 183 mg Mo/g MBZ. Namun demikian, setelah butiran MBZ-Mo tersebut diisikan ke dalam kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dan dielusi dengan larutan NaCl 0,9% hanya diperoleh yield eluat $^{99\text{m}}\text{Tc}$ sebesar 60% dan ^{99}Mo breakthrough lebih dari 0,15 $\mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$ (kemurnian radionuklida kurang dari 99,95%), maka perlu kajian lebih lanjut untuk mendapatkan yield $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang tinggi (80%) dan menekan lolosan ^{99}Mo (^{99}Mo breakthrough) sehingga memenuhi persyaratan untuk digunakan di bidang kedokteran nuklir.

Kata Kunci : Material Berbasis Zirkonium (MBZ), Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$, Yield $^{99\text{m}}\text{Tc}$, Lolosan ^{99}Mo .

PENDAHULUAN

Teknesium-99m ($^{99\text{m}}\text{Tc}$) adalah radioisotop andalan untuk aplikasi di bidang kedokteran nuklir untuk keperluan diagnosa berbagai penyakit karena memiliki waktu paro pendek ($T_{1/2} = 6,0$ jam), pemancar gamma murni pada energi rendah ($E_{\gamma} = 140$ KeV), bebas pengembun dan mudah terikat dengan banyak senyawa radiofarmaka.^[1]

Radioisotop ini merupakan anak luruh dari radioisotop induk molibdenum-99 (^{99}Mo) yang diserapkan ke dalam sebuah kolom yang berisi bahan penyerap Molibdenum yang selanjutnya disebut generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang bisa menghasilkan $\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4$ dengan

mengelusi kolom generator tersebut menggunakan larutan salin (NaCl 0,9%) setiap hari selama seminggu.

Sebagian besar pasokan generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ di seluruh dunia pada saat ini disediakan sebagai generator kromatografi menggunakan kolom alumina yang diserapkan ^{99}Mo radioaktivitas jenis tinggi dalam bentuk Molibdat. Saat ini, sumber ^{99}Mo radioaktivitas jenis tinggi diperoleh dari reaksi fisi nuklir dengan uranium pengayaan tinggi ($^{235}\text{U} >93\%$). Namun demikian, ada penelitian baru yang menggantikan bahan penyerap alumina dengan bahan polimer anorganik berbasis zirconium dan ^{99}Mo yang diserapkan adalah aktivitas jenis rendah hasil dari

reaksi $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$ di dalam reaktor nuklir.^[2,3,4]

Pada tahun 1994-1999 berdasarkan kerjasama antara Kaken Co. Jepang dengan JAERI, telah berhasil disintesa suatu senyawa polimer anorganik dengan nama PZC (*poly zirconium compound*) yang mempunyai daya serap sebesar ~ 250 mg Mo/g PZC.^[5] Penemuan ini telah memberikan harapan baru untuk membuat generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dari ^{99}Mo hasil reaksi (n,γ) dengan harga yang jauh lebih murah dari yang ada pada saat ini (^{99}Mo dari hasil fisi). Pada tahun 2000-2003, dengan adanya kerjasama antara BATAN dengan Kaken Co. Jepang, telah dilakukan berbagai penelitian yang berkaitan dengan kemungkinan untuk pembuatan generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dari ^{99}Mo hasil reaksi (n,γ) dengan PZC.^[6,7]

Dalam penelitian ini dilakukan pembuatan bahan penyerap dari polimer anorganik berbasis zirkonium yang disebut Material Berbasis Zirkonium (MBZ) dengan lingkup kegiatan meliputi : sintesa dan pelapisan (*coating*) MBZ, uji penyerapan MBZ terhadap Mo, dan preparasi kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ serta analisa larutan perteknetat hasil elusi generator. Tujuannya adalah untuk mendapatkan bahan penyerap berbasis zirkonium yang tidak pecah dalam air dan mempunyai kapasitas serap terhadap molibdenum sebesar ± 200 mg Mo/g MBZ.

METODE

Bahan dan Peralatan

Bahan-bahan yang digunakan adalah serbuk Zirkonium klorida (ZrCl_4), larutan *Tetrahydrofurane* (THF), larutan *Isopropanol* (iPrOH), methanol, dan larutan NaOCl diperoleh dari *E. Merck*, aquabidest (H_2O) dan larutan *saline* (NaCl 0,9%) dari IPHA-Indonesia serta bahan untuk pelapisan (*coating*) MBZ adalah larutan *Tetraethylorthosilicate* (TEOS) dari *Aldrich* yang mana semua bahan kimia tersebut pro analisis. Sedangkan semua peralatan gelas yang digunakan dipasok dari *Pyrex*.

Peralatan yang digunakan adalah timbangan analitik ACCULAB[®] ALC – 110.4, *stirring hot plate HEALTH MAGNETIC STIRRER*, tungku pemanas (*furnace*) VULCAN A-130, untuk pengukuran aktivitas radioisotop ^{99}Mo dan $^{99\text{m}}\text{Tc}$ digunakan *dose calibrator* ATOMLAB 100 sedangkan untuk menentukan kemurnian radionuklida (^{99}Mo breakthrough) digunakan spektrometer gamma yang dilengkapi dengan *multi channel analyzer* dari ORTEC, detektor

Germanium kemurnian tinggi GAMMA-X[®] HPGe, DSPEC-LFTM digital γ -ray spectrometer, pendingin detektor X-COOLER[®] II dan UPS Model : NTP-1000 s/d 5000 L. Spektrometer gamma tersebut telah dikalibrasi dengan sumber standar ^{152}Eu , ^{133}Ba , ^{137}Cs dan ^{60}Co .

Cara Kerja

Sintesa dan Pelapisan MBZ

Material berbasis zirkonium (MBZ) dibuat dengan cara sintesa dari serbuk ZrCl_4 yang ditambahkan pelan-pelan ke dalam campuran dari larutan *Tetrahydrofurane* (THF) dan *isopropyl alcohol* (iPrOH) sambil dilakukan pengadukan dan pemanasan hingga temperatur 60°C menggunakan *stirring hot plate*. Kemudian ke dalam adonan tersebut ditambahkan sedikit demi sedikit larutan campuran dari *Tetrahydrofurane* dan Aquabidest sambil diaduk dan dipanaskan hingga temperatur $\pm 95^\circ\text{C}$ sampai adonan mengental menyerupai bubur halus. Apabila pengadukan dengan *magnetic stirrer* sudah tidak mampu maka dilakukan pengadukan secara manual menggunakan batang pengaduk sampai adonan benar-benar mengental seperti adonan kue yang disebut pre-MBZ.

Pre-MBZ dibiarkan selama ± 12 jam supaya mengering dengan sendirinya kemudian dipanaskan dalam tungku pemanas pada temperatur $\pm 150^\circ\text{C}$ selama 30 menit sehingga didapat MBZ yang berwarna coklat muda kemudian digerus pelan-pelan sehingga diperoleh MBZ dengan ukuran $300 - 450 \mu\text{m}$. Proses Pembuatan MBZ dengan cara sintesa seperti yang terlihat pada Gambar 1.

Material berbasis zirkonium (MBZ) hasil sintesa tersebut selanjutnya dilapisi dengan larutan *tetraethylorthosilicate* (TEOS) dengan cara elusi yaitu serbuk MBZ dimasukkan ke dalam kolom gelas kemudian dialiri dengan larutan TEOS seperti pada Gambar 2 untuk mendapatkan MBZ yang agak keras sehingga tidak rapuh dan tidak pecah dalam air.

Butiran MBZ dimasukkan ke dalam kolom gelas ukuran 12×200 mm yang bagian bawah dalam kolom diisi dengan serat kaca (*glass wool*) kemudian kolom dialiri (dielusi) dengan larutan campuran TEOS dan *methanol* dengan perbandingan 20:80. Setelah dielusi, butiran MBZ dikeluarkan dari kolom dan dipindahkan ke dalam cawan porselin kemudian dipanaskan dalam tungku pemanas pada temperatur 150°C selama 30 menit. Proses pelapisan MBZ dengan cara elusi tersebut

dilakukan sebanyak 3 kali dengan variasi campuran larutan TEOS dan *methanol* dengan perbandingan masing-masing 20:80, 25:75 dan 30:70. Dari ke-3 MBZ yang telah dilapis TEOS-*methanol* tersebut kemudian dilakukan uji kekerasan dengan direndam dalam botol vial yang berisi air dan dipanaskan pada temperatur $\pm 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit.

Uji Serap MBZ dan Preparasi Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$

Tiga jenis MBZ yang telah dilapis TEOS-*methanol* dengan cara elusi tersebut masing-masing ditimbang sebanyak $\pm 0,5\text{ g}$ kemudian dimasukkan ke dalam tiga buah vial 20 ml yang masing-masing vial telah diisi dengan 5 ml larutan radioisotop ^{99}Mo dengan aktivitas $\pm 65\text{ mCi}$, pH larutan = 7 dan kandungan Mo total 125 mg Mo. Selanjutnya ke-3 botol vial tersebut dipanaskan menggunakan penangas minyak (*oil bath*) pada temperatur $\pm 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam seperti pada Gambar 3 dan setiap 15 menit masing-masing vial digoyang pelan-pelan.

Setelah proses penyerapan, ke-3 vial diangkat dari penangas minyak (Gambar 5) kemudian dilakukan pemisahan antara cairan dan butiran MBZ yang mengandung molibdenum (MBZ-Mo) dengan cara dekantasi lalu masing-masing MBZ-Mo dalam vial dicuci dengan aquabidest dan didekantasi sampai cairan pencuci jernih dan cairannya ditampung dalam botol yang berbeda sebagai limbah. Masing-masing botol yang berisi cairan limbah tersebut dimasukkan ke dalam *shielding* timbal (wadah khusus yang terbuat dari timbal) dan secara bergantian diukur aktivitas ^{99}Mo -nya menggunakan *dose calibrator* ATOMLAB 100 pada dial 180. Hasil pengukuran aktivitas digunakan untuk menentukan kapasitas serap dari ketiga jenis MBZ terhadap Mo dan aktivitas ^{99}Mo yang terserap pada butiran MBZ.

Butiran MBZ-Mo dalam ke-3 vial selanjutnya dipindahkan ke dalam 3 buah kolom generator ukuran 8 x 50 mm kemudian kedua ujung dari masing-masing kolom ditutup dengan karet septa dan aluminium *seal*. Ketiga kolom tersebut dinamakan kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dan selanjutnya masing-masing kolom generator dielusi dengan 3 ml larutan NaCl 0.9% untuk mengeluarkan $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang telah terbentuk dan selanjutnya masing-masing kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ juga dielusi dengan 2,5 ml larutan NaOCl 0,5% sebagai oksidator, waktu akhir elusi dicatat sebagai titik awal masa pertumbuhan $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Ketiga kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ tersebut

dibiarkan selama ± 23 jam untuk masa pertumbuhan $^{99\text{m}}\text{Tc}$ sehingga tercapai kesetimbangan transien antara ^{99}Mo dan $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Sebelum dielusi dengan larutan salin (NaCl 0,9%), masing-masing kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ di hubungkan dengan kolom gelas 8 x 50 mm yang berisi alumina netral untuk menyerap Mo yang lolos dari kolom generator (Gambar 6) kemudian dielusi secara fraksinasi dengan 5 x 1 ml larutan NaCl 0,9% untuk mengeluarkan radioisotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang terbentuk. Eluat dari kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ selanjutnya diukur aktivitas $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dan ^{99}Mo *breakthrough* (lolosan ^{99}Mo) untuk menentukan kemurnian radionuklida.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Material berbasis zirkonium (MBZ) bisa dihasilkan dengan cara sintesa melalui reaksi kimia : $\text{ZrCl}_4 + \text{PrOH} \rightarrow \text{ZrCl}_x(\text{OPr})_y \cdot \text{PrOH} \rightarrow \text{MBZ}$, namun MBZ yang dihasilkan masih sangat rapuh dan mudah sekali terhidrolisa apabila dibiarkan di tempat terbuka dan mudah pecah dalam air sehingga apabila digunakan untuk proses penyerapan terhadap larutan molibdenum akan hancur menjadi lunak seperti gel. Maka perlu dilakukan pelapisan terhadap permukaan MBZ tersebut dengan larutan *Tetraethylorthosilicate* (TEOS) supaya butiran-butiran MBZ menjadi keras dan tidak mudah pecah dalam air.^[8]

Telah dilakukan pelapisan dengan cara merendam butiran-butiran MBZ dalam larutan TEOS namun MBZ terlapis silikat terlalu banyak dan menjadikan MBZ tersebut sangat keras, meskipun tidak pecah dalam air tetapi berpengaruh pada daya serap terhadap molibdenum menjadi sangat rendah yaitu 25 – 80 mg Mo/g MBZ.^[9] Dalam makalah ini dilaporkan cara pelapisan MBZ dengan cara elusi menggunakan larutan campuran antara TEOS dan *methanol* dengan perbandingan 20:80, 25:75 dan 30:70, selanjutnya dilakukan uji kekerasan dengan merendam butiran-butiran MBZ tersebut dalam air seperti yang terlihat pada Gambar 4 dan hasilnya ketiga jenis MBZ tersebut tidak hancur dalam air.

Setelah dilakukan uji kekerasan, MBZ selanjutnya dilakukan uji serap terhadap molibdenum dengan cara pemanasan seperti yang terlihat pada Gambar 3 untuk menentukan kapasitas serap MBZ terhadap Molibdenum. Hasil uji kapasitas serap bisa dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 5, dimana terjadi perubahan warna cairan yang awalnya jernih tak berwarna berubah menjadi kehijauan

(Gambar 5) dan terjadi perubahan pH cairan dari 7 (netral) turun menjadi 5 setelah dilakukan proses penyerapan Mo dengan pemanasan hingga temperatur $\pm 90^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam.^[10] Dengan perubahan ini menunjukkan bahwa proses penyerapan molibdenum ke dalam MBZ berjalan dengan baik. Secara kuantitatif jumlah molibdenum yang terserap ke dalam MBZ bisa dilihat pada Tabel 1.

Dari Tabel 1 bisa dilihat bahwa ketiga jenis MBZ (20:80, 25:75, dan 30:70) mempunyai kapasitas serap terhadap Mo masing-masing sebesar 162 mg, 190 mg, dan 183 mg Mo/g MBZ. Hasil dari ketiga uji penyerapan tersebut diperoleh kondisi pelapisan MBZ yang optimal yaitu yang terlapisi TEOS-*methanol* dengan perbandingan 25:75.

Ketiga jenis MBZ yang telah di-*loading* ke dalam kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dan dibiarkan selama ± 23 jam selanjutnya masing-masing kolom generator tersebut dirakit dengan kolom alumina seperti pada Gambar 6 dan secara fraksinasi ketiga kolom generator dielusi dengan 5×1 ml larutan NaCl 0,9% sehingga diperoleh profil elusi dari masing-masing generator seperti pada Gambar 8 dengan konsentrasi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ tertinggi terdapat pada fraksi 2 sebesar masing-masing 3,5 mCi/ml, 5,4 mCi/ml dan 5,5 mCi/ml.

Hasil elusi dari tiga Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ selanjutnya dianalisa terhadap *yield* $^{99\text{m}}\text{Tc}$ rata-rata dan kemurnian radionuklida. Hasil analisa tersebut diperoleh *yield* $^{99\text{m}}\text{Tc}$ rata-rata sampai hari ke-7 masing-masing sebesar 45,6%, 59,1% dan 49,5% seperti pada Gambar 7 terlampir.

Hasil pencacahan menggunakan *spectrometer gamma* dari eluat $^{99\text{m}}\text{Tc}$ tampak puncak energi dari radioisotop ^{99}Mo (366, 739 dan 778 KeV) yang merupakan pengotor radionuklida dari $^{99\text{m}}\text{Tc}$, sedangkan puncak energi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ pada 140 KeV tidak tampak karena pada saat pencacahan, eluat $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dimasukkan ke dalam suatu *container* (wadah) yang terbuat dari bahan timbal yang mampu menahan energi 140 KeV sedangkan energi diatas 140 KeV akan tetap tercacah dan muncul sebagai energi dari radionuklida pengotor.

Hasil cacahan tersebut selanjutnya dihitung keradioaktivitas dari radionuklida ^{99}Mo (radionuklida pengotor) dan diperoleh aktivitas ^{99}Mo masing-masing sebesar 17,2; 13,9; dan 10,6 $\mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$ sehingga kemurnian radionuklida $^{99\text{m}}\text{Tc}$ masing-masing 98,3%, 98,6% dan 98,9%. Hasil perhitungan radioaktivitas pengotor radionuklida tersebut masih lebih besar dari

0,15 $\mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$ seperti yang dipersyaratkan untuk keperluan medik.^[11,12]

Dengan adanya pengotor radionuklida yang masih $>0,15 \mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$, menunjukkan bahwa ^{99}Mo yang terserap dalam MBZ kurang kuat sehingga mudah lepas saat dielusi dengan larutan NaCl 0,9% sedangkan kolom alumina yang diharapkan mampu menyerap lolosan ^{99}Mo ternyata hanya sebagian ^{99}Mo saja yang bisa terserap dan masih ada yang terbawa dalam eluat $^{99\text{m}}\text{Tc}$ sebagai pengotor.

KESIMPULAN

Ketiga jenis material berbasis zirkonium (MBZ) yang dihasilkan tidak pecah dalam air dan mempunyai daya serap terhadap molibdenum masing-masing sebesar 162 mg, 190 mg, dan 183 mg Mo/g MBZ. Setelah ketiga MBZ tersebut di-*loading* ke dalam kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ kemudian dielusi dengan larutan *saline* (NaCl 0,9%) diperoleh *yield* $^{99\text{m}}\text{Tc}$ rata-rata masing-masing 45,6%, 59,06% dan 49,46%. Dalam penelitian ini telah berhasil diperoleh tiga jenis MBZ yang dilapis dengan larutan campuran TEOS-*methanol* dengan perbandingan 20:80, 25:75, dan 30:70. Dari ketiga MBZ tersebut, diperoleh MBZ yang dilapis dengan larutan campuran TEOS-*methanol* (25:75) adalah yang paling baik karena mempunyai kapasitas serap 190 mg Mo/g MBZ dan setelah di-*loading* ke dalam kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ diperoleh *yield* $^{99\text{m}}\text{Tc}$ rata-rata sebesar 59,06% yang lebih besar dari dua jenis MBZ lainnya (20:80 dan 30:70). Namun demikian, kemurnian radionuklida dalam eluat $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang diperoleh dari ketiga generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ kurang dari 99,985%, sehingga belum memenuhi persyaratan sebagai isotop medik. Untuk penelitian selanjutnya akan dilakukan penyerapan molibdenum sebesar setengah dari kapasitas serap MBZ dengan harapan Mo akan terserap dengan ikatan yang kuat sehingga tidak mudah lepas saat dielusi dengan larutan NaCl 0,9%. Hal ini memberikan konsekuensi bahwa aktivitas total ^{99}Mo yang di-*loading* akan lebih rendah kecuali bila memungkinkan proses iradiasi dengan fluks neutron yang lebih tinggi dari keadaan dalam percobaan ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Riset dan Teknologi yang telah mendanai kegiatan ini melalui Program Insentif Riset No. RT-2011-0599 dan semua pihak yang telah

membantu sehingga terlaksananya kegiatan penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] A. SEMYONOVA, D. STEPCHENKOV, G. DAVYDOV, A. SOKOLOV., Technetium-99m Generator of High Activity for Nuclear Medicine, Clinical Application with Cold Kits, State Scientific Center of Russian Federation – Institute of Physics and Power Engineering (SSC RF IPPE), Medical Radiological Research Center of Russian Academy of Medical Sciences (MRRC RAMS), Obninsk, 2011
- [2] HIROFUMI ARINO and HENRY HERMAN KRAMER, Fission Product ^{99m}Tc Generator, The International Journal of Applied Radiation and Isotopes, volume 26, Issue 5, May 1975, Pages 301 – 303.
- [3] KADARISMAN, dkk : Unjuk Kerja Generator Radioisotop Mo-99/ Tc-99m dengan Radioaktivitas Mo-99 600 dan 800 mCi Berbasis PZC, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” ISSN 1693 – 4393 Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia, Yogyakarta, 26 Januari 2010
- [4] PAULA REGINA CORAIN LOPES, DR. JOÃO ALBERTO OSSO JR. : Study of Different Adsorbent Materials for The Preparation of Generator Systems of ^{99}Mo - ^{99m}Tc and ^{188}W - ^{188}Re , 2009 International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2009 Rio de Janeiro, RJ, Brazil, September 27 to October 2, 2009, ISBN: 978-85-99141-03-8
- [5] M. TANASE, et al. : A ^{99m}Tc Generator using a New Inorganic Polymer Adsorbent for $(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$, Appl. Radiat. Isot. Vol. 48, No. 5, pp. 607-611, 1997.
- [6] ADANG H.G., dkk : Modifikasi “ ^{99}Mo Automatic Loading System” Generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ Berbasis PZC, JFN, Vol 2 No. 2, November 2008 ISSN 1978-8738
- [7] LE VAN SO : Preparation of PZC Based ^{99m}Tc Generator to be Available for Clinical Application, IAEA'S Coordinated Research Project, October 4-8, 2004, VIENNA, AUSTRIA
- [8] ROHADI AWALUDIN, SRIYONO, HERLINA, Sintesis dan Karakterisasi Penyerap Molibdenum Berkapasitas Tinggi untuk Generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$, Journal Radioisotop dan Radiofarmaka, Volume 13, No. 1, halaman 23-32, April 2010, ISSN 1410-8542.
- [9] SRIYONO, dkk : Pembuatan dan Pengujian Penyerap Polimer Anorganik Berbasis Zirkonium untuk Penyiapan Generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$, Prosiding Pertemuan Ilmiah Radioisotop, Radiofarmaka dan Siklotron, 2010.
- [10] ANONYMOUS : High Performance Mo Adsorbent PZC, Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI), 1997.
- [11] Website : www.nuclearonline.org/PI/Nyco_med_Mo99-Tc99m_Genera.pdf, Technetium Tc 99m Generator For the Production of Sodium Pertechnetate Tc 99m Injection, Medi-Physics, Inc., Amersham Healthcare 2636 South Clearbrook Drive Arlington Heights, Illinois 60005. (Tanggal 22 Maret 2012).
- [12] IBON S., dkk., Penentuan Yield Eluat dan Profil Elusi Generator Teknesium-99m, Prosiding Seminar Reaktor Nuklir dalam Penelitian Sains dan Teknologi Menuju Era Tinggal Landas, Bandung, 8-10 Oktober 1991, PPTN-BATAN

LAMPIRAN

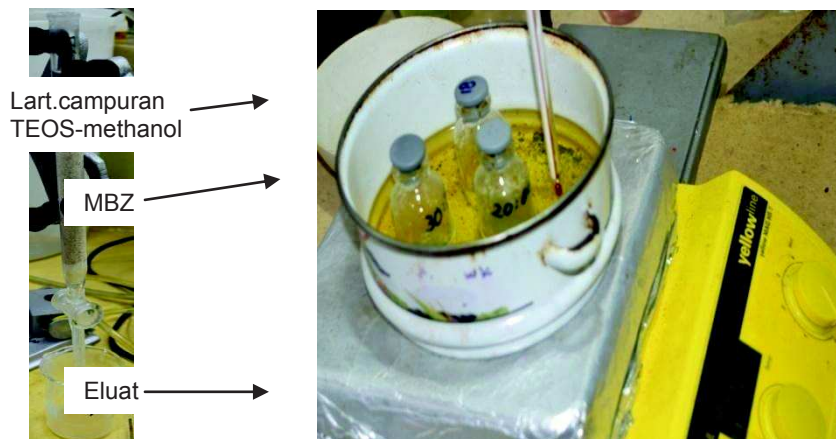
Tabel 1 : Hasil Uji Serap MBZ Hasil Sintesa Terhadap Mo

Parameter	MBZ dilapis dengan TEOS dengan Perbandingan		
	20:80	25:75	30:70
Volume larutan Mo(ml)	5	5	5
KandunganMo total (mg)	125	125	125
Aktivitas awal ⁹⁹ Mo ^{*)}(mCi)	62,7	61,6	62,1
Berat MBZ Hasil sintesa(g)	0,51	0,52	0,51
Aktivitas cairan limbah ^{*)}(mCi)	22	14,7	16,7
Aktivitas padatan ⁹⁹ Mo-MBZ ^{*)}(mCi)	40,7	46,9	45,4
Yield penyerapan.....(%)	64,9	76,1	73,1
Kapasitas serap MBZ(mg Mo/g MBZ)	162	190	183

^{*)}Aktivitas ⁹⁹Mo dihitung dengan waktu kalibrasi sama



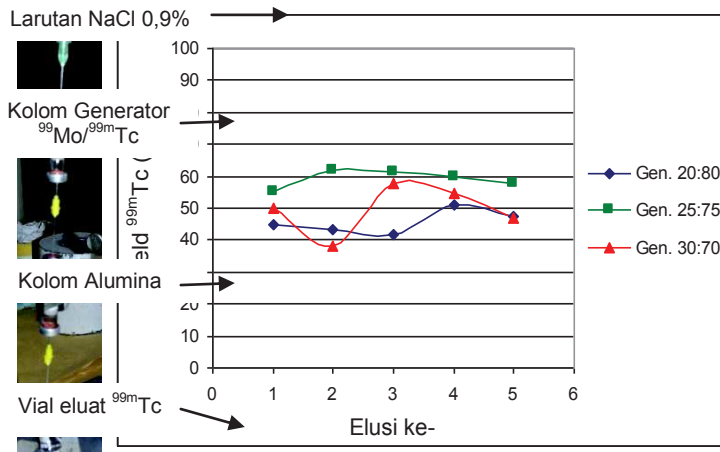
Gambar 1 : Sintesa Material Berbasis Zirkonium (MBZ)



Gambar 2 : Pelapisan MBZ menggunakan Gambar 3 : Proses penyerapan Mo pada larutan campuran TEOS dan Methanol MBZ dengan pemanasan ± 90 °C dengan cara elusi

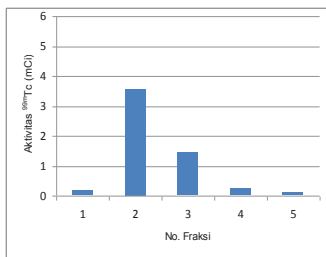


Gambar 4 : Proses uji kekerasan MBZ dalam air **Gambar 5** : Ketiga jenis MBZ setelah proses penyerapan Mo

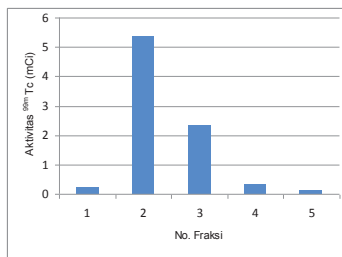


Gambar 6 : Kolom Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang dirakit dengan kolom alumina dan dielusi dengan larutan saline

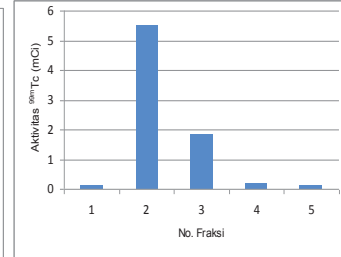
Gambar 7 : Yield $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang diperoleh dari 5 kali elusi ketiga Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$



Profil elusi MBZ 20:80

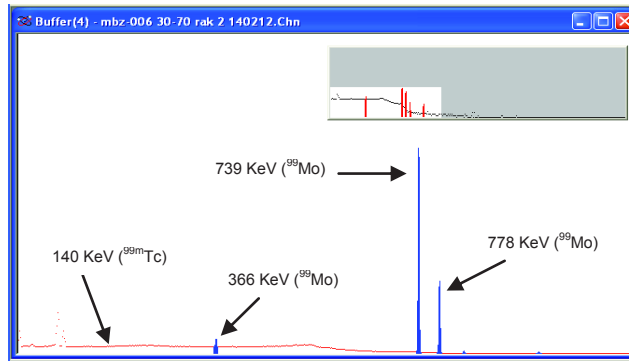


Profil elusi MBZ 25:75



Profil elusi MBZ 30:70

Gambar 8 : Profil elusi kolom Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$



Gambar 8 : Hasil pencacahan menggunakan *spectrometer gamma* terhadap eluat ^{99m}Tc dalam wadah timbal untuk menahan energi dari ^{99m}Tc pada 140 KeV

Tanya Jawab :

Nama penanya : Hartati

Pertanyaan :

Apakah ada kaitan penyakit tertentu dengan Mo sehingga keberadaannya perlu didiagnosa ?

Jawaban :

Mo-99 disini merupakan radioisotop induk dari Tc-99m yang digunakan dalam kedokteran nuklir adalah Tc-99m untuk mendiagnosa jenis-jenis penyakit yang ada dalam organ tubuh misalnya ginjal, tiroid dll.