



## PENGARUH WAKTU KONTAK *LOADING* $^{99}\text{Mo}(n,\gamma)$ DENGAN KOLOM ALUMINA ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) PADA GENERATOR $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$

### *Influence of Contact Time on Loading $^{99}\text{Mo}(n,\gamma)$ with Alumina Column in $^{99}\text{Mo} / ^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generator*

**Sulaiman\***, Yono Sugiharto, Gatot Setiawan, Chairuman, dan Adang H. G.

Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka (PTRR)-BATAN  
Jl. Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Gedung 11, Tangerang Selatan, Banten 15314, Indonesia

\* Untuk korespondensi: Tel/Fax (021)7563141, e-mail penulis: [sulaiman@batan.go.id](mailto:sulaiman@batan.go.id)

Received: May 07, 2019

Accepted: December 09, 2019

Online Published: December 31, 2019

DOI : 10.20961/jkpk.v4i3.29840

#### ABSTRAK

Alumina biasanya digunakan untuk penyerap  $^{99}\text{Mo}$  yang diperoleh dari hasil fisi  $^{235}\text{U}$ , karena penggunaan  $^{235}\text{U}$  mulai dibatasi, sebagai alternatif digunakan  $^{99}\text{Mo}$  yang diperoleh dari iradiasi  $\text{MoO}_3$  alam. Masalahnya  $^{99}\text{Mo}$  dihasilkan tidak bebas pengemban sebagaimana  $^{99}\text{Mo}$  hasil fisi  $^{235}\text{U}$ , karena tidak semua  $\text{MoO}_3$  teraktifasi menjadi  $^{99}\text{Mo}$ , maka perlu diketahui pengaruh waktu kontak saat *loading*  $^{99}\text{Mo}$  kedalam kolom alumina. Untuk mengetahui pengaruh waktu kontak, dilakukan eksperimen menggunakan  $^{99}\text{Mo}$  pH 4 dan kolom alumina asam, waktu kontak divariasi antara 1 sampai dengan 60 menit dengan selang waktu 15 menit, dan kolom dielusi dengan 2 macam eluen yaitu NaCl 0,9% dan MEK. Elusi generator  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  dilakukan 3 kali yaitu hari ke 1, 2, dan ke 3. Hasil penelitian menunjukkan kinerja alumina menyerap  $^{99}\text{Mo}$  dipengaruhi waktu. Waktu kontak optimal 15 menit untuk larutan NaCl 0,9% dan 45 menit untuk MEK. Jumlah  $^{99}\text{Mo}$  *breakthrough* ( $\mu\text{Ci}^{99}\text{Mo}/\text{mCi}^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) dari kolom alumina meningkat seiring dengan meningkatnya waktu elusi baik dengan menggunakan NaCl 0,9%, maupun MEK. Larutan  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  hasil penelitian ini belum memenuhi persyaratan standar. Penggunaan kolom tandem diperlukan untuk mencegah  $^{99}\text{Mo}$  *breakthrough* pada generator  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  untuk mendapatkan  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  yang sesuai dengan persyaratan.

**Kata Kunci:**  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $\text{MoO}_3$  alam, alumina asam, waktu kontak, salin 0.9%, MEK

#### ABSTRACT

Alumina is usually used for  $^{99}\text{Mo}$  absorbers obtained from  $^{235}\text{U}$  fission product because the use of  $^{235}\text{U}$  is getting limited, and as an alternative  $^{99}\text{Mo}$  obtained from natural  $\text{MoO}_3$  irradiation was used. The problem is that  $^{99}\text{Mo}$  produced was not carrier-free as  $^{99}\text{Mo}$  from  $^{235}\text{U}$  fission product because not all  $\text{MoO}_3$  is activated to  $^{99}\text{Mo}$ , then it is necessary to know the effect of contact time when loading  $^{99}\text{Mo}$  into the alumina column. To find out the effect of contact time, the experiment was carried out using  $^{99}\text{Mo}$  pH 4, acid alumina column, contact time was varied between 1 to 60 minutes with interval of 15 minutes, and the column was eluted using 2 kinds of eluent namely 0.9% NaCl and MEK. The elution of  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  generator is performed 3 times, days 1, 2 and 3. The results showed that the performance of alumina in absorbing  $^{99}\text{Mo}$  influenced by time. The optimal contact time is 15 minutes for 0.9% NaCl solution and 45 minutes for MEK. The amount of  $^{99}\text{Mo}$  breakthrough ( $\mu\text{Ci}^{99}\text{Mo}/\text{mCi}^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) from the alumina column increases with elution time both using 0.9% NaCl or MEK. The  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  eluate obtained from this study does not meet standard requirements. The use of a tandem column is needed to prevent  $^{99}\text{Mo}$  breakthrough on the  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  generator to get the  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  which meet standard requirement.

**Keywords:**  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , natural  $\text{MoO}_3$ , acid alumina, contact time, 0.9% NaCl, MEK

## PENDAHULUAN

Aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) lebih lazim disebut alumina, banyak digunakan sebagai penyerap [1,2]. Alumina sebagai bahan penyerap untuk radioisotop molybdenum-99 ( $^{99}\text{Mo}$ ) telah lama digunakan pada generator radioisotop  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  penghasil teknesium-99m ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) yang digunakan di kedokteran nuklir untuk keperluan diagnose [3,4]. Alumina sebagai bahan penyerap masih dikembangkan baik dalam ukuran partikel [1], maupun kemampuan serapan terhadap radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  yang berasal dari Mo alam, meskipun bahan alumina sebagai bahan penyerap radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  penggunaannya sudah banyak alternatif penggantinya misalnya Cerium(IV)  $\text{CeO}_2$  maupun bahan yang berbasis polimer seperti PZC, MBZ, PTC dan material berbasis nano partikel yang serapannya terhadap  $^{99}\text{Mo}$  lebih besar dibanding dengan alumina [3-9].

Pada saat ini sebagian pasokan  $^{99}\text{Mo}$  seluruh dunia diperoleh dari hasil fisi  $^{235}\text{U}$  dari pengkayaan tinggi (*High Enriched Uranium*, HEU) dan sebagian kecil menggunakan pengkayaan rendah (*Low Enriched Uranium*, LEU). Penggunaan LEU bertujuan untuk mengurangi potensi adanya isu proliferasi atau penggunaan energi nuklir yang mengancam keamanan secara global [3,10,11]. Di samping itu penggunaan  $^{235}\text{U}$  untuk mendapatkan  $^{99}\text{Mo}$  yang tidak dapat dihindari dari proses reaksi fisi tersebut tidak hanya menghasilkan radioisotope  $^{99}\text{Mo}$  tetapi juga radioisotope lain sebagai limbah yang memiliki waktu paro dari yang pendek sampai yang lama seperti  $^{90}\text{Sr}$  dengan waktu paro 28 tahun, hal ini merupakan masalah serius dalam penanganan limbah dari hasil reaksi

fisi, karena demikian maka penggunaan bahan  $^{235}\text{U}$  mulai dibatasi.

Penggunaan  $\text{MoO}_3$  alam mulai digiatkan dari berbagai alternatif untuk memperoleh radioisotop  $^{99}\text{Mo}$ , selain menggunakan bahan  $^{235}\text{U}$ , antara lain melalui reaksi ( $^{98}\text{Mo}+n-^{99}\text{Mo}+\gamma$ ) di reactor, ( $^{100}\text{Mo}+\gamma-^{99}\text{Mo}+n$ ), ( $^{100}\text{Mo}+p-^{99}\text{Mo}+p+n$ ) di akselerator [12]. Radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  yang diperoleh dari  $\text{MoO}_3$  alam diiradiasi di reaktor nuklir atau siklotron [13],  $^{99}\text{Mo}$  yang dihasilkan tidak bebas pengemban, karena tidak semua  $\text{MoO}_3$  yang diiradiasi teraktivasi menjadi  $^{99}\text{Mo}$  karena kandungan  $^{98}\text{Mo}$  dalam alam hanya 24,19% [3].

Material  $\text{MoO}_3$  alam yang telah diaktivasi yang menjadi  $^{99}\text{Mo}$  tetap tercampur dengan Mo yang tidak aktif, keadaan ini yang merupakan masalah karena sifat kimianya masih sama. Penggunaan alumina untuk penyerapan  $^{99}\text{Mo}$  juga menyerap Mo non radioaktif (yang tidak teraktivasi saat diiradiasi), karena itu membutuhkan bahan alumina yang lebih banyak. Dengan adanya Mo non aktif dalam larutan  $^{99}\text{Mo}$  hasil aktivasi yang juga ikut bersaing terserap oleh alumina agar alumina dapat digunakan sebagai bahan penyerap  $^{99}\text{Mo}$  dari hasil aktivasi Mo, maka perlu diketahui kemampuan serap optimalnya. Dalam rangka mendapatkan serapan optimal dari alumina, maka perlu diketahui diantaranya pengaruh waktu kontak larutan  $^{99}\text{Mo}$  dengan alumina pada proses pembuatan generator  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ , dimana saat ini diketahui kapasitas penyerap alumina untuk anion  $\text{MoO}_4^{2-}$  relatif rendah sekitar 10mgMo/g alumina.

Rumus efisiensi penyerapan [6]:

$$\text{Efisiensi}(\%) = \frac{\text{Aktivitas } ^{99}\text{Mo} \text{ terserap}}{\text{Aktivitas } ^{99}\text{Mo} \text{ awal}} \times 100 \quad (1)$$

Perhitungan menggunakan rumus [6]:

$$\text{Yield elusi}(\%) = \frac{\text{Aktivitas } ^{99m}\text{Tc terserap}}{\text{Aktivitas } ^{99m}\text{Tc (teoritis)}} \quad (2)$$

$$^{99}\text{Mo lolos}(\%) = \frac{\text{Aktivitas } ^{99}\text{Mo (pengukuran)}}{\text{Aktivitas } ^{99}\text{Mo (teoritis dikolom)}} \quad (3)$$

Pada makalah ini dilaporkan hasil penelitian pengaruh waktu kontak  $^{99}\text{Mo}$  dengan kolom alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya dengan menggunakan parameter yang telah diperoleh yaitu material alumina memberikan hasil penyerapan terbaik pada penggunaan alumina asam dengan larutan  $^{99}\text{Mo}$  pada pH 4. Pada penelitian ini digunakan larutan  $^{99}\text{Mo}$  pH 4 dan alumina asam [14], dan waktu kontak divariasikan (1, 15, 30, 45, dan 60) menit, dengan bahan elusi menggunakan 2 variasi eluen yaitu NaCl 0,9% dan Metil etil keton (MEK). Pada penelitian sebelumnya belum ditinjau dari waktu kontak sebagai variable berpengaruh karena itu diharapkan dengan diketahuinya pengaruh waktu kontak pada proses penyerapan  $^{99}\text{Mo}$  oleh alumina, penggunaan alumina dapat lebih dioptimalkan fungsi alumina sebagai bahan penyerap  $^{99}\text{Mo}$  untuk pembuatan generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ .

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh waktu kontak  $^{99}\text{Mo}$  dengan kolom alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) setelah *loading* pada generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ , diharapkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini dapat dilakukan peningkatan kapasitas serap yang optimal dari alumina melebihi dari kapasitas yang ada saat ini yang dinilai relatif rendah dan tidak efisien yaitu sekitar 10mg Mo/g alumina.

## METODE PENELITIAN

### 1. Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) asam, (*Merck*), NaOH, HCl, Aquabidest, NaCl 0,9% steril (IPHA), Metil EtilKeton (MEK, *Merck*),  $^{99}\text{Mo}$  didapat dari hasil iradiasi di reaktor serba-guna G. A. Siwabessy dengan menggunakan bahan sasaran  $\text{MoO}_3$  alam (*E. Merck*), kertas indicator pH, *syringes* 10 mL (*terumo*), *glass-wool*.

Alat yang digunakan adalah Timbangan analitik (*Sartorius BSA323S-CW*), alat pengukur aktivitas radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  dan  $^{99m}\text{Tc}$  atau *Dose calibrator (Atomlab 100 Plus)*, pipet mikro (*eppendorf*) dan peralatan gelas dari *pyrex*.

### 2. Penyerapan $^{99}\text{Mo}$ ke kolom

Alumina (asam) ditimbang masing masing sebanyak 5 gr [14], dimasukkan ke dalam kolom (10 kolom) untuk variasi waktu kontak dengan larutan pengelusi (eluen) NaCl 0,9%, dan 10 kolom untuk variasi waktu kontak dengan larutan pengelusi MEK, dibuat dengan cara duplo. Sebanyak 288  $\mu\text{L}$  (75 mg Mo) dalam larutan  $^{99}\text{Mo}$  ( $\text{Na}_2\text{MoO}_4$ ) pH 4 dimasukkan kedalam masing masing kolom alumina asam [14], dilakukan variasi waktu kontak mulai dari 1, 15, 30, 45, dan 60 menit, lalu dicuci atau dielusi dengan 10 mL NaCl 0,9% atau MEK, akhir dari pencucian dicatat sebagai  $t_0$  untuk  $^{99m}\text{Tc}$ . Larutan pencucian diukur aktivitas  $^{99}\text{Mo}$  yang lolos.

### 3. Elusi $^{99m}\text{Tc}$ dari kolom

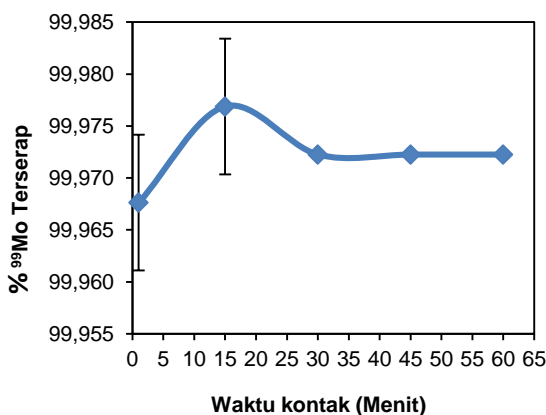
Kolom dielusi dengan 10 mL NaCl 0,9% (untuk variasi *eluent* NaCl 0,9%) dan dengan MEK (untuk variasi *eluent* MEK) ditampung dalam *vial* 10 mL. Larutan hasil

elusi diukur aktivitas <sup>99m</sup>Tc pada *dial* radio-nuklida <sup>99m</sup>Tc, yaitu 33,6 dan <sup>99</sup>Mo yang lolos pada *dial* 180 menggunakan alat *Dose calibrator (Atomlab 100 Plus)*. Pengukuran aktivitas <sup>99</sup>Mo yang lolos dengan alat *Dose calibrator* dilakukan menggunakan wadah khusus (*shielding/container*). Selanjutnya kolom dielusi setiap hari selama 2 hari berikutnya dan diteruskan setelah 3 hari berikutnya selama 1 hari.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

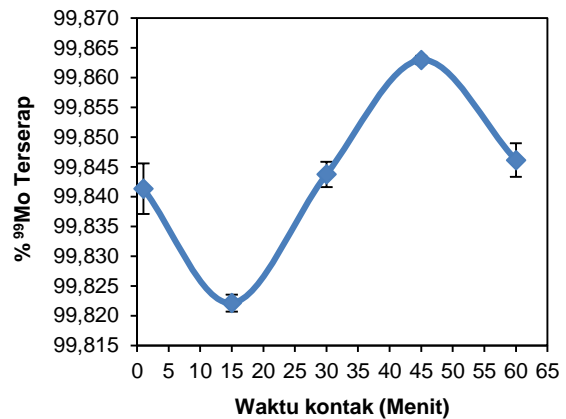
### 1. Hasil penyerapan <sup>99</sup>Mo ke kolom alumina

Hasil penyerapan <sup>99</sup>Mo pada kolom alumina dengan variasi waktu kontak 1, 15, 30, 45, dan 60 menit dengan larutan pencuci (eluen) NaCl 0,9% ditampilkan pada Gambar 1. Dari Gambar 1 terlihat hasil serapan (*adsorbat*) <sup>99</sup>Mo pada alumina, dimana hasil serapan diantara 99,965% - 99,980%. Waktu kontak 1 dan 15 menit serapan alumina terhadap <sup>99</sup>Mo berfluktuasi atau tidak konstan dilihat dari deviasinya, namun dari hasil rata-rata penyerapan optimal terlihat pada waktu kontak 15 menit, sementara waktu kontak 30, 45, dan 60 menit terlihat serapan alumina konstan.



Gambar 1. Grafik pengaruh waktu kontak terhadap hasil penyerapan <sup>99</sup>Mo pada Alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) menggunakan NaCl 0,9%

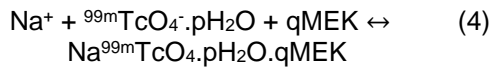
Hasil penyerapan <sup>99</sup>Mo pada alumina dengan variasi waktu kontak 1, 15, 30, 45, dan 60 menit dengan larutan pencuci MEK ditampilkan pada Gambar 2. Hasil serapan diantara 99,820%-99,865%. Tiap waktu kontak terlihat serapan alumina terhadap <sup>99</sup>Mo berfluktuasi atau tidak konstan.



Gambar 2. Grafik pengaruh waktu kontak hasil penyerapan <sup>99</sup>Mo pada alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) menggunakan MEK

Dari kedua larutan pengelusi yang digunakan pada penelitian ini untuk keseluruhan variasi waktu kontak terlihat daya serap alumina terhadap <sup>99</sup>Mo yang lebih tinggi adalah pada penggunaan larutan NaCl 0,9%. Jadi penggunaan larutan NaCl 0,9% lebih baik dari pada penggunaan larutan MEK. Penggunaan MEK terdapat kelemahan yaitu penggunaan <sup>99m</sup>Tc hasil elusi dengan MEK lebih lanjut harus dilakukan proses menghilangkan MEK dari <sup>99m</sup>Tc dengan metode penguapan atau melewati dalam kolom kembali dan seterusnya dilarutkan atau dielusi dengan NaCl 0,9%. Penggunaan larutan MEK biasanya digunakan untuk metode ekstraksi pelarut [15]. Karena larutan MEK dengan senyawa <sup>99m</sup>Tc dalam campuran <sup>99</sup>Mo dapat membentuk senyawa kompleks sementara <sup>99</sup>Mo tidak karena beda

kepolarannya sehingga kedua isotop tersebut dapat dipisahkan karena masing-masing isotop berada di fase berbeda. Ekstraksi tersebut mengikuti persamaan (4) [16].



## 2. Hasil elusi ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$ dari kolom alumina

Pada penelitian ini elusi dilakukan sebanyak 3 kali yaitu hari ke 1, hari ke 2, dan hari ke 6, hal ini dimaksudkan untuk melihat karakter hasil elusi selanjutnya setelah tidak dilakukan elusi selama 3 hari. Hasil elusi  ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$  dari kolom alumina ditampilkan pada Tabel 1. Ada beberapa kemungkinan yang dapat terjadi pada waktu *loading*  ${}^{99\text{m}}\text{Mo}$  dan pada waktu elusi untuk penentuan waktu  $t_0$  yaitu keberadaan  ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$  dalam kolom alumina diasumsikan sama dengan nol, yang dapat mempengaruhi perhitungan hasil yang diperoleh. Pada *loading*  ${}^{99\text{m}}\text{Mo}$  ada kemungkinan salah volume seperti berlebih atau berkurang dari volume yang ditentukan, dan saat elusi ada kemungkinan  ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$  tertahan di kolom.

Dari Tabel 1 terlihat % *Yield*  ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$  diatas 92%. Elusi dihari ke 6 setelah tidak dilakukan elusi selama 3 hari terlihat tidak ada peningkatan % *Yield*  ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$  bahkan cenderung berkurang. Hasil %  ${}^{99\text{m}}\text{Mo-breakthrough}$  dari kolom alumina dengan NaCl 0,9% yang terendah 0,01 % dan yang tertinggi 0,63%, terlihat  ${}^{99\text{m}}\text{Mo}$  semakin banyak lolos seiring waktu seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2 elusi dihari ke 6 lolosan  ${}^{99\text{m}}\text{Mo}$  semakin besar. Persentase  ${}^{99\text{m}}\text{Mo breakthrough}$  di sini adalah aktivitas  ${}^{99\text{m}}\text{Mo}$  yang lolos dibandingkan dengan seluruh aktivitas  ${}^{99\text{m}}\text{Mo}$  yang ada di kolom secara teoritis.

Tabel 1. Hasil elusi  ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$  dari kolom alumina dengan NaCl 0,9%

Generator Variasi Waktu Kontak (menit)	% <i>Yield</i> ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$		
	elusi hari ke 1	elusi hari ke 2	elusi hari ke 6
1	96,65±0,38	96,78±0,31	92,42±0,79
15	98,59±1,80	97,79±1,15	92,59±0,40
30	96,65±2,47	97,03±3,09	92,86±0,23
45	93,71±2,28	93,67±0,51	87,55±0,02
60	89,76±1,43	89,84±3,77	88,69±3,75

Tabel 2. Hasil %  ${}^{99\text{m}}\text{Mo breakthrough}$  dari kolom alumina dengan NaCl 0,9%

Generator Variasi Waktu Kontak (menit)	% ${}^{99\text{m}}\text{Mo breakthrough}$ (mCi ${}^{99\text{m}}\text{Mo}/\text{mCi}$ ${}^{99\text{m}}\text{Mo}$ teoritis dalam kolom)		
	elusi hari ke 1	elusi hari ke 2	elusi hari ke 6
1	0,02±0,01	0,11±0,03	0,63±0,12
15	0,01±0,00	0,05±0,05	0,61±0,03
30	0,01±0,00	0,07±0,08	0,55±0,00
45	0,01±0,00	0,03±0,02	0,59±0,00
60	0,01±0,00	0,06±0,06	0,54±0,00

Hasil elusi  ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$  dari kolom alumina dengan MEK ditampilkan pada Tabel 3. Pada Tabel 3 terlihat % *Yield*  ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$  yang diperoleh sangat bervariasi dimana hasil terendah 36,34% dan tertinggi 99,62% yang terjadi pada elusi hari ke 1.

Hasil elusi menggunakan NaCl 0,9% terlihat kecenderungannya lebih stabil dibanding hasil elusi menggunakan MEK, elusi dengan MEK hasilnya fluktuatif dan ada peningkatan hasil elusi saat tidak dilakukan elusi selama 3 hari. Hasil %  ${}^{99\text{m}}\text{Mo breakthrough}$  dari kolom alumina dengan MEK terlihat relatif lebih stabil dan lolosan juga lebih sedikit dibanding elusi dengan NaCl 0,9% seperti diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil elusi <sup>99m</sup>Tc dari kolom alumina dengan MEK

Generator Variasi Waktu Kontak (menit)	% Yield <sup>99m</sup> Tc		
	elusi hari ke 1	elusi hari ke 2	elusi hari ke 6
1	85,58±10,10	67,02±31,26	36,34±20,44
15	99,32± 0,99	93,79± 7,21	97,85± 4,40
30	96,50± 4,96	97,64±17,23	99,22± 6,67
45	95,92±25,64	97,58±18,27	92,36±20,01
60	99,62± 0,49	99,57± 3,95	99,35± 5,00

Tabel 4. Hasil % <sup>99</sup>Mo breakthrough dari kolom alumina dengan MEK

Generator Variasi Waktu Kontak (menit)	% <sup>99</sup> Mo breakthrough (mCi <sup>99</sup> Mo/mCi <sup>99</sup> Mo teoritis dalam kolom)		
	elusi hari ke 1	elusi hari ke 2	elusi hari ke 6
1	0,02 ±0,00	0,02 ±0,00	0,01 ±0,00
15	0,02 ±0,01	0,02 ±0,00	0,02 ±0,00
30	0,02 ±0,00	0,03 ±0,01	0,02 ±0,01
45	0,02 ±0,00	0,03 ±0,00	0,02 ±0,00
60	0,05 ±0,00	0,02 ±0,00	0,02 ±0,00

Pada Tabel 5 dan 6 ditampilkan hasil <sup>99</sup>Mo breakthrough dari kolom alumina dengan NaCl 0,9% dan MEK berdasarkan perbandingan aktivitas <sup>99</sup>Mo yang lolos dengan aktivitas <sup>99m</sup>Tc yang diperoleh (μCi Mo/mCi <sup>99m</sup>Tc), dimana persyaratan untuk larutan <sup>99m</sup>Tc yang diperbolehkan adalah 0,15 μCi Mo/mCi <sup>99m</sup>Tc [16]. Dari Tabel 5 dan 6 terlihat hanya pada elusi hari pertama dengan NaCl 0,9% untuk kolom dengan variasi waktu kontak 15, 30, 45, dan 60 menit yang memenuhi persyaratan namun pada elusi hari berikutnya lolos <sup>99</sup>Mo sudah tinggi tetapi lebih baik dari penelitian sebelumnya (yaitu 5 μCi Mo/mCi <sup>99m</sup>Tc) kecuali hari ke 6 lebih tinggi dari penelitian

sebelumnya [14]. Elusi dengan NaCl 0,9% terlihat kecenderungan lolos <sup>99</sup>Mo semakin banyak seiring dengan waktu elusi dan dengan menggunakan MEK terlihat hasil juga bervariasi atau fluktuatif dan belum memenuhi syarat untuk larutan <sup>99m</sup>Tc.

Tabel 5. Hasil <sup>99</sup>Mo breakthrough dari kolom alumina dengan NaCl 0,9 %

Generator Variasi Waktu Kontak (menit)	<sup>99</sup> Mo breakthrough (μCi Mo/mCi <sup>99m</sup> Tc)		
	elusi hari ke 1	elusi hari ke 2	elusi hari ke 6
1	0,21±0,10	1,33±0,37	7,08±1,26
15	0,14±0,00	0,62±0,63	6,81±0,35
30	0,14±0,00	0,81±0,90	6,08±0,02
45	0,14±0,00	0,36±0,26	6,92±0,00
60	0,15±0,00	0,74±0,77	6,34±0,26

Tabel 6. Hasil <sup>99</sup>Mo breakthrough dari kolom alumina dengan MEK

Generator Variasi Waktu Kontak (menit)	<sup>99</sup> Mo breakthrough (μCi Mo/mCi <sup>99m</sup> Tc)		
	elusi hari ke 1	elusi hari ke 2	elusi hari ke 6
1	0,29±0,02	0,43±0,20	0,19±0,00
15	0,22±0,11	0,18±0,01	0,19±0,05
30	0,22±0,01	0,30±0,01	0,17±0,04
45	0,31±0,08	0,35±0,07	0,21±0,05
60	0,57±0,00	0,26±0,01	0,17±0,02

Kinerja alumina untuk menyerap <sup>99</sup>Mo dipengaruhi oleh lama waktu kontak. Waktu kontak optimal untuk larutan pengelusi NaCl 0,9% adalah 15 menit dan setelah itu daya serapnya menurun dan konstan, dengan larutan pengelusi MEK optimal pada waktu kontak 45 menit. Menggunakan alumina asam larutan elusi yang lebih baik untuk digunakan adalah larutan NaCl 0,9% dibanding dengan MEK. Jumlah <sup>99</sup>Mo breakthrough (mCi <sup>99</sup>Mo/mCi <sup>99</sup>Mo teoritis) dari kolom alumina dengan larutan elusi NaCl 0,9% meningkat seiring

waktu elusi, sementara dengan larutan elusi MEK lebih konstan.

Jumlah  $^{99}\text{Mo}$  breakthrough ( $\mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) dari kolom alumina dengan larutan elusi NaCl 0,9% juga meningkat seiring waktu elusi, dengan larutan elusi MEK bervariasi, namun keduanya belum memenuhi persyaratan sebagai larutan  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  yang diperbolehkan. Idealnya sistem generator  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  berbasis kolom kromatografi bahan yang digunakan memiliki kapasitas serap yang besar, menghasilkan % Yield  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  yang besar dan  $^{99}\text{Mo}$  breakthrough kurang dari 0,15  $\mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$ . Dengan demikian penggunaan kolom tandem diperlukan sebagai alternatif untuk mencegah  $^{99}\text{Mo}$  breakthrough agar diperoleh  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  yang memenuhi syarat [17]. Kolom tandem adalah kolom tambahan biasanya menggunakan alumina asam atau basa, kolom ini berfungsi untuk menahan atau menyerap lolosan  $^{99}\text{Mo}$  ( $^{99}\text{Mo}$  breakthrough) saat dilakukan elusi sehingga diperoleh hasil  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  dengan  $^{99}\text{Mo}$  breakthrough yang memenuhi syarat.

## KESIMPULAN

Kinerja alumina dalam penyerapan  $^{99}\text{Mo}$  dipengaruhi waktu. Waktu kontak optimal 15 menit untuk larutan NaCl 0,9% dan 45 menit untuk MEK. Jumlah  $^{99}\text{Mo}$  breakthrough ( $\mu\text{Ci } ^{99}\text{Mo}/\text{mCi } ^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) dari kolom alumina meningkat seiring waktu elusi baik menggunakan eluen NaCl 0,9%, maupun MEK. Larutan  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  yang dihasilkan dari penelitian ini belum memenuhi syarat, dan disarankan menggunakan kolom tandem untuk mencegah  $^{99}\text{Mo}$  breakthrough pada generator  $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$  untuk mendapatkan  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  yang memenuhi syarat.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dr. Rohadi Awaludin selaku Kepala PTRR yang telah memfasilitasi penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Drs. Agus Ariyanto, M.Farm. dan Dra. Widyastuti, M.Farm. yang telah memberikan saran dan masukan dalam penelitian ini, serta staf PTRR-BATAN yang terlibat dalam penelitian ini.

## DAFTAR RUJUKAN

- [1] F. Mirjalili, L. Chuah, & H. Mohamad, "Effect of stirring time on synthesis of ultra fine  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  powder by a simple sol-gel method," *J. Ceram. Process. Res.*, vol. 12, no. 6, pp. 738–741, 2011.
- [2] Y. R. Uhm, Y. H. Oh, G.-H. Lee, M. K. Lee, & C. K. Rhee, "High functional adsorbent alumina nanofibers prepared by a hydrolysis of Al nanopowder.," *Diffus. Defect Data--Solid State Data, Pt. B Solid State Phenom.*, vol. 119, no. Nanocomposites and Nanoporous Materials, pp. 171–174, 2007.
- [3] I. Saptiama & E. Sarmini, "Aktivasi Neutron dari Molibdinum Alam untuk Memperoleh Teknesium-99m ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ )," *Urania*, vol. 22, no. No.2, pp. 121–132, 2016.
- [4] I. Saptiama, H. Herlina, E. Sarmini, S. Sriyono, H. Lubis, H. Setiawan, Marlina, & A. Mutalib, "Optimasi Penyerapan Molib-denum-99 pada Material Berbasis Zirkonium (MBZ)," in *Proseding Seminar Nasional Sains dan Pendidikan Sains IX, Fakultas Sains dan Matematika*, 2014, pp. 615–620.
- [5] H. Salehi, E. Mollarazi, H. Abbasi, & M. Zoghi, "A New  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  Generator using Cerium ( IV ) Oxide as an Adsorbent," vol. 4, no. 4, pp. 245–249, 2008.
- [6] U. N. Sholikhah, E. Sarmini, H. Herlina, H. Lubis, & K. Kadarisman, "Karakteristik Polimer Zirkonium sebagai adsorben generator 99 mo/ $^{99\text{m}}\text{Tc}$

- untuk radiofarmaka diagnostik," *Widyariset*, vol. 2, no. 1, pp. 17–26, 2016.
- [7] I. Saptiama, E. Sarmini, & R. Awaludin, "Pengembangan Material Berbasis Zirkonium ( Mbz )," *Semin. Nas. SDM Teknol.*, no. November, pp. 472–476, 2011.
- [8] S. V. Selivanova, E. Lavallée, H. Senta, L. Caouette, J. A. Sader, E. J. van Lier, A. Zyuzin, J. E. van Lier, B. Guérin, E. Turcotte, & R. Lecomte, "Radioisotopic Purity of Sodium Perchnetate <sup>99m</sup>Tc Produced with a Medium-Energy Cyclotron: Implications for Internal Radiation Dose, Image Quality, and Release Specifications," *J. Nucl. Med.*, vol. 56, no. 10, pp. 1600–1608, 2015.
- [9] V. So Le, "99mTc Generator Development: Up-to-Date 99mTc Recovery Technologies for Increasing the Effectiveness of 99Mo Utilisation Van," *Sci. Technol. Nucl. Install.*, vol. 2014, pp. 1–41, 2014.
- [10] I. Saptiama, E. Lestari, E. Sarmini, H. Lubis, Marlina, & A. Mutalib, "Development of 99Mo/99mTc Generator System for Production of Medical Radionuclide <sup>99m</sup>Tc using a Neutron-activated 99Mo and Zirconium Based Material (ZBM) as its Adsorbent," *Atom Indones.*, vol. 42, no. 3, pp. 115–121, 2016.
- [11] S. C. van der Marck, A. J. Koning, & K. E. Charlton, "The options for the future production of the medical isotope <sup>99</sup>Mo," *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, vol. 37, no. 10, pp. 1817-1820, 2010.
- [12] V. N. Richards, E. Mebrahtu, & S. E. Lapi, "Cyclotron Production of <sup>99m</sup>Tc using <sup>100</sup>Mo<sub>2</sub>C targets," *Nucl. Med. Biol.*, vol. 40, no. 7, 2013.
- [13] I. Kambali, "Comprehensive Theoretical Studies on 11-MeV Proton Based Tc-<sup>99m</sup> Production," vol. 21, no. 3, pp. 125–130, 2017.
- [14] S. Sulaiman, Y. Sugiharto, C. Chairuman, G. Setiawan, & A. H. Gunawan, "Optimasi pH Alumina dan <sup>99</sup> Mo Dalam Pembuatan Generator <sup>99</sup> Mo/<sup>99m</sup>Tc Berbasis MoO<sub>3</sub> Alam," *Urania*, vol. 24, no. 2, pp. 73–14, 2018.
- [15] H. G. Adang, S. Yono, & W. Widyastuti, "Pengaruh Regenerasi Kolom Alumina Asam Terhadap Recovery dan Kualitas <sup>99m</sup>Tc Hasil Ekstraksi Pelarut MEK dari <sup>99</sup>Mo Hasil Aktivasi Neutron," *Urania J. Ilm. Daur Bahan Bakar Nukl.*, vol. 22, no. 3, pp. 179–188, 2017.
- [16] J. Catusas, Y. L. Arias, R. G. Marrero, A.A. Diaz, & J. I. B. Portelo, "Evaluation of TBP, TOA and MEK as Extractants Obtain <sup>99m</sup>Tc Radiotracers in Organic Phase from <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc Generator," *Nucleus N51*. Cuba: 28. pp. 26-31, 2012.
- [17] M. Marlina, S. Sriyono, E. Lestari, A. Abidin, H. Setiawan, & K. Kadarisman, "Desain dan Performa Prototipe Generator <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc dengan Kolom Material Berbasis Zirkonium dan Kolom Alumina," *J. Kim. dan Kemasan*, vol. 38, no. 2, p. 93, 2016.