

# Pengaruh Konsentrasi Dosis Injeksi $^{99}\text{Tc}^{\text{M}}$ -MDP Terhadap Kualitas Citra Kedokteran Nuklir pada Pemeriksaan Bone Scan

Febria Anita<sup>1\*</sup>, Yadi Isma Nuryadi<sup>2</sup>, Samsun<sup>3</sup>, Ni Larasati Kartika Sari<sup>4</sup>, Drs. Muzilman<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Fisika, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Nasional, Jakarta

\*Korespondensi Penulis: febria.anita@civitas.unas.ac.id

(Received: 25-05-2023; Revised: 13-06-2023; Accepted: 30-06-2023)

**ABSTRACT.** Research has been conducted measuring the effect of the dose concentration of syringes on the image of nuclear medicine in order to determine how much influence the dose concentration of syringes has on the image of nuclear medicine. The study was carried out on 35 patients by calculating using the half-life formula and residual dose measurements on syringes that had been used for injection using a dose calibrator. The average residual dose in the syringe was 1.488 mCi, the minimum dose was 0.442 mCi, and the maximum dose of 8.550 mCi. The average activity of the  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$  - MDP source injected on a bone scan examination was 11.980 mCi, the average value of postero anterior lumbar vertebrae organ pixels was 37,543, the minimum pixel value was 14,238 and the maximum pixel value was 76,524. The effect of injection dose concentration is seen in the measurement of postero anterior lumbar vertebrae organ with a pixel value of at least 14,238 pixels or 32.23% of the maximum pixel value, influencing the nuclear image, according to the European Association of Nuclear Medicine EANM standard where the vertebral picture is not clear and the visualization of the spinal details in the posterior picture is less clear, the intervertebral disc is less explicit, the appearance of the bone in the sacral region and the iliac sacro joint in the posterior view appears slightly drear. However, the dosage range for patients does not exceed 20 mCi.

**Keywords:**  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$  - MDP injection dose concentration, image quality of nuclear medicine, half-life formula, bone scan examination, lumbar vertebrae organ pixels

**Abstrak.** Telah dilakukan penelitian dengan mengukur pengaruh konsentrasi dosis spuit terhadap citra kedokteran nuklir untuk mengetahui seberapa besar pengaruh konsentrasi dosis spuit terhadap citra kedokteran nuklir. Penelitian dilakukan pada 35 pasien dengan perhitungan menggunakan rumus waktu paruh dan pengukuran dosis residu pada spuit yang telah digunakan untuk injeksi menggunakan kalibrator dosis, rata-rata dosis sisa pada syring adalah 1,488 mCi, dosis minimum adalah 0.442 mCi dan dosis maksimal 8.550 mCi. Rata-rata aktivitas sumber  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP yang diinjeksikan pada pemeriksaan bone scan sebesar 11.980 mCi, nilai rata-rata piksel organ postero anterior lumbal vertebrae sebesar 37.543, nilai piksel minimum sebesar 14.238 dan nilai piksel maksimum sebesar 76.524. Pengaruh konsentrasi dosis injeksi terlihat pada pengukuran postero anterior lumbal vertebrae organ dengan nilai piksel minimal 14.238 piksel atau 32.23% dari nilai piksel maksimum, mempengaruhi citra nuklir, menurut standar EANM Asosiasi Kedokteran Nuklir Eropa di mana gambar tulang belakang tidak jelas dan visualisasi detail tulang belakang pada gambar posterior kurang jelas, diskus intervertebralis kurang tegas, tampilan tulang di daerah sakral dan sendi sakro iliaka pada tampilan posterior tampak sedikit suram. Namun, kisaran dosis untuk pasien tidak melebihi 20 mCi.

**Katakunci:** konsentrasi dosis injeksi  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$  - MDP, kualitas citra kedokteran nuklir, waktu paruh, pemeriksaan *bone scan*, organ *lumbalvertebrae*.

## PENDAHULUAN

Pada pemeriksaan kedokteran nuklir, kualitas citra sangat penting untuk diagnosis yang akurat [1]. Kualitas citra merupakan faktor krusial dalam proses diagnosis menggunakan kedokteran nuklir, karena citra yang baik dapat membantu dokter dalam memahami kondisi pasien dan membuat keputusan yang tepat terkait pengelolaan penyakit [2]. Oleh karena itu, pemahaman tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas citra menjadi sangat penting [3]. Salah satu radiofarmaka yang umum digunakan dalam kedokteran nuklir adalah  $^{99}\text{Tc}^{\text{M}}-\text{MDP}$  (Technetium-99m Methylene Diphosphonate) [4]. Mengidentifikasi pengaruh konsentrasi dosis  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}-\text{MDP}$  pada kualitas citra akan membantu para ahli memahami bagaimana mengoptimalkan protokol pemeriksaan untuk mendapatkan citra yang berkualitas tinggi. Dokter dapat meningkatkan akurasi dan keandalan hasil diagnosis yang dihasilkan dari pemeriksaan nuklir ini.  $^{99}\text{Tc}^{\text{M}}-\text{MDP}$  merupakan zat radiofarmasi yang digunakan untuk pencitraan tulang. Ini adalah senyawa yang mengandung radioisotop teknisium-99m ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ) yang terikat pada molekul diphosphonate.  $^{99}\text{Tc}^{\text{M}}$  merupakan isotop yang paling sering digunakan dalam kedokteran nuklir karena memiliki energi sinar gamma yang cocok untuk deteksi dan mempunyai waktu paruh yang pendek sehingga dapat menghasilkan dosis radiasi yang rendah pada pasien [5]. Radioisotop ini menghasilkan sinar gamma yang dapat dideteksi oleh kamera gamma untuk menghasilkan citra [4].

Dosis  $^{99\text{m}}\text{Tc}-\text{MDP}$  yang tepat dapat mempengaruhi sensitivitas dan spesifisitas citra Bone Scan [6]. Jika dosis tidak tepat, citra mungkin menjadi kabur atau tidak memberikan informasi yang cukup untuk diagnosis yang tepat. Dengan meneliti pengaruh konsentrasi dosis pada kualitas citra, penelitian ini membantu meningkatkan akurasi diagnosis, sehingga memungkinkan deteksi dini dan pengobatan yang lebih tepat pada pasien. Dalam proses pencitraan tulang menggunakan  $^{99}\text{Tc}^{\text{M}}-\text{MDP}$ , konsentrasi dosis yang diberikan pada pasien memiliki peranan penting dalam menghasilkan kualitas citra yang optimal. Konsentrasi dosis yang tepat akan mempengaruhi akurasi diagnosis dan interpretasi citra [7][8]. Dengan mengetahui dosis  $^{99\text{m}}\text{Tc}-\text{MDP}$  yang optimal untuk menghasilkan citra berkualitas, para ahli dapat mengurangi dosis radiasi yang diberikan pada pasien. Ini penting untuk mengoptimalkan manfaat diagnostik sekaligus meminimalkan risiko potensial dari paparan radiasi yang berlebihan. Pengaruh konsentrasi dosis injeksi  $^{99}\text{Tc}^{\text{M}}-\text{MDP}$  terhadap kualitas citra kedokteran nuklir menjadi topik yang menarik untuk diteliti. Pemahaman yang mendalam tentang hubungan antara konsentrasi dosis dan kualitas citra dapat memberikan panduan yang lebih baik dalam praktek kedokteran nuklir, memastikan akurasi diagnosis, dan mengoptimalkan manfaat klinis bagi pasien [9], [10].

Kualitas citra kedokteran nuklir yang baik dapat di nilai dengan perhitungan nilai piksel citra tersebut, dimana makin tinggi nilai piksel maka citra akan semakin tajam atau jelas, sedangkan dalam penilaian resolusi citra dapat dilakukan dengan membandingkan nilai piksel organ tulang yang akan di lihat dengan *soft tissue* sekitar organ tulang yang di nilai [11]. Besaran dosis pemberian radiofarmaka  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}-\text{MDP}$  dapat ditentukan dengan perhitungan pemberian dosis sebenarnya, setelah dikurangi nilai dosis residu pada spuit yang telah digunakan. Penelitian ini di perlukan seberapa besar dosis residu spuit sehingga dapat di ukur pemberian dosis sebenarnya. Waktu pengambilan citra kedokteran nuklir sangat berpengaruh terhadap hasil gambar karena radiofarmaka yang di suntikan melalui pembuluh darah vena akan melalui beberapa proses penyerapan di dalam tubuh hingga sampai ke tulang [12] Menurut ICRP  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}-\text{MDP}$  yang disuntikan ke tubuh melalui pembuluh darah akan mengikuti metabolisme tubuh, masuk ke jantung selanjutnya oleh jantung dipompa ke seluruh tubuh, akan ditahan di dalam tulang sebanyak 50% kemudian diekresikan 50% ke dalam kandung kemih [13]. Dalam penelitian ini untuk mendapatkan kriteria kualitas citra yang baik menggunakan ROI pada tulang dan ROI pada jaringan sehingga dapat diketahui perbedaan nilai kerapatan tulang dan nilai kerapatan jaringan.

Studi penelitian banyak dilakukan untuk menginvestigasi pengaruh konsentrasi dosis injeksi  $^{99}\text{Tc}^{\text{M}}$ -MDP terhadap kualitas citra kedokteran nuklir [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21], [22]. Penelitian-penelitian ini melibatkan desain penelitian yang cermat, pengukuran objektif, dan analisis statistik untuk mengevaluasi dampak variasi konsentrasi dosis pada citra yang dihasilkan. Hasil-hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang berharga dalam penggunaan optimal  $^{99}\text{Tc}^{\text{M}}$ -MDP dan pengambilan keputusan klinis yang tepat.

## METODE PENELITIAN

Penelitian kuantitatif ini meneliti tentang berapa besar pengaruh konsentrasi dosis injeksi  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP terhadap kualitas citra kedokteran nuklir, terdiri atas tiga tahapan yaitu perhitungan aktivitas  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP dengan rumus waktu paruh, pengukuran dosis residu pada spuit dan pengolahan citra kedokteran nuklir dengan software *imageJ* untuk mengetahui nilai piksel pada citra.

Tahap yang dilakukan pada metode penelitian dapat dituliskan sebagai berikut:

1. Menentukan sample pasien yang akan di teliti
2. Perhitungan aktivitas  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP yang akan di suntikan menggunakan rumus waktu paruh dari  $^{99}\text{Tc}$
3. Mengukur dosis radiofarmaka pada spuit sebelum di suntikan.
4. Mengukur dosis radiofarmaka pada spuit setelah di suntikan kepada pasien, untuk mengetahui dosis tinggal pada spuit.
5. Melakukan pengambilan citra kedokteran nuklir dua jam setelah penyuntikan radiofarmaka  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP.
6. Mengolah citra kedokteran nuklir menggunakan *software imageJ* untuk mengetahui nilai piksel.

### Analisis Data Penelitian

Data yang dianalisis dalam penelitian ini adalah hasil pengukuran konsentrasi dosis injeksi menggunakan perhitungan waktu paruh  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ , pengukuran dosis residu pada syring menggunakan *dose calibrator*, data hasil perhitungan dan pengukuran dianalisa menggunakan program statistik *excel*. Pengambilan citra kedokteran nuklir dari 35 pasien 2 jam setelah penyuntikan radiofarmaka  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -MDP. Data citra kedokteran nuklir akan dianalisis menggunakan *software imageJ*.

Beberapa titik citra di tentukan kemudian diukur nilai piksel menggunakan *Region Of Interest (ROI)* pada organ dan softissu, penentuan nilai piksel dilakukan dengan menggunakan grafik, dimana sumbu x adalah sebagai dosis radiofarmaka yang disuntikan kepada pasien, dengan sumbu y nilai piksel yang diperoleh dari *software imageJ*.

Jika hasil yang ditunjukkan grafik menunjukkan puncak nilai piksel, maka pada puncak grafik itulah pemberian dosis yang tepat. Data yang dianalisis dalam penelitian ini adalah hasil pengukuran konsentrasi dosis injeksi menggunakan perhitungan waktu paruh  $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$  sebagai berikut [23]:

$$\frac{Nt}{N_0} = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \quad (1)$$

Dimana :

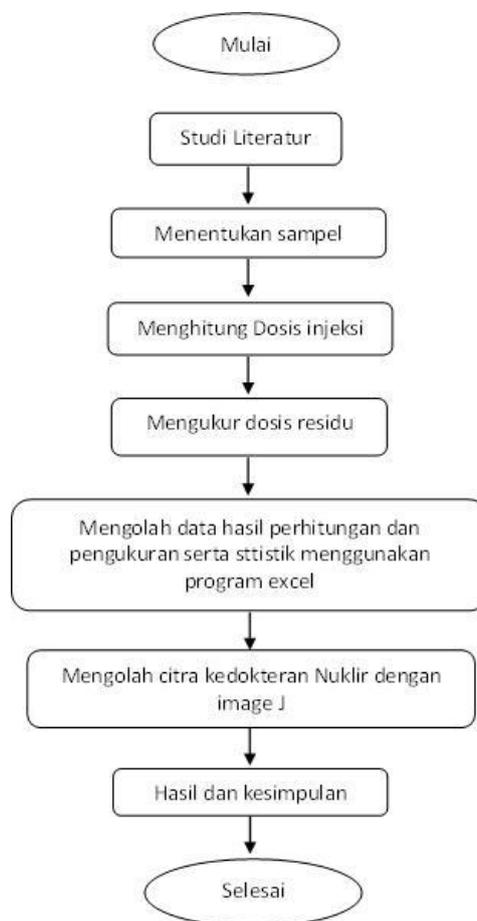
- T : Lamanya waktu peluruhan (t),  
T<sub>1/2</sub> : Waktu paruh unsur radioaktif (T<sub>1/2</sub>:6.02)  
N<sub>0</sub> : Banyaknya atom radioaktif mula-mula.  
N<sub>t</sub> : Banyaknya atom radioaktif tersisa

Pengukuran dosis residu menggunakan *dose calibrator* seperti terlihat pada gambar 1.



**GAMBAR 1.** Proses pengukuran dosis residu spuit menggunakan dose kalibrator (dok.pribadi)

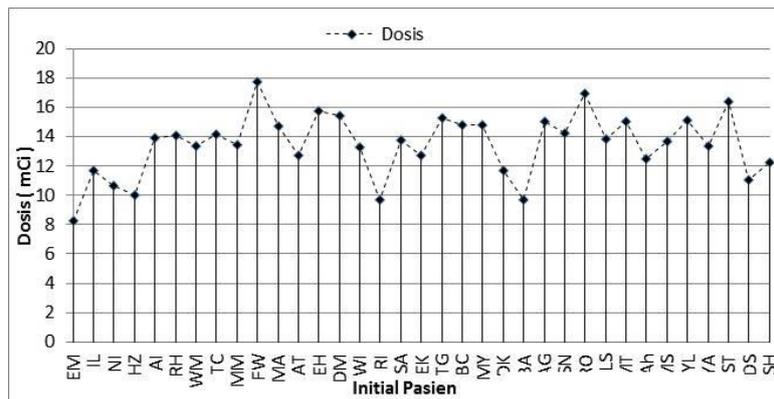
Gambar 2 merupakan bagan alir tahap penelitian mulai dari persiapan alat hingga memperoleh hasil dan kesimpulan.



**GAMBAR 2.** Bagan alur tahapan penelitian.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 merupakan hasil perhitungan konsentrasi dosis radiofarmaka yang di suntikan terhadap pasien, dimana terlihat bervariasi, nilai minimal pemberian dosis injeksi sebesar 8.27 mCi serta nilai maksimal dosis injeksi sebesar 17.75 mCi.



GAMBAR 3. Grafik hubungan konsentrasi dosis radiofarmaka terhadap pasien.

Dosis residu pada spuit di dapatkan dari hasil pengukuran menggunakan *dose calibrator* beberapa saat setelah penyuntikan ke pasien, data diolah menggunakan statistik pada *excel* dan di dapatkan rata-rata dosis residu seperti terlihat pada tabel 1.

TABEL 1. Dosis residu pada *spuit*.

Kriteria	Doisi Residu (mCi)
Minimal	0.442
Rata-rata	1.488
Maksimal	8.550

Dosis injeksi yang diberikan terhadap 35 pasien dengan rata-rata sebesar 11,980 mCi, dosis minimal injeksi sebesar 5,116 mCi kurang dari standar yang telah ditetapkan oleh IAEA dimana dosis minimal seharusnya 10 mCi, dosis maksimal sebesar 16.675 mCi masih dalam batas yang dianjurkan IAEA dibawah 20 mCi.

Setelah diketahui konsentrasi dosis residu pada spuit selanjutnya dosis sebenarnya dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan, dosis injeksi dikurang dosis residu pada spuit adalah dosis sebenarnya yang di injeksikan ke pasien. Hasil dosis sebenarnya berdasarkan perhitungan dapat dilihat pada tabel 2 dan dibagi menjadi tiga kategori.

TABEL 2. Dosis sebenarnya berdasarkan perhitungan.

Kriteria	Jumlah pasien	Persentasi nilai rata-rata (%)
Kurang	18	22.20
Sesuai	10	2.53
Lebih	7	36.51

Pada tabel 2, terlihat bahwa jumlah perhitungan konsentrasi dosis yang disuntikan terhadap 35 pasien dalam penelitian terdapat pemberian konsentrasidosis yang telah ditetapkan berdasarkan berat badan ternyata tidak sesuai, terlihat jumlah pasien yang menerima konsentrasi dosis kurang berdasarkan perhitungan sebanyak 18 pasien dengan persentasi konsentrasi dosis kurang sebesar 22.20 %, terlihat pula pasien yang menerima konsentrasi dosis lebih dari perhitungan yaitu sebanyak 7 pasien dengan rata rata kelebihan konsentrasi dosis sebesar 36.51 %, sedangkan jumlah pasien yang menerima konsentrasi dosis sesuai dengan perhitungan sebanyak 8 pasien dengan persentasi rata-rata konsentrasi dosis pemberian 2.53 %.

Data hasil perhitungan dan pengukuran dianalisa menggunakan program statistik *excel*. Pengambilan citra kedokteran nuklir dari 35 pasien 2 jam setelah penyuntikan radiofarmaka  $^{99}\text{Tc}^m\text{-MDP}$ . Data citra kedokteran nuklir akan dianalisis menggunakan *software imageJ*. Beberapa titik citra di tentukan kemudian diukur nilai piksel menggunakan *Region Of Interest (ROI)* pada organ dan softissu, penentuan nilai piksel dilakukan dengan menggunakan grafik, dimana sumbu x adalah sebagai dosis

radiofarmaka yang disuntikan kepada pasien, dengan sumbu y nilai piksel yang diperoleh dari *software imageJ*. Jika hasil yang ditunjukkan grafik menunjukkan puncak nilai piksel, maka pada puncak grafik itulah pemberian dosis yang tepat.

Didapatkan sebanyak 35 citra kedokteran nuklir dalam penelitian ini, citra di olah dengan menggunakan *software free imageJ* versi 1.46r, Java 1.6.0\_20 (16-bit) untuk mendapatkan kualitas citra yang informatif. Citra kedokteran nuklir berupa DICOM di burning ke DVD-R selanjutnya untuk mendapatkan nilai mean, minimal dan maksimal. Setelah masuk ke *software imageJ* akan muncul gambar DICOM dengan resolusi (256×1024), 16-bit. Sampel citra yang diolah menggunakan *software imageJ* adalah sama. kemudian gambar diperbesar lalu klik “analyze” kemudian “Tools” dan “ROI Manager” setelah muncul ROI Manager kemudian pilih tanda bulat untuk melakukan ROI pada organ tulang yang akan dinilai, dalam penelitian ini tulang yang akan diteliti yaitu posisi *antero posterior* tulang vertebrae lumbal V, tulang humerus dextra dan tulang femur dektra untuk mendapatkan perbandingan penyerapan radiofarmaka  $^{99}\text{Tc}^m$  maka selain melakukan ROI pada tulang juga dilakukan pengukuran ROI pada *soft tissue* sebagai *background* pada setiap organ sehingga akan diketahui nilai dari resolusi gambar penyerapan  $^{99}\text{Tc}^m$  dengan cara membandingkan antara nilai organ dengan nilai *soft tissue*. Untuk mendapatkan nilai ROI maka langkah selanjutnya yaitu mengubah nilai *specipy* pada *width* menjadi 5 dan *height* 5, dimana untuk menyeragamkan besarnya volume ROI pada setiap gambar yang akan diteliti. Setelah merubahnya kemudian tekan Ctrl dan “M” secara bersamaan untuk menyimpan file data yang telah di dapatkan. Proses pengumpulan data hasil ROI menggunakan *software excel* dan di kelompokkan menjadi hasil ROI yang berbeda sesuai organ tulang yang di nilai seperti pada tabel 3.

**TABEL 3.** Hasil pengukuran *mean* citra organ tulang lumbal.

Piksel	<i>Antero Posterior</i>		<i>Postero Anterior</i>	
	Tulang Lumbal	<i>Background Lumbal</i>	Tulang Lumbal	<i>Background Lumbal</i>
Mean	28.935	8.641	37.543	8.230
Minimal	7.476	3.143	14.238	3.333
Maksimal	63.048	19	76.524	23.095

Nilai piksel citra kedokteran nuklir vertebrae lumbal posisi *antero posterior* sebesar 28.935 dengan nilai piksel antara 7.476 – 63.048 lebih kecil dibandingkan dengan citra posisi *postero anterior* sebesar 37.543 dengan nilai piksel antara 14.238 – 76.524. Resolusi citra kedokteran nuklir vertebrae lumbal posisi *postero anterior* resolusinya lebih baik dibandingkan dengan resolusi citra kedokteran nuklir posisi *antero posterior*. Sebaliknya nilai *background* posisi *postero anterior* lebih tinggi dua kalinya jika dibandingkan dengan nilai *background* posisi *antero posterior* dapat dilihat pada tabel 4.

**TABEL 4.** Hasil pengukuran *mean* citra organ tulang humerus.

Piksel	<i>Antero Posterior</i>		<i>Postero Anterior</i>	
	Tulang Humerus	<i>Background Humerus</i>	Tulang Humerus	<i>Background Humerus</i>
Mean	11.437	3.650	9.450	3.956
Min	3.429	0.18	2.476	0.19
Max	27.952	14.238	35.619	22.714

Pada citra kedokteran nuklir humerus posisi *antero posterior* cenderung lebih tinggi nilai pikselnya dibanding dengan posisi *postero anterior* dimana pada posisi *antero posterior* rata-rata nilai piksel sebesar 11.437 dengan resolusi 3.429 sampai dengan 27.952 dan posisi *postero anterior* nilai piksel yang didapat sebesar 9.450 dengan resolusi antara 2.476 sampai 35.619, namun nilai maksimal ada pada posisi *postero anterior* sebesar 35.619 piksel dapat dilihat pada tabel 5.

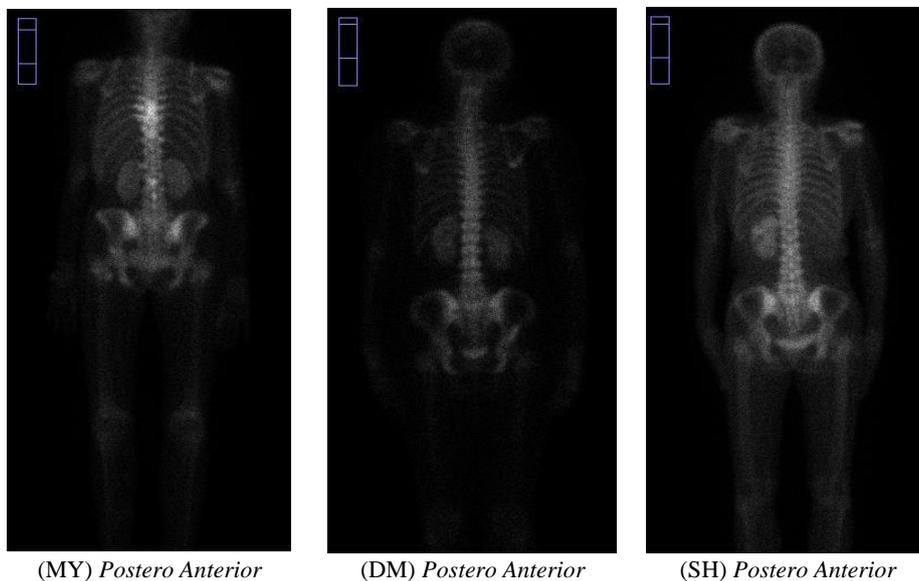
**TABEL 5.** Hasil pengukuran *mean* organ tulang femur.

Piksel	Antero Posterior		Postero Anterior	
	Tulang Femur	Background Femur	Tulang Femur	Background Femur
Mean	13.179	5.109	9.117	4.814
Min	5.619	2.143	3.905	1.762
Max	25.476	12.952	25.476	12.857

Pada tabel 5 terlihat citra kedokteran nuklir tulang femur posisi *antero posterior* nilai mean rata-rata lebih tinggi dibandingkan dengan posisi *postero anterior* namun nilai maksimal yang didapatkan dari kedua proyeksi sama yaitu sebesar 25.476 piksel. Tabel 6 membandingkan piksel organ tulang dengan *background*.

**TABEL 6.** Perbandingan piksel organ tulang dengan *background*.

Piksel	Organ Tulang	Background	Inisial
Rata-rata	37.905	11.143	MY
Min	2.476	1.238	DM
Max	76.524	19.048	SH



**GAMBAR 3.** Citra kedokteran nuklir berdasarkan perbandingan piksel organ tulang dengan piksel *background*.

Dari ketiga citra kedokteran nuklir diatas menurut standar yang telah ditetapkan oleh EANM dapat kita lihat bahwa gambaran tulang rusuk yang jelas pada pandangan *anterior* dan *posterior*, gambaran vertebral jelas dan visualisasi detail tulang belakang pada gambaran *posterior*, tampak prosesus spinosus, prosesus transversal dan diskus intervertebralis dan penampilan tulang di daerah sakral dan sendi *sacro iliac* pada tampilan *posterior*.

Semakin baik resolusi citra maka semakin banyak pixel dalam sebuah citra, sehingga citra kedokteran nuklir yang baik mempunyai resolusi tinggi, kualitas semakin tinggi maka detail citra akan semakin jelas. Penelitian dengan menggunakan *software imageJ* mampu memberikan informasi besarnya nilai piksel pada citra gambar kedokteran nuklir, itu yang menjadi alasan kenapa dalam penelitian ini penulis mengolah citra kedokteran nuklir menggunakan *imageJ*. Hasil pengolahan citra kedokteran nuklir menunjukkan bahwa citra dari tulang *vertebrae lumbal* dan citra tulang *humerus* lebih terlihat jelas pada posisi *anterior postero* dikarenakan objek tulang *vertebrae lumbal* lebih dekat dengan detektor, untuk tampilan tulang femur cenderung lebih jelas dari *anterior postero*.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang pengaruh konsentrasi dosis injeksi  $^{99}\text{Tc}^m$  – MDP terhadap citra kedokteran nuklir pada 35 pasien sebagai sampel yang telah diteliti dapat disimpulkan. Beberapa sampel penelitian tentang nilai konsentrasi dosis kali ini sangatlah penting dan tidak dapat diabaikan dimana telah ditemukan tingginya dosis residu pada spuit sehingga berpengaruh terhadap nilai piksel dimana paling rendah yaitu 14.238 diperoleh dari pemberian dosis injeksi 5.70 mCi, seharusnya diberikan dosis injeksi sebesar 14.23 mCi. Pemberian konsentrasi dosis injeksi mempengaruhi hasil citra kedokteran nuklir dimana terlihat pada hasil citra yang menunjukkan gambaran vertebral tidak begitu jelas dan visualisasi detail tulang belakang pada gambaran posterior kurang, diskus intervertebralis kurang tegas dan penampilan tulang di daerah sakral dan sendi sacro iliac pada tampilan posterior tampak sedikit suram.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. E. Rosilawati, I. Nasution, and T. W. Murni, "Penggunaan Radiofarmaka Untuk Diagnosa Dan Terapi Di Indonesia Dan Asas Keamanan Penggunaan Obat," *Soepra*, vol. 3, no. 1, p. 60, 2018, doi: 10.24167/shk.v3i1.697.
- [2] P. A. Erba and O. Israel, "SPECT/CT in infection and inflammation," *Clin. Transl. Imaging*, vol. 2, no. 6, pp. 519–535, 2014, doi: 10.1007/s40336-014-0092-9.
- [3] BAPETEN, "Pedoman Teknis Penerapan Tingkat Panduan Diagnostik Indonesia (Indonesian Diagnostic Reference Level)," no. 8, pp. 1–54, 2021.
- [4] R. Awaludin, "Radioisotop Teknesium-99m dan Kegunaannya," *Bul. Al.*, vol. 13, no. 2, pp. 61–66, 2011.
- [5] S. C. Saunders, *Requisites*. 2007.
- [6] R. Setiawati, *Imejing Pada Penyakit Infeksi Muskuloskeletal*. Airlangga University Press, 2023.
- [7] J. C. Dickson *et al.*, "EANM practice guideline for quantitative SPECT-CT," *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, vol. 50, no. 4, pp. 980–995, 2023, doi: 10.1007/s00259-022-06028-9.
- [8] Chad Adams; Kevin P. Banks, "Bone Scan," 2022. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK531486/>.
- [9] I. N. Islami, N. R. Hidayati, T. H. A. Wibawa, I. Iswahyudi, I. Daruwati, and M. N. Subkhi, "Studi Awal Estimasi Dosis Internal  $^{99m}\text{Tc}$ -Mdp Hasil Produksi Pstnt-Batan Pada Manusia Untuk Deteksi Metastasis Dan Inflamasi Tulang Berbasis Uji Biodistribusi Hewan Model Mencit," *GANENDRA Maj. IPTEK Nukl.*, vol. 22, no. 2, p. 85, 2019, doi: 10.17146/gnd.2019.22.2.5302.
- [10] T. B. Bartel *et al.*, "SNMMI procedure standard for bone scintigraphy 4.0," *J. Nucl. Med. Technol.*, vol. 46, no. 4, pp. 398–404, 2018.
- [11] Iaea, "Quantitative Nuclear Medicine Imaging: Concepts, Requirements and Methods," *Iaea Hum. Heal. Reports*, vol. 9, p. 59, 2014, [Online]. Available: <http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10380/Quantitative-Nuclear-Medicine-Imaging-Concepts-Requirements-and-Methods>.
- [12] G. A. Schlapper, "Measurement and Detection of Radiation," *Nucl. Technol.*, vol. 67, no. 1, pp. 182–183, Apr. 1984, doi: 10.13182/nt84-a33542.
- [13] E. Vañó *et al.*, *Annals of the ICRP*, vol. 44, no. 1. 2015.
- [14] A. Halimatussyakdiah, D. Milvita, and F. Nazir, "Analisis Tc-99m Sestamibi Pada Perempuan Kanker Payudara Menggunakan Teknik Region of Interest (ROI) di Laboratorium In-vivo PTKMR-BATAN," *J. Fis. Unand*, vol. 9, no. 4, pp. 545–549, 2021, doi: 10.25077/jfu.9.4.545-549.2020.

- [15] D. Intokiyah, T. H. A. Wibawa, I. Iswahyudi, N. R. Hidayati, I. Daruwati, and Y. S. Perkasa, "ESTIMASI DOSIS Tc-99m GLUTATION UNTUK DIAGNOSA KANKER KEPALA DAN LEHER BERDASARKAN UJI BIODISTRIBUSI HEWAN MODEL MENCIT," *J. Sains dan Teknol. Nukl. Indones.*, vol. 20, no. 1, p. 19, 2019, doi: 10.17146/jstni.2019.1.1.4631.
- [16] J. H. Saragih, R. Irhas, F. Nazir, and B. Santoso, "Uptake Radioaktivitas Tc-99m Mdp pada Daerah Lutut dan Sacroiliac Joints dari Pasien Kanker Prostat yang Dilakukan Pemeriksaan Bone Scan," *Pros. Pertem. Dan Present. Ilm. Penelit. Dasar Ilmu Pengetah. Dan Teknol. Nukl.*, no. May 2019, pp. 303–312, 2018, doi: 10.13140/RG.2.2.18915.20000.
- [17] D. A. Tunggadewi, S. L. Azmi, and B. Santosa, "Analisis Radiofarmaka Tc 99m MDP Pada Daerah Tulang Belakang Pasien Kanker Payudara," vol. 19, 2022.
- [18] J. R. Crowley, I. Barvi, D. Greulich, and J. W. Kiser, "Detection of Excess Presence of 99mTc-MDP Near Injection Site—A Case Report," *Front. Med.*, vol. 8, no. September, pp. 1–6, 2021, doi: 10.3389/fmed.2021.728542.
- [19] D. S. Utamingtiyas, J. A. E. Noor, and N. R. Hidayati, "Evaluasi Akurasi Aktivitas Tc-99m pada Single Organ dan All Organ Menggunakan Kamera Gamma Mediso Anyscan S Dual Head dan Fantom Antropomorfik," *Nat. B*, vol. 3, no. 3, pp. 247–252, 2016.
- [20] T. Van den Wyngaert *et al.*, "The EANM practice guidelines for bone scintigraphy," *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging*, vol. 43, no. 9, pp. 1723–1738, 2016, doi: 10.1007/s00259-016-3415-4.
- [21] A. K. and E. T. Donald Cedar, Stacy Lott, "Assessment of bone scan image quality based on Tc99mMDP dose amount," *Journal of Nuclear Medicine Technology*, 2011. [https://jnm.snmjournals.org/content/52/supplement\\_1/2408](https://jnm.snmjournals.org/content/52/supplement_1/2408).
- [22] W. Indriani, D. Milvita, and F. Nazir, "Uptake Radiofarmaka Tc99m MDP pada Daerah Panggul dan Kepala dalam Menentukan Metastasis Tulang Pasien Kanker Prostat," *J. Fis. Unand*, vol. 6, no. 1, pp. 24–28, 2017, doi: 10.25077/jfu.6.1.24-28.2017.
- [23] Kenneth S. Krane, *INTRODUCTORY NUCLEAR PHYSICS*. 1988.