

Evaluasi Akurasi Aktivitas Tc-99m pada *Single Organ* dan *All Organ* Menggunakan Kamera Gamma Mediso Anyscan S Dual Head dan Fantom Antropomorfik

Diah Shanti Utamingtiyas^{1)*}, Johan AE Noor²⁾, Nur Rahmah Hidayati, M.Sc.²⁾

¹⁾ Program Studi Magister Ilmu Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya

²⁾ Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Brawijaya

³⁾ Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi (PTKMR), BATAN Indonesia

Diterima 01 April 2016, Direvisi 28 April 2016

ABSTRAK

Radiofarmaka dengan radioisotop Tc-99m untuk pemeriksaan ginjal yang dimasukkan ke dalam tubuh dalam kedokteran nuklir akan memancarkan radiasi sinar gamma. Sinar gamma tersebut dapat dideteksi oleh kamera gamma yang akan menampilkan distribusi radioisotop di dalam tubuh pasien dan mampu mengukur fungsi dari organ yang sedang diperiksa dan ditampilkan dalam bentuk citra. Sebuah komite dalam kedokteran nuklir mengembangkan metode *Medical Internal Radiation Dosimetry* (MIRD) yang merupakan metode standar tentang cara menghitung aktivitas di dalam organ melalui kuantifikasi citra. Perbedaan aktivitas Tc-99m terukur oleh kalibrator dosis dengan aktivitas terdeteksi dalam organ perlu diketahui, sehingga dapat digunakan untuk menentukan akurasi pengukuran aktivitas. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aktivitas terdeteksi dalam organ yang dihitung dengan metode MIRD lebih kecil dibandingkan dengan hasil pengukuran kalibrator. Seluruh persentase perbedaan aktivitas pada *single organ* (pencacahan masing-masing organ) maupun *all organs* (pencacahan secara bersamaan meliputi organ ginjal, kantung kemih, jantung dan hati) memiliki nilai < 20% sehingga mengindikasikan bahwa metode MIRD sangat *reliable* digunakan dalam dosimetri internal.

Kata kunci: kamera gamma, akurasi aktivitas, radiofarmaka Tc-99m, metode MIRD

ABSTRACT

In term of nuclear medical, Radiopharmaceuticals with Tc-99m radioisotope for kidney examination inserted into the body will emit gamma radiation that can be detected by a gamma camera. Gamma camera will display the distribution of radioisotopes in the patient's body and measure examined organ function in the form of image. A committee in nuclear medical developed Medical Internal Radiation Dosimetry (MIRD) method, the standard method on the way calculating activities in organ by image quantification. Differences in the activity of Tc-99m were measured by a dose calibrator with detected activity of organs to determine the accuracy of activity measurement. These results indicated that detected activity in the organ, calculated by the method MIRD, were smaller than the calibrator measurement result. The differences percentage in the activity of a single organ (counting each organ), involving all organs (enumeration simultaneously including kidney, bladder, heart and liver), has value <20% that indicate the reliability of MIRD method to use in internal dosimetry.

Keywords: the accuracy of activities, radiopharmaceutical Tc - 99m, MIRD method

PENDAHULUAN

Radiofarmaka dalam kedokteran nuklir

*Corresponding author:

e-mail: payaman163@gmail.com

merupakan senyawa berlabel radioaktif yang diinjeksikan ke dalam tubuh pasien untuk keperluan diagnosis dan prosedur terapi [1]. Radiofarmaka terdiri dari dua komponen, yaitu radioisotop yang diinginkan karakter radiasinya dan senyawa kimia dengan struktur atau sifat kimia yang menentukan distribusi dan perilaku

fisiologis dari radiofarmaka tersebut [2]. Peluruhan radioisotop dalam radiofarmaka tersebut akan memancarkan radiasi sinar gamma. Sinar gamma tersebut dapat dideteksi oleh kamera gamma yang merupakan seperangkat alat yang akan menampilkan distribusi radioisotop di dalam tubuh pasien dan juga mampu mengukur fungsi dari organ yang sedang diperiksa dan akan ditampilkan dalam bentuk citra.

Energi sinar gamma yang digunakan untuk pencitraan adalah antara 70keV dan 200keV [3] sedangkan radioisotop Tc-99m merupakan radioisotop dengan energi sinar gamma murni 140,5keV dengan waktu paruh 6 jam [4], sehingga Tc-99m banyak digunakan untuk keperluan diagnostik menggunakan kamera gamma.

Aktivitas radioisotop yang diberikan ke dalam organ pasien akan menghasilkan dosis radiasi dari dalam tubuh. Dosimetri diperlukan oleh dokter karena beberapa alasan, diantaranya *treatment* sering dibatasi oleh dosis yang terkirim ke organ kritis dan dosimetri sangat diperlukan untuk menentukan pemberian aktivitas secara benar [5]. Sebuah komite dalam kedokteran nuklir, *Society of Nuclear Medicine* mengembangkan metode *Medical Internal Radiation Dosimetry* (MIRD) yang merupakan metode standar tentang cara menghitung aktivitas dan dosis radiasi internal dan memberikan informasi-informasi yang berguna untuk mempersiapkan perkiraan dosis untuk radiofarmaka [6].

Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Norrgren [7] tentang akurasi aktivitas internal dengan hasil -21% untuk jantung, -24% untuk liver dan -26% ginjal pada *all organ* dengan metode konvensional. Johnsson [8] juga melakukan evaluasi akurasi aktivitas internal dengan hasil 40% untuk jantung, 16% untuk liver dan 20% untuk ginjal pada *single organ* dengan metode konvensional. Johnsson melakukan penelitian tersebut menggunakan radioisotop Tc-99m yang memperlihatkan perbedaan hasil pengukuran aktivitas dalam organ dari simulasi dengan data dari laboratorium hewan dan studi pasien.

Radioisotop di dalam sebuah organ akan memancarkan energi yang diserap oleh organ di sekitarnya (organ target) [9]. Hal ini menyebabkan organ sekitar akan mendapatkan dosis radiasi tambahan. Selain itu, radioisotop

memeiliki efek pada pasien dan biaya pemeriksaan relatif mahal, maka harus diberikan aktivitas secara tepat untuk tujuan pemeriksaan (diagnosis pasien) dan agar tercapai pengobatan yang efektif (untuk terapi).

METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan dalam penelitian diantaranya Satu unit kamera gamma Mediso *Anyscan S dual head* Series AS-105061-S, Generator Mo merek Victoreen untuk menghasilkan Tc-99m, Kalibrator dosis merek Capitec untuk menentukan aktivitas Tc-99m, *Fantom Antropomorfik* buatan PTKMR BATAN yang berfungsi sebagai objek dalam penelitian. Bahan radioaktif Tc-99m dan *Syringe* untuk memasukkan Tc-99m ke dalam organ *Fantom Antropomorfik*.

Tc-99m didapatkan dari generator Mo dengan menyiapkan vial berisi NaCl 10 mL dan vial steril. Vial NaCl ditancapkan pada *inlet* generator dan vial steril juga ditancapkan pada jarum *inlet* yang telah diganti sebelumnya, ditunggu selama 1 menit kemudian vial steril yang telah terisi Tc-99m diambil dan diletakkan pada kontainer Pb. Selanjutnya besar aktivitas Tc-99m dihitung oleh kalibrator dosis dengan memilih *dial setting* Tc-99m pada kalibrator dosis. Aktivitas yang diukur dengan kalibrator dosis pada menit ke 0 ini disebut aktivitas awal karena radioisotop akan terus meluruh. Aktivitas sebagai fungsi waktu didapatkan dengan melakukan koreksi waktu terhadap aktivitas awal yaitu dengan cara sebagai berikut:

$$A_t = A_0 e^{-0.693 \frac{t_n}{t_{1/2}}} \quad (1)$$

dengan

A_t = aktivitas pada saat t (MBq)

A_0 = aktivitas awal (saat $t = 0$) (MBq)

t_t = waktu ke t (s)

$t_{1/2}$ = waktu paruh Tc-99m 6,02 jam (21672 s)

Penelitian ini disimulasikan pada pemeriksaan ginjal dan menggunakan radioisotop murni Tc-99m. *Fantom antropomorfik* diletakkan di atas meja pemeriksaan yang terletak di antara dua detektor. Radiofarmaka disuntikkan ke dalam organ sumber dalam *fantom*. *Syringe* sebelum diinjeksikan ke dalam *fantom organ* disebut *full*

syringe, setelah diinjeksikan ke dalam fantom organ disebut *empty syringe*. Sehingga besar aktivitas yang diinjeksikan ke dalam fantom organ adalah aktivitas *full syringe* dikurangi dengan aktivitas *empty syringe*. Radiasi gamma yang dipancarkan oleh radioisotop di dalam fantom organ ditangkap oleh detektor bagian atas sebagai cacahan anterior (I_A) sedangkan radiasi gamma yang ditangkap oleh detektor bagian bawah disebut cacahan posterior (I_P). Cacahan tersebut akan ditampilkan pada monitor kontrol panel.

Aktivitas total yang diberikan pada organ fantom sebesar 140,6 MBq yang diukur menggunakan kalibrator dosis disesuaikan dengan besar aktivitas Tc-99m yang digunakan untuk pemeriksaan ginjal dalam kedokteran nuklir pada lampiran PERKA BAPETEN Nomor 17 tahun 2012 dengan persentase pemberian radionuklida pada organ jantung $\pm 10\%$, ginjal kanan $\pm 5\%$, ginjal kiri $\pm 5\%$, liver $\pm 3\%$ dan kantung kemih $\pm 77\%$ berdasarkan Berdasarkan simulasi perhitungan dosis dengan *software* OLINDA dan hasil penelitian tentang biosistribusi Tc-99m DTPA dalam pemeriksaan ginjal [10]. Pengambilan citra ginjal dilakukan selama (120) menit disesuaikan dengan lama pengambilan citra dalam pemeriksaan ginjal. Kemudian membuat ROI (*Region of Interest*) untuk setiap organ.

Pengambilan data cacahan dilakukan pada *single organ*, yaitu dengan melakukan pencacahan pada setiap organ secara terpisah. Pengambilan cacahan juga dilakukan pada *all organs* untuk mengetahui besar pengaruh kontribusi radiasi dari suatu organ kepada organ di sekitarnya. Pengambilan data cacahan dilakukan pada *single organ*, yaitu dengan melakukan pencacahan pada setiap organ secara terpisah. Pengambilan cacahan juga dilakukan pada *all organs* untuk mengetahui besar pengaruh kontribusi radiasi dari suatu organ kepada organ di sekitarnya. Perhitungan dalam mengkonversi cacahan menjadi aktivitas Tc-99m berdasarkan pada pamflet MIRD 16 adalah sebagai berikut [11]:

$$A = \sqrt{\frac{I_A I_P f_j}{e^{-\mu_e t} C}} \quad (2)$$

dengan:

- A = Aktivitas sumber dalam organ (MBq)
- I_A = Cacahan per detik pada posisianterior

- I_P = Cacahan per detik pada posisi anterior
- $e^{-\mu_e t}$ = Faktor transmisi fantom dengan ketebalan t
- f_j = Koreksi atenuasi sumber (Tc-99m= 1)
- C = Faktor kalibrasi (cm^{-1})

Untuk mengevaluasi akurasi aktivitas dilakukan dengan menentukan besar aktivitas yang terukur dari kalibrator dosis (X) dengan aktivitas terdeteksi dalam organ (Y). Persentase perbedaan dihitung dengan:

$$\pm \% = \frac{Y \pm X}{X} \times 100 \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran aktivitas awal dilakukan dengan kalibrator dosis sebelum diinjeksikan dalam fantom dan pengukuran aktivitas dalam organ menggunakan metode MIRD. Aktivitas total yang diberikan baik pada *single organ* maupun *all organs* adalah sama, yaitu 140,6 MBq. Pengukuran aktivitas Tc-99m dalam penelitian ini dilakukan di Laboratorium Standarisasi PTKMR BATAN menggunakan kalibrator dosis merek Capintec dengan faktor koreksi alat sebesar 4%. Tabel 1 menampilkan aktivitas yang diperoleh dari kalibrator dosis dengan koreksi waktu.

Tabel 1. Aktivitas yang diperoleh dari kalibrator dosis.

Organ Sumber	Aktivitas Terukur oleh Kalibrator Dosis (MBq)
Ginjal kanan	6,845
Ginjal kiri	6,512
Kantung kemih	110,408
Jantung	14,060
Liver	4,181

Selanjutnya pembuatan ROI dilakukan untuk menentukan daerah sumber radiasi (organ sumber) yang dilakukan secara otomatis oleh perangkat baik pada citra anterior maupun pada citra posterior. Pembuatan ROI otomatis akan meningkatkan akurasi karena perangkat akan melakukan ROI dengan sangat mendekati keadaan sebenarnya. ROI digunakan sebagai dasar dalam perhitungan metode MIRD, karena jumlah cacahan anterior (I_A) dan cacahan posterior (I_P) bergantung pada ROI. Tabel 2 menampilkan besar aktivitas yang diperoleh dari perhitungan MIRD berdasarkan cacahan radiasi

yang terdeteksi oleh kamera gamma.

Berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2, dalam penelitian ini teridentifikasi bahwa aktivitas yang didapatkan berdasarkan perhitungan MIRD lebih kecil dari aktivitas awal yang diukur dengan

kalibrator dosis. Tabel 3 menampilkan besar persentase perbedaan aktivitas dari aktivitas terukur kalibrator dosis (dengan koreksi waktu) dengan aktivitas yang dihitung menggunakan metode MIRD.

Tabel 2. Persentase perbedaan aktivitas antara all organs dengan single organ (dengan aktivitas total masing-masing 140,6 MBq).

Organ Sumber	Aktivitas pada <i>All Organs</i> (MBq)	Aktivitas pada <i>Single Organ</i> (MBq)
Ginjal kanan	6,623	5,624
Ginjal kiri	6,179	5,735
Kantung kemih	93,647	91,982
Jantung	11,581	11,359
Liver	3,996	3,774

Tabel 3. Persentase perbedaan aktivitas antara all organs dengan single organ (dengan aktivitas total masing-masing 140,6 MBq).

Organ Sumber	<i>All Organs</i> (%)	<i>Single Organ</i> (%)
Ginjal kanan	-3,5	-18,0
Ginjal kiri	-5,0	-12,1
Kantung kemih	-15,2	-16,7
Jantung	-17,7	-19,3
Liver	-6,4	-9,4

Persentase perbedaan pada *all organs* maupun *single organ* adalah bernilai negatif yang menunjukkan bahwa aktivitas hasil perhitungan dengan metode MIRD lebih kecil dibandingkan dengan aktivitas yang terukur oleh kalibrator dosis (dengan koreksi waktu). Hal ini mengindikasikan mengapa persentase perbedaan pada *single organ* juga lebih kecil dari *all organs* seperti yang ditampilkan pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel 3 teridentifikasi bahwa meskipun radioisotop yang diinjeksikan pada fantom kantung kemih lebih besar dibandingkan dengan isotop yang diinjeksikan pada fantom organ jantung, hasil penelitian menunjukkan persentase perbedaan pada fantom organ jantung lebih besar. Faktor yang mempengaruhinya adalah karena posisi organ fantom jantung berada dibagian superior, sedangkan kantung kemih dibagian inferior berdekatan dengan fantom organ ginjal kanan dan ginjal kiri, maka organ fantom kantung kemih mendapat radiasi tambahan dari ginjal kanan dan kiri. Pada *all organs*, masing-masing organ (organ sumber) akan saling berkontribusi radiasi satu sama lain, sehingga akan menambah nilai besar radiasi yang

diterima oleh masing-masing organ dan lebih mendekati nilai aktivitas terukur oleh kalibrator dosis (aktivitas acuan). Hal ini menyebabkan adanya tambahan jumlah radiasi yang ditangkap oleh detektor pada organ sumber. Sedangkan pada *single organ*, tidak ada kontribusi atau tambahan radiasi pada organ sumber dari radiasi organ yang lain sehingga persentase perbedaan dengan kalibrator dosis semakin besar.

Beberapa faktor lain penyebab adanya perbedaan aktivitas dalam organ yang dideteksi dengan kamera gamma dengan aktivitas yang terukur oleh kalibrator dosis. Pertama, detektor yang menangkap radiasi sinar gamma memiliki area deteksi yang disebut dengan *field of view* (FOV) pada posisi anterior dan posterior, maka sinar gamma yang memancar ke arah lateral dan arah yang lain diluar batas FOV tidak akan terdeteksi oleh detektor pada kamera gamma. Kedua, cacahan radiasi gamma sebagai dasar perhitungan menggunakan metode MIRD dan menghitung persentase perbedaan aktivitas, terlihat berfluktuasi karena sifat radiasi yang sangat acak. Prekeges menuliskan bahwa perulangan pengukuran radiasi dengan sumber yang sama dan geometri yang sama akan mendapatkan hasil yang berbeda, hal ini dikarenakan statistik alami peluruhan radioaktif [12]. Faktor berikutnya yaitu adanya "dead time", Prekeges menjelaskan tentang *dead time* yang merupakan waktu separasi minimum dari dua kejadian radiasi pada detektor, yang diperlukan untuk mendeteksi radiasi tersebut sebagai dua kejadian yang terpisah [12]. Maka, efek dari *dead time* adalah bahwa beberapa kejadian (radiasi) tidak

terhitung karena kejadian-kejadian tersebut terjadi terlalu cepat dari kejadian sebelumnya, oleh karena itu terdapat nilai cacahan yang telah hilang.

KESIMPULAN

Persentase perbedaan menunjukkan keakurasian dalam sebuah pengukuran. Hasil penelitian menunjukkan persentase perbedaan aktivitas pada *all organ lebih kecil* dari *single organ*. Semakin kecil persentase perbedaan aktivitas maka semakin besar akurasi pengukuran. Persentase perbedaan pada jantung lebih besar dibandingkan dengan kantung kemih meskipun radioisotop yang diinjeksikan lebih besar pada kantung kemih, hal ini karena pengaruh dari faktor geometri anatomi organ. Pada aktivitas total 140,6 MBq persentase perbedaan aktivitas terukur oleh kalibrator dosis (dengan koreksi waktu) dengan aktivitas hasil perhitungan MIRD pada *single organ* adalah -18,0% untuk ginjal kanan, -12,1% untuk ginjal kiri, -16,7% untuk kantung kemih, -19,3% untuk jantung dan -9,4% untuk liver. Sedangkan pada *all organs* -3,5% untuk ginjal kanan, -5,0% untuk ginjal kiri, -15,2% untuk kantung kemih, -17,7% untuk jantung dan -6,4% untuk liver.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PTKMR BATAN yang telah mendanai penelitian, memberikan fasilitas peralatan dan sebagai tempat penelitian. Terimakasih kepada Widodo Prasetya yang telah membantu dalam pengoperasian Kamera Gamma Mediso Anyscan S *Dual Head*, dan Misdar yang telah membantu dalam persiapan fantom antropomorfik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Loke, K., Ng, D., Divgi, C., Padhy, A. dan Goh, A.. (2011) Dosimetric Considerations in Radioimmunotherapy and Systemic Radionuclide Therapies: A Review. *World Journal of Nuclear Medicine*, **10**, 122. <https://doi.org/10.4103/1450-1147.89780>
- [2] Ballinger, J.R., Decristoforo, C., Farstad, B., Mccoubrey, B., O'reilly, G., Ryder, H. et al. (2008) *The Radiopharmacy A Technologist 's Guide*. European Association of Nuclear Medicine, Vienna, Austria.
- [3] Larsson, A. (2005) Corrections for improved quantitative accuracy in SPECT and planar scintigraphic imaging. Umeå University, [Sweden].
- [4] Awaludin, R. (2011) Radioisotop Teknisium-99m dan Kegunaanya. *Buletin ALARA*, **12**, 61–6.
- [5] Gahrouei, D.S. dan Nikzad, S. (2011) Determination of organ doses in radioiodine therapy using medical internal radiation dosimetry (MIRD) method. *Iranian Journal Radiation of Radiation Research*, **8**, 249–52.
- [6] Synder, W.S., Ford, M.R., Warner, G.G. dan Watson, S.B. (1975) MIRD Pamphlet No. 11: "S," Absorbed dose per unit cumulated activity for selected radionulides and organs. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee.
- [7] Norrgren, K., Svegborn, S.L., Areberg, J. dan Mattsson, S. (2003) Accuracy of the Quantification of Organ Activity from Planar Gamma Camera Images. *Cancer Biotherapy & Radiopharmaceuticals*, **18**, 125–31. <https://doi.org/10.1089/108497803321269403>
- [8] Jönsson, L., Ljungberg, M. dan Strand, S.-E. (2005) Evaluation of accuracy in activity calculations for the conjugate view method from Monte Carlo simulated scintillation camera images using experimental data in an anthropomorphic phantom. *Journal of nuclear medicine : official publication, Society of Nuclear Medicine*, **46**, 1679–86.
- [9] Martin, J.E. (2006) *Physics for Radiation Protection*. Second. Wiley, Weinheim, Germany.
- [10] Indartati, I. (2012) Penentuan Biodistribusi dan Dosis Internal Berbagai Organ Pada Pemeriksaan Renografi 99Tcm-DTPA. Universitas Indonesia, [Jakarta].

- [11] Siegel, J.A., Thomas, S.R., Stubbs, J.B., Stabin, M.G., Hays, M.T., Koral, K.F. et al. (1999) MIRD pamphlet no. 16: Techniques for quantitative radiopharmaceutical biodistribution data acquisition and analysis for use in human radiation dose estimates. *Journal of nuclear medicine : official publication, Society of Nuclear Medicine*, **40**, 37S–61S.
- [12] Prekeges, J. (2011) Nuclear Medicine Instrument. Jones and Bartlett Publisher, Sudbury Massachusetts.