

## ARTIKEL RISET

# Deteksi Karakteristik Peluruhan Radionuklida Medis $^{99}\text{Mo}$ untuk Memperoleh $^{99m}\text{Tc}$ Menggunakan Spektrometer Gamma dengan Sumber Standar Cair Campuran $^{133}\text{Ba}$ dan $^{152}\text{Eu}$

Mawar\*, Sri Dewi Astuti Ilyas and Siska Febriana

Received: 23 Feb., 2020 | Accepted: 6 Mar., 2020 | Published: 17 Aug., 2020 | DOI: 10.22146/jfi.v24i2.54405

## Ringkasan

Teknesium-99m ( $^{99m}\text{Tc}$ ) merupakan anak luruhan  $^{99}\text{Mo}$  yang metastabil dengan waktu paruh 6 jam. Waktu paruh yang relatif singkat tersebut, menyebabkan  $^{99m}\text{Tc}$  banyak digunakan untuk keperluan diagnosis dalam kedokteran nuklir khususnya dalam *bone scan* karena lebih cepat meluruh. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan waktu optimal pembentukan produk  $^{99m}\text{Tc}$  hingga profil elusi telah mendeteksi keberadaan energi  $^{99}\text{Mo}$ . Alat yang digunakan adalah generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  dengan sumber standar cair campuran  $^{133}\text{Ba}$  dan  $^{152}\text{Eu}$ . Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa produksi radioisotop  $^{99m}\text{Tc}$  masih baik hingga hari ketiga elusi  $^{99}\text{Mo}$ , sedangkan pada hari keempat sampai kesembilan dideteksi energi  $^{99}\text{Mo}$  mulai mengalami penurunan aktivitas sehingga produk  $^{99m}\text{Tc}$  yang dihasilkan sudah tidak baik untuk digunakan dalam diagnosis.

**Kata Kunci** : Molibdenum-99, Teknesium-99m, Spektrometer Gamma, Generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ .

## Abstract

Technetium-99m ( $^{99m}\text{Tc}$ ) is a subsidiary of metastable  $^{99}\text{Mo}$  with a half-life of 6 hours. The relatively short half-life, causing  $^{99m}\text{Tc}$  widely used for diagnostic purposes in nuclear medicine, especially in bone scanning for a faster decay. This research aims to determine the optimal time to product formation of  $^{99m}\text{Tc}$  until elution profiles have detected  $^{99}\text{Mo}$  energy. The instrument used is the  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  generator with standard sources  $^{133}\text{Ba}$  and  $^{152}\text{Eu}$  liquid mixture. The results obtained showed that  $^{99m}\text{Tc}$  radioisotope production is still good until the third day elution  $^{99}\text{Mo}$ , whereas in the fourth to ninth day  $^{99}\text{Mo}$  energy detected on the decline, so that the activity of the  $^{99m}\text{Tc}$  resulting product cannot be used for diagnosis.

**Keywords**: Molybdenum-99; Technetium-99m; Gamma Spectrometer;  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  Generator.

## 1 PENDAHULUAN

Pada saat ini aplikasi nuklir di bidang kedokteran merupakan suatu perkembangan ilmu pengetahuan yang sangat penting. Ilmu kedokteran nuklir telah memberikan peranan penting di bidang medis yakni dalam mendiagnosis dan terapi berbagai jenis penyakit [1]. Salah satu isotop yang banyak digunakan di bidang kedokteran nuklir adalah Teknesium-99m ( $^{99m}\text{Tc}$ ).  $^{99m}\text{Tc}$  merupakan ujung

tombak diagnosis menggunakan radioisotop. Sekitar 80% diagnosis di kedokteran nuklir menggunakan radioisotop ini. Radioisotop  $^{99m}\text{Tc}$  merupakan anak luruh dari radionuklida molibdenum-99 ( $^{99}\text{Mo}$ ). Pada umumnya,  $^{99m}\text{Tc}$  diperoleh dari generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  [2].

Tingginya permintaan pemakaian  $^{99m}\text{Tc}$  di dalam kedokteran nuklir disebabkan sifat fisiknya yang ideal untuk keperluan diagnosis yaitu memiliki waktu paruh pendek (6 jam), tidak memancarkan partikel bermuatan dan mempunyai sinar gamma 140 keV yang sangat ideal untuk kamera gamma [2]. Radioisotop ini digunakan untuk tujuan diagnosis, karena dalam

\*Correspondence: [mawar.yarma98@gmail.com](mailto:mawar.yarma98@gmail.com)

Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia

Full list of author information is available at the end of the article

†Equal contributor

suatu diagnosis diperlukan radioisotop yang dapat segera habis setelah proses diagnosis selesai sehingga dampak negatif dari pancaran radiasi tersebut dapat diminimalisasi. Radionuklida  $^{99}\text{Mo}$  yang terbentuk kemudian dipisahkan untuk menghasilkan radioisotop  $^{99m}\text{Tc}$  melalui suatu generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  [3]. Radioisotop  $^{99}\text{Mo}$  memiliki waktu paruh 66 jam, jauh lebih panjang dari waktu paruh  $^{99m}\text{Tc}$ . Radioisotop  $^{99m}\text{Tc}$  dapat diperoleh dengan memisahkannya dari radioisotop induk  $^{99}\text{Mo}$  [4]. Pengukuran lolosan  $^{99}\text{Mo}$  perlu untuk diketahui karena apabila terdapat lolosan  $^{99}\text{Mo}$  dapat mengganggu atau memengaruhi kinerja dari Teknesium-99m dalam proses diagnosa akibat dari waktu paruh  $^{99}\text{Mo}$  yang cukup lama sehingga dapat memberi dampak negatif dan berbahaya bagi tubuh manusia [2].

Keuntungan sistem generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  untuk menghasilkan  $^{99m}\text{Tc}$  adalah radioisotop  $^{99m}\text{Tc}$  bisa diperoleh setiap hari hanya dengan mengelusi generator menggunakan larutan salin, di mana proses elusi dapat dilakukan sampai aktivitas yang dimiliki radioisotop induknya ( $^{99}\text{Mo}$ ) bernilai kecil hingga tidak dapat menghasilkan lagi  $^{99m}\text{Tc}$  yang bisa digunakan untuk diagnosis. Keberadaan lolosan  $^{99}\text{Mo}$  dalam larutan  $^{99m}\text{Tc}$  dengan energi sinar gamma yang besar akan memengaruhi pencitraan kamera gamma sehingga akan mengganggu proses diagnosis [5]. Generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  yang digunakan yaitu dengan berbasis kolom alumina dapat digunakan untuk menyerap  $^{99}\text{Mo}$  yang memiliki aktivitas spesifik yang tinggi, yaitu  $> 10.000$  Ci/g [6].

Analisis spesifik dari suatu radionuklida baik secara kualitatif maupun kuantitatif dapat diketahui dengan suatu detektor nuklir yaitu spektrometer gamma. Spektrometer gamma merupakan alat ukur yang relatif dapat digunakan untuk menganalisis radioaktivitas suatu radionuklida dan mengidentifikasi unsur atau isotop-isotop radioaktif yang ada di dalamnya [2, 6].

Pada penelitian ini dilakukan dengan menganalisis kalibrasi energi dan kalibrasi efisiensi terlebih dahulu pada Spektrometer Gamma di Pusat Teknologi Radioisotop dan Radiofarmaka BATAN. Kalibrasi energi memastikan kalau energi  $^{99}\text{Mo}$  ada dalam rentang energi dari sumber standar yang digunakan untuk maksud analisis secara kualitatif apakah ternyata ada pengotor radionuklida lain (*Mo breakthrough*) dalam larutan  $^{99m}\text{Tc}$  [7, 8]. Kalibrasi efisiensi yaitu untuk tujuan kuantitatif perhitungan aktivitas radionuklida  $^{99}\text{Mo}$  menggunakan persamaan efisiensi yang diperoleh dari hasil kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar yang diacu. Pengukuran dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menggunakan sumber standar cair dan sumber standar titik, namun

pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sumber standar cair yaitu sumber standar cair campuran  $^{133}\text{Ba}$  dan  $^{152}\text{Eu}$  dikarenakan radionuklida  $^{99}\text{Mo}$  yang diukur dalam bentuk cair sehingga pengukuran ini menggunakan geometri yang sama agar mendapatkan hasil pengukuran yang lebih valid [3, 9]. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis profil hasil elusi  $^{99}\text{Mo}$  dan aktivitas dari lolosan  $^{99}\text{Mo}$  yang terjadi dalam produksi  $^{99m}\text{Tc}$  dari suatu sistem generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  sehingga menghasilkan radioisotop  $^{99m}\text{Tc}$  yang lebih baik dan bermanfaat untuk diagnosis dalam bidang kedokteran nuklir.

## 2 METODE PENELITIAN

### 2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah Spektrometer Gamma dengan Detektor *HPGe No. GEM-S5020, Dose calibrator, Shielding* biru, 1 buah *Glass vials* 2 mL dan 9 buah *Glass vials* 10 mL, *Cover plastic, Crimper, Pinset, Eppendorf* 5  $\mu\text{L}$  dan 100  $\mu\text{L}$ , *Syringe* 5 mL, Penutup *glass vials* karet dan aluminium, *Fume hoot* aktif, *Tissue*, dan *Label*. Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Sumber standar cair campuran  $^{133}\text{Ba}$  dan  $^{152}\text{Eu}$  5 mL, Sumber standar titik  $^{137}\text{Cs}$ , Sumber cair  $^{99}\text{Mo}$  (Molybdenum) aktif 100  $\mu\text{L}$  dan Larutan *Saline* (NaCl).

### 2.2 Prosedur Penelitian

#### 2.2.1 Uji Kestabilan Detektor

Pengukuran uji kestabilan dari detektor menggunakan sumber standar titik  $^{137}\text{Cs}$  pada spektrometer gamma detektor *HPGe No. GEM-S5020*. Pengukuran dilakukan masing-masing sebanyak 30 kali pada jarak 4 cm dari detektor (rak 2), jarak 6 cm dari detektor (rak 3) dan jarak 8 cm dari detektor (rak 4) dengan waktu cacahan selama 300 detik. Data hasil pengukuran disimpan di perangkat komputer *MCA* lalu dianalisis dengan metode *control chart* dan *chisquare*.

#### 2.2.2 Kalibrasi Energi dan Efisiensi

Pengukuran kalibrasi energi dan efisiensi dilakukan dengan mengukur *background* menggunakan kosongan *shielding* biru terlebih dahulu pada setiap jarak atau rak yang akan digunakan. Kemudian sumber standar cair campuran  $^{133}\text{Ba}$  dan  $^{152}\text{Eu}$  5 mL dimasukkan ke dalam *shielding* biru lalu diletakkan ke dalam *chamber* spektrometer gamma. Pengukuran dilakukan masing-masing sebanyak 3 kali pada jarak 4 cm dari detektor (rak 2), jarak 6 cm dari detektor (rak 3) dan jarak 8 cm dari detektor (rak 4) dengan waktu cacahan selama 3600 detik. Data hasil pengukuran di perangkat komputer *MCA* disimpan lalu dianalisis.

## 2.3 Uji Radioaktivitas $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$

### 2.3.1 Uji Kualitatif

Uji kualitatif yang dilakukan untuk mengetahui profil peluruhan  $^{99}\text{Mo}$  yang terjadi dalam sistem generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  dilakukan dengan terlebih dahulu menyiapkan alat dan bahan lalu *background*  $^{99}\text{Mo}$  diukur pada *dose calibration*. Selanjutnya  $^{99}\text{Mo}$  aktif yang sebelumnya telah di iradiasi dari reaktor serbaguna G.A Siwabessy dicuplik sebanyak 100  $\mu\text{L}$  ke dalam *bulk* menggunakan *eppendorf*, kemudian dilakukan penyerapan  $^{99}\text{Mo}$  menggunakan nano alumina pada generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  selama 24 jam. Kemudian diukur hasil penyerapan  $^{99}\text{Mo}$  (elusi hari pertama) pada *dose calibration*. Lalu sumber cair  $^{99}\text{Mo}$  sebanyak 5 mL dicuplik ke dalam *glass vials* dan dimasukkan ke dalam *shielding* biru lalu diletakkan ke dalam *chamber* spektrometer gamma. Pengukuran dilakukan masing-masing sebanyak 3 kali pengulangan pada jarak 4 cm dari detektor (rak 2), jarak 6 cm dari detektor (rak 3) dan jarak 8 cm dari detektor (rak 4) dengan waktu cacahan selama 300 detik, Setelah itu sampel yang telah diukur disimpan ke dalam *fume hood* aktif dan dilakukan tahapan yang sama untuk proses peluruhan pada hari kedua sampai pada hari keempat.

### 2.3.2 Uji Kuantitatif

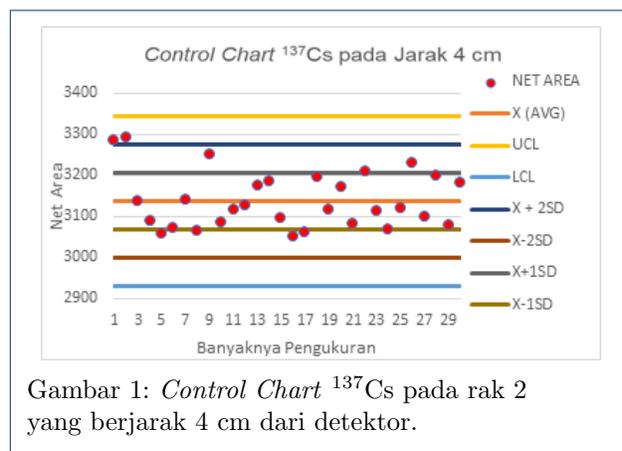
Uji kuantitatif dilakukan untuk mengetahui aktivitas lolosan  $^{99}\text{Mo}$  yang terjadi dengan terlebih dahulu menyiapkan alat dan bahan lalu *background*  $^{99}\text{Mo}$  diukur pada *dose calibration*. Lalu  $^{99}\text{Mo}$  dari *bulk* 1 dicuplik menggunakan *eppendorf* sebanyak 100  $\mu\text{L}$  lalu kemudian dimasukkan ke dalam wadah *glass vials* 2 mL untuk dijadikan *bulk* ke 2. Kemudian radioaktivitas  $^{99}\text{Mo}$  pada *bulk* 2 diukur dengan menggunakan *Dose Callibrator* lalu waktu dan hasil pengukuran radioaktivitas dicatat. Ambil 1 *glass vials* 10 mL lalu larutan *saline* dimasukkan ke dalamnya sebanyak 5 mL dengan menggunakan *Syringe* 5 mL. Ambil 5  $\mu\text{L}$  larutan *saline* dari *glass vials* menggunakan *eppendorf* 5  $\mu\text{L}$  dan kemudian  $^{99}\text{Mo}$  dari *bulk* 2 dicuplik sebanyak 5  $\mu\text{L}$  menggunakan *eppendorf* 5  $\mu\text{L}$  dan kemudian mencampurkan ke dalam *glass vials* 10 mL yang larutan *saline*-nya sudah dicuplik 5  $\mu\text{L}$ . *Glass vials* 10 mL yang sudah berisi  $^{99}\text{Mo}$  aktif ditutup dengan penutup karet dan aluminium kemudian di *crimper* kemudian ditempatkan ke dalam *cover plastic* lalu dimasukkan ke dalam *shielding* biru. Aktivitas  $^{99}\text{Mo}$  kemudian diukur dengan menggunakan spektrometer gamma. Pengukuran dilakukan masing-masing sebanyak 3 kali pengulangan pada jarak 4 cm dari detektor (rak 2), jarak 6 cm dari detektor (rak 3) dan jarak 8 cm dari detektor (rak 4) dengan waktu cacahan selama 300

detik. Setelah itu sampel yang telah diukur disimpan ke dalam *fume hood* aktif dan dilakukan tahapan yang sama untuk pengukuran pada hari kedua sampai pada hari keenam.

## 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Uji Kestabilan pada Detektor dengan Sumber Titik $^{137}\text{Cs}$ sebagai Sumber Standar

Pengukuran uji kestabilan bertujuan untuk mengevaluasi mutu dan kelayakan dari detektor Spektrometer Gamma yang berada di PTRR-BATAN Serpong, yang dilakukan dengan dua metode yaitu *control chart* dan *chisquare*. Pengukuran dilakukan pada jarak 4 cm dari detektor (rak 2), jarak 6 cm dari detektor (rak 3) dan jarak 8 cm dari detektor (rak 4), di mana salah satu hasil pengukurannya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1: *Control Chart*  $^{137}\text{Cs}$  pada rak 2 yang berjarak 4 cm dari detektor.

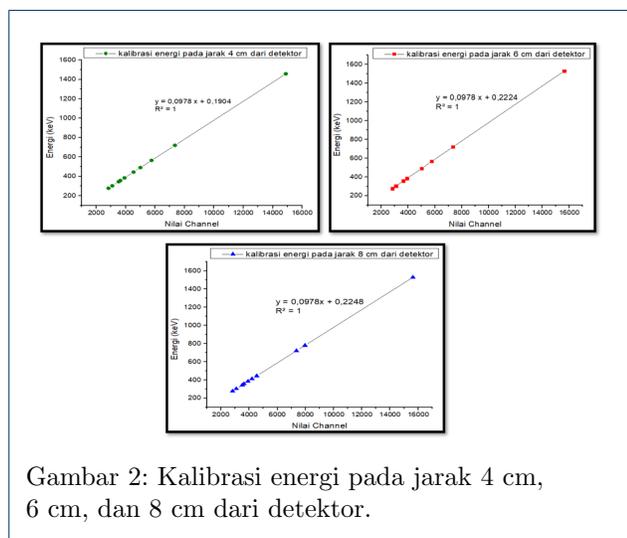
Berdasarkan Gambar 1, nilai cacahan (*Net Area*) berkisar antara  $3051 \pm 55$  sampai dengan  $3292 \pm 56$ , sedangkan nilai LCL (*Lower Control Limit*) atau batas bawah yang diperoleh adalah sebesar 2931,26 dan nilai UCL (*Upper Control Limit*) atau batas atas yang diperoleh adalah sebesar 3344,60839. Nilai-nilai cacahan tersebut tidak melewati batas nilai LCL dan UCL sehingga menunjukkan bahwa hasil pengukuran kestabilan dari detektor *HPGe No. GEM-S5020* dengan menggunakan sumber standar titik  $^{137}\text{Cs}$  dapat dinyatakan bahwa kestabilan dari detektor masih stabil atau dalam keadaan baik.

Untuk lebih meyakinkan bahwa detektor tersebut mampu bekerja dengan baik, maka digunakan metode kedua yaitu metode *chisquare* yaitu untuk membuktikan adanya perbedaan secara nyata atau tidak dengan frekuensi yang diharapkan dengan parameter nilai cacahan dan rata-rata nilai cacahan. Berdasarkan tabel *chisquare* ( $\chi^2$ ) nilai yang diperoleh harus berada diatas nilai 33,71 atau persentasenya mencapai 75% sedangkan nilai *chisquare* yang

diperoleh dari pengukuran yaitu 43,86 dengan persentase mencapai 95% sehingga dapat disimpulkan bahwa mutu kerja dari sistem kerja detektor *HPGe No. GEM-S5020* spektrometer gamma tersebut masih berfungsi dalam keadaan baik.

### 3.2 Uji Kalibrasi Energi dengan Sumber Cair Campuran <sup>133</sup>Ba dan <sup>152</sup>Eu sebagai Sumber Standar

Kalibrasi energi pada sistem pencacah spektrometer gamma diperlukan untuk tujuan analisis kualitatif. Kalibrasi energi memastikan bahwa energi <sup>99</sup>Mo ada dalam rentang energi dari sumber standar yang digunakan apakah terdapat pengotor radionuklida lain (*Mo breakthrough*) dalam larutan <sup>99m</sup>Tc. Kemudian didapatkan nilai energi yang telah dikalibrasi menggunakan sumber standar cair campuran radioisotop <sup>133</sup>Ba dan <sup>152</sup>Eu pada spektrometer gamma. Hasil kalibrasi energi dapat dilihat pada Gambar 2.

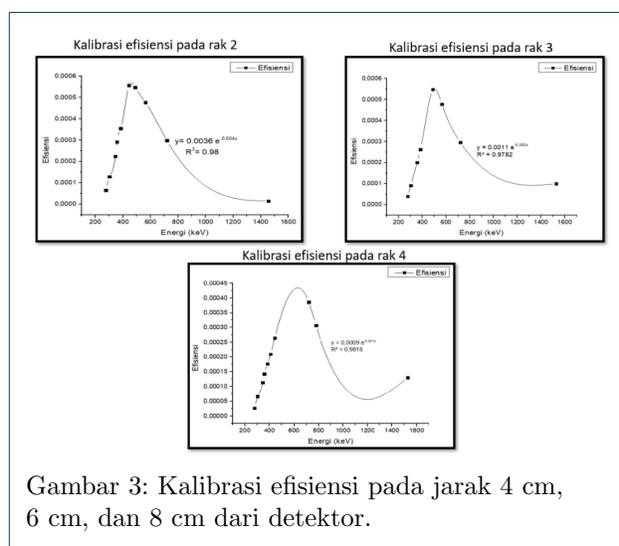


Gambar 2: Kalibrasi energi pada jarak 4 cm, 6 cm, dan 8 cm dari detektor.

Dari Gambar 2 didapatkan hubungan antara energi dan nilai *channel* dengan persamaan kalibrasi energi yaitu  $y = 0,0978x + 0,1904$ . Pada grafik di gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin besar energi yang dihasilkan maka nilai *channel*-nya juga semakin besar serta ketiganya memiliki nilai *range-square* ( $R^2$ ) yaitu sama dengan 1 di mana angka tersebut menunjukkan bahwa garis regresi cocok secara sempurna antara sumbu  $x$  dan  $y$ . Nilai  $R^2$  dijadikan sebagai pengukuran seberapa baik garis regresi mendekati nilai data asli yang telah dibuat melalui model dari suatu grafik sehingga pengujian kalibrasi energi pada jarak 4 cm, 6 cm dan 8 cm dari detektor spektrometer gamma tersebut sudah bagus.

### 3.3 Uji Kalibrasi Efisiensi dengan Sumber Cair Campuran <sup>133</sup>Ba dan <sup>152</sup>Eu sebagai Sumber Standar

Analisis kuantitatif dalam spektrometri gamma membutuhkan kalibrasi efisiensi. Apabila dilakukan pengukuran efisiensi dari tenaga rendah sampai tenaga yang tinggi menggunakan sumber standar maka dapat dibuat grafik efisiensi fungsi energi [10]. Perhitungan aktivitas dari radionuklida <sup>99</sup>Mo menggunakan persamaan efisiensi yang diperoleh dari hasil kalibrasi efisiensi menggunakan sumber standar cair radioisotop <sup>133</sup>Ba dan <sup>152</sup>Eu pada spektrometer gamma. Hasil kalibrasi energi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3: Kalibrasi efisiensi pada jarak 4 cm, 6 cm, dan 8 cm dari detektor.

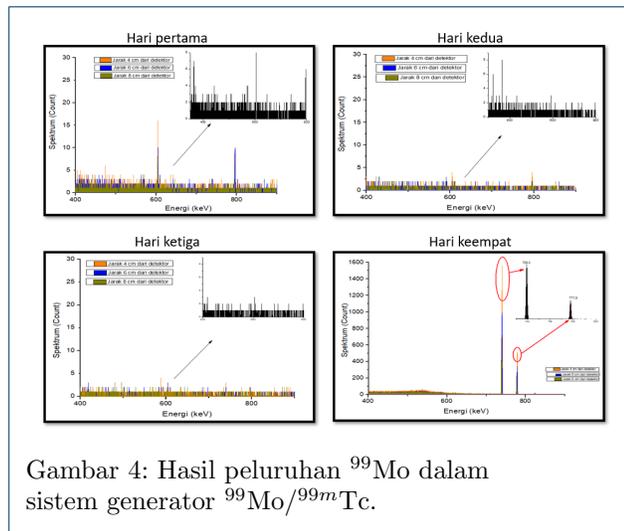
Dari Gambar 3 didapatkan grafik hubungan antara energi dan efisiensi, di mana pada ketiga grafik tersebut memiliki *range-square* ( $R^2$ ) yaitu pada jarak 4 cm dari detektor sebesar 0,98, pada jarak 6 cm dari detektor sebesar 0,97, dan sebesar 0,98 pada jarak 8 cm dari detektor di mana dalam hal ini nilai-nilai tersebut mendekati nilai 1 sehingga menunjukkan bahwa garis regresi cocok antara sumbu  $x$  dan  $y$  sehingga pengujian kalibrasi efisiensi pada jarak 4 cm, 6 cm, dan 8 cm dari detektor *HPGe No. GEM-S5020* spektrometer gamma tersebut sudah bagus.

### 3.4 Uji Radioaktivitas <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc

#### 3.4.1 Uji Kualitatif

Uji Kualitatif dari pengujian radioaktivitas <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc dilakukan dengan menganalisis profil hasil elusi, yaitu waktu yang dibutuhkan <sup>99</sup>Mo untuk meluruh. Proses peluruhan dilakukan selama 4 hari berturut-turut. Pengukuran ini dilakukan untuk memastikan bahwa produksi <sup>99m</sup>Tc yang dihasilkan murni tanpa adanya lolosan <sup>99</sup>Mo yang

terdapat dalam produk  $^{99m}\text{Tc}$  sehingga menghasilkan spektrum-spektrum sebagai berikut.

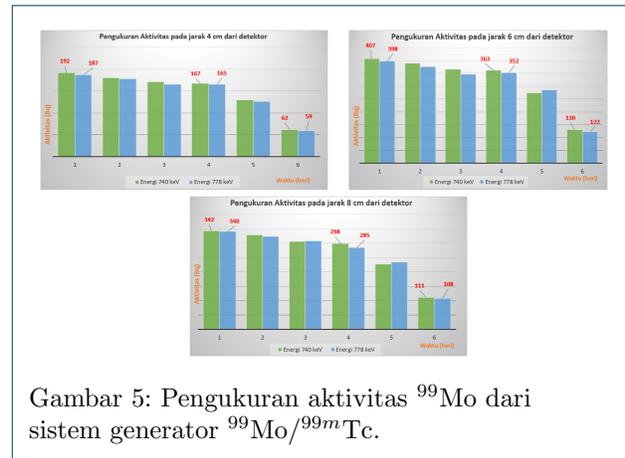


Berdasarkan grafik di Gambar 4 hasil peluruhan selama 4 hari tersebut, dapat dilihat bahwa pada peluruhan hari pertama sampai dengan peluruhan hari ketiga belum ada energi dari  $^{99}\text{Mo}$  yang lolos, sehingga produk  $^{99m}\text{Tc}$  yang akan dihasilkan masih dalam keadaan murni atau bagus digunakan untuk diagnosis. Sedangkan pada peluruhan hari keempat, sudah terdapat energi dari  $^{99}\text{Mo}$  yang lolos, yakni pada energi 740,22 keV dan 778,68 keV sehingga produk  $^{99m}\text{Tc}$  yang akan dihasilkan sudah tidak baik digunakan untuk tujuan diagnosis.

#### 3.4.2 Uji Kuantitatif

Uji kuantitatif dari pengujian radioaktivitas  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  dilakukan dengan menganalisis aktivitas dari lolosan  $^{99}\text{Mo}$  yang terjadi dalam produksi  $^{99m}\text{Tc}$ . Pengukuran dilakukan selama 6 hari berturut-turut, dilakukan sampai aktivitas yang dimiliki radioisotop induknya ( $^{99}\text{Mo}$ ) bernilai kecil hingga dapat terukur pada spektrometer gamma dan tidak dapat menghasilkan lagi  $^{99m}\text{Tc}$  yang bisa digunakan untuk diagnosis. Hal tersebut terbukti dan dapat dilihat pada Gambar 5.

Grafik pada gambar 5 menunjukkan aktivitas lolosan  $^{99}\text{Mo}$  yang terjadi dalam sistem generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ . Menurut standar US Pharmaciopeia syarat batas maksimum aktivitas yang masih diperbolehkan pada kandungan lolosan  $^{99}\text{Mo}$  dari suatu generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  yaitu  $< 15 \mu\text{Ci}$  atau sekitar  $< 555000 \text{ Bq}$  [11] sedangkan pada pengukuran rak 2 (pada jarak 4 cm dari detektor) diperoleh aktivitas sebesar 192 Bq ( $5,18 \times 10^{17} \mu\text{Ci}$ ) untuk energi  $^{99}\text{Mo}$  740 keV dan energi 778 keV diperoleh



nilai aktivitas sebesar 187 Bq ( $5,07 \times 10^{17} \mu\text{Ci}$ ). Nilai aktivitas semakin hari semakin menurun hingga pada pengukuran hari keenam diperoleh aktivitas sebesar 62 Bq ( $1,67 \times 10^{17} \mu\text{Ci}$ ) pada energi 740 keV dan 59 Bq ( $1,61 \times 10^{17} \mu\text{Ci}$ ) pada energi 778 keV. Berdasarkan nilai tersebut, nilai aktivitas telah melewati batas ambang dari standar internasional yang telah ditetapkan. Berdasarkan nilai-nilai dari hasil pengukuran tersebut dapat disimpulkan bahwa pada pengukuran hari pertama sampai hari ke enam, semakin lama pengukuran dilakukan, maka aktivitas dari  $^{99}\text{Mo}$  semakin kecil dan membuktikan bahwa aktivitas dari  $^{99}\text{Mo}$  sedikit demi sedikit sudah mulai habis hingga tidak dapat menghasilkan lagi  $^{99m}\text{Tc}$  yang bisa digunakan untuk diagnosis.

## 4 KESIMPULAN

Proses peluruhan  $^{99}\text{Mo}$  dengan menggunakan spektrometer gamma yang sebelumnya telah dikalibrasi (energi dan efisiensi) dengan sumber standar cair campuran  $^{133}\text{Ba}$  dan  $^{152}\text{Eu}$  dilakukan selama empat hari, di mana pada hari pertama sampai hari ketiga menghasilkan produk  $^{99m}\text{Tc}$  murni yang dapat digunakan untuk tujuan diagnosis. Sedangkan pada hari keempat terdapat lolosan  $^{99}\text{Mo}$  yaitu pada energi 739,3 keV dengan intensitas sebesar 4,37% dan energi 777,8 keV dengan intensitas 13% sehingga pada hari keempat produk tersebut sudah tidak digunakan dalam diagnosis.

Produksi  $^{99m}\text{Tc}$  dengan menggunakan generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  dilakukan dengan pengujian aktivitas  $^{99}\text{Mo}$  dan dapat disimpulkan bahwa semakin lama pengukuran, aktivitas  $^{99}\text{Mo}$  semakin kecil sehingga sudah tidak terdeteksi lagi dikarenakan energinya sudah semakin habis.

## PENULIS

- 1 Mawar  
Dari :

(1) ) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin

2 Sri Dewi Astuti Ilyas

Dari :

(1) Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin

3 Siska Febriana

Dari :

(2) Pusat Teknologi Radiosotop dan Radiofarmaka (PTRR), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN)

**Pustaka**

- Palupi AFN, Raka GB, Rahmadini FB. Aplikasi Radioisotop Penggunaan  $^{99m}\text{Tc}$  untuk Bone Scan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Noverber; 2017.
- Adang HG, Mutalib A, Hotman L, Rohadi A, Sriyono MS, Yono S, et al. Unjuk Kerja Generator Mo-99/Tc-99m berbasis PZC (poly zirconium compound) menggunakan Mo-99 hasil aktivasi neutron dari mo alam dengan aktivitas Mo-99 > 5 Ci. Yogyakarta: Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN. 2011;p. 44–51.
- Awaludin R. Radioisotop Teknesium-99m dan kegunaannya. Buletin Alara. 2011;13(2).
- Uzunov N, Yordanova G, Salim S, Stancheva N, Mineva V, Meléndez-Alafort L, et al. Quality assurance of Mo-99/Tc-99m radionuclide generators. Acta Scientifica Naturalis. 2018;5(1):40–47.
- Putri HH. Proses pemisahan dan pemurnian  $^{99m}\text{Tc}$  dari  $^{99}\text{Mo}$  hasil aktivasi Neutron dengan menggunakan Kromatografi kolom Alumina. UIN Syarif Hidayatullah; 2013.
- Marlina M, Sriyono S, Lestari E, Abidin A, Setiawan H, Kadarisman K. Desain dan Performa Prototipe Generator  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$  dengan Kolom Material Berbasis Zirkonium dan Kolom Alumina. Jurnal kimia dan Kemasan. 2016;38(2):93–102.
- Wahyudi W, Iskandar D, Marjanto D. Pengaruh Matriks Terhadap Sistem Pencacahan Sampel Menggunakan Spektrometer Gamma. In: Jurnal Forum Nuklir. vol. 1; 2017. p. 65–77.
- Maskur M, Adang HG, Sarmini E, Tahyan Y, Kurniasih D. Uji Banding Antar Laboratorium dalam Pengukuran Radioaktivitas Menggunakan Spektrometer Gamma. In: Jurnal Forum Nuklir. vol. 8; 2017. p. 190–199.
- Luhur N, Kadarusmanto K, Subiharto S. Uji Banding Spektrometer Gamma dengan Metode Analisis. REAKTOR-Buletin Pengelolaan Reaktor Nuklir. 2013;10(1).
- Sugino, Tulisna, Sanusi A, Sugito. Validasi Spektrometer Gamma di Laboratorium Spektroskopi Pusdiklat BATAN. In: Prosiding Seminar Nasional AAN; 2010. p. 111–115.
- Mettler FA, Guiberteau MJ. Essentials of Nuclear Medicine and Molecular Imaging E-Book. Elsevier Health Sciences; 2018.