

**ASESMEN PAPARAN RADIASI PASIEN SIDIK
TULANG MENGGUNAKAN ^{99m}Tc -MDP DI BAGIAN
KEDOKTERAN NUKLIR RSUP Dr SARDJITO
YOGYAKARTA**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan oleh:

Anjaly Misbahaty

20106020024

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UIN SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2024



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1672/Un.02/DST/PP.00.9/08/2024

Tugas Akhir dengan judul : Asesmen Paparan Radiasi Pasien Sidik Tulang menggunakan ^{99m}Tc -MDP di Instalasi Kedokteran Nuklir RSUP Dr Sardjito Yogyakarta

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : ANJALY MISBAHATY
Nomor Induk Mahasiswa : 20106020024
Telah diujikan pada : Selasa, 27 Agustus 2024
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Dr. Nita Handayani, S.Si, M.Si
SIGNED

Valid ID: 66cfe0df11d03



Penguji I
Anis Yuniati, S.Si., M.Si., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 66ef2b43e2702



Penguji II
Andi, M.Sc.
SIGNED

Valid ID: 66ceebdfce90b



Yogyakarta, 27 Agustus 2024
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 66cfe8b466ad5

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anjaly Misbahaty

NIM : 20106020024

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Asesmen Paparan Radiasi Pasien Sidik Tulang menggunakan ^{99m}Tc -MDP di Instalasi Kedokteran Nuklir RSUP Dr Sardjito Yogyakarta ” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 22 Agustus 2024

Penulis



Anjaly Misbahaty
NIM. 20106020024



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi
Lamp : -

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : ANJALY MISBAHATY
NIM : 20106020024
Judul Skripsi : Asesmen Paparan Radiasi Pasien Sidik Tulang menggunakan ^{99m}Tc -MDP di Instalasi Kedokteran Nuklir RSUP Dr Sardjito Yogyakarta

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Pembimbing II

Nur Endah Sari, S.Si., M.Si.
NIP. 19930911 000000 2 301

Yogyakarta, 22 Agustus 2024

Pembimbing I

Dr. Nita Handayani, S.Si., M.Si.
NIP. 19820126 200801 2 008

MOTTO

**Hidupnya Ilmu itu dari Belajar, Mengingat, dan Mengamalkan
Ilmu yang dimiliki**

KH. Abdussalam Shohib



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
PERSEMBAHAN
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk Kedua Orang tua saya, beliau yang menjadi alasan saya bisa berada dan bertahan di Universitas ini, kerja keras dan doa beliau yang dapat menjadikan saya sebagai anak yang sukses dunia akhirat.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh,

Segala puji kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “**Asesmen paparan radiasi pasien sidik tulang menggunakan $^{99m}\text{Tc-MDP}$ di Bagian Kedokteran Nuklir RSUP DR Sardjito Yogyakarta**”. Sholawat serta salam senantiasa tercurah-limpahkan kepada baginda nabi Muhammad SAW yang diharapkan syafa'at-nya di hari akhir kelak.

Penelitian skripsi ini merupakan syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana pada Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta. Penulisan tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Dalam hal ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Phil. Al Makin, S.Ag., M.A. selaku rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Prof Dr. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Anis Yuniati, M.Si., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
4. Bapak Andi, M.Sc., selaku Dosen Penasihat Akademik.

5. Ibu Dr. Nita Handayani, M.Si. selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan, motivasi, serta meluangkan waktu dengan sabar dan Ikhlas kepada penulis dalam proses menyelesaikan tugas akhir.
6. Ibu Nur Endah Sari, M.Si. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan arahan, bimbingan, motivasi, serta meluangkan waktu dengan sabar dan Ikhlas kepada penulis dalam proses menyelesaikan tugas akhir.
7. Ibu Anis Yuniati, M.Si., Ph.D. dan ibu Dr. Nita Handayani, M.Si. selaku pembimbing study Club Biofisika dan Fisika Medis yang telah memberikan arahan kepada penulis selama proses penelitian hingga menyelesaikan tugas akhir.
8. Segenap Dosen Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan berbagai pengalaman baik melalui pembelajaran mata kuliah maupun pelatihan kepada penulis.
9. Orang tua tercinta, Bapak Abdullah Al Mubarak dan Ibu Siti Nikmatul Haniyah yang senantiasa mendukung serta memberikan semua hal luar biasa baik secara do'a, materi, dan semangat kepada penulis dimanapun dan kapanpun penulis melangkah.
10. Untuk kakak Lu'lu'il Maknun dan adik Nu'ma Nafi'ah tersayang yang selalu memberikan dukungan, motivasi dan selalu menjadi penyemangat dalam setiap langkah pendidikan penulis hingga menempuh jenjang sarjana ini. Semoga kita bisa menjadi anak-anak yang berbakti serta dapat membanggakan kedua orang tua.

Tidak ada kata yang dapat penulis ucapkan melainkan ucapan terima kasih banyak, semoga diberi kesehatan, keberkahan, dan kebahagiaan dari Allah SWT. Penulis mengharapkan kritik serta saran yang membangun, semoga tugas akhir ini bisa memberikan manfaat bagi masyarakat dan perkembangan ilmu pengetahuan. Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 22 Agustus 2024

Penulis.



**ASESMEN PAPARAN RADIASI PASIEN SIDIK TULANG
MENGUNAKAN ^{99m}Tc -MDP DI BAGIAN KEDOKTERAN NUKLIR
RSUP Dr SARDJITO YOGYAKARTA**

**Anjaly Misbahaty
20106020024**

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan nilai laju paparan radiasi rata-rata pada pasien sidik tulang ^{99m}Tc -MDP berdasarkan jarak, waktu, dan arah pengukuran yang berbeda, dan menentukan estimasi laju paparan radiasi berdasarkan nilai koefisien regresi. Hasil analisis laju paparan radiasi rata-rata pasca scan kemudian dibandingkan dengan nilai batas dosis. Pengukuran laju paparan radiasi dilakukan pada pasien sidik tulang ^{99m}Tc -MDP sebanyak 50 orang, pada jarak 30 cm, 60 cm, 100 cm, dan 200 cm. Pengukuran dilakukan pasca injeksi radiofarmaka ^{99m}Tc -MDP dan pasca scan pada arah anterior dan posterior sejajar dengan dada dan punggung pasien. Informasi laju paparan radiasi rata-rata digunakan untuk menentukan estimasi nilai koefisien regresi berdasarkan jarak dan waktu menggunakan analisis regresi eksponensial. Informasi laju paparan radiasi pasca scan digunakan untuk analisis terhadap nilai batas dosis radiasi berdasarkan PERKA BAPETEN nomor 17 tahun 2012. Nilai laju paparan radiasi rata-rata mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak terhadap sumber, sesuai dengan persamaan invers kuadrat. Laju paparan radiasi juga menurun seiring dengan bertambahnya waktu. Pengukuran dari arah posterior menghasilkan laju paparan yang sedikit lebih tinggi dibandingkan pengukuran dari arah anterior. Nilai laju paparan radiasi rata-rata dalam penelitian ini memiliki sifat koefisien negatif sempurna, dikonfirmasi dengan hasil analisis regresi eksponensial. Nilai laju paparan radiasi rata-rata pasca scan terhadap pasien sidik tulang ^{99m}Tc -MDP dinyatakan aman pada jarak 100 cm dan masih berada di bawah batas dosis masyarakat.

Kata kunci: Laju paparan radiasi, Sidik tulang, ^{99m}Tc -MDP, estimasi koefisien regresi, nilai batas dosis.

**ASSESSMENT OF RADIATION EXPOSURE OF BONE SCINTIGRAPHY
PATIENTS USING ^{99m}Tc -MDP IN NUCLEAR MEDICINE DEPARTMENT
Dr SARDJITO GENERAL HOSPITAL YOGYAKARTA**

Anjaly Misbahaty
20106020024

ABSTRACT

This study aims to determine the average radiation exposure rate value in ^{99m}Tc -MDP bone scan patients based on different distance, time, and direction of measurement, and determine the estimated radiation exposure rate based on the regression coefficient value. The results of the post-scan average radiation exposure rate analysis were then compared with the dose limit value. Radiation exposure rate measurements were performed on 50 ^{99m}Tc -MDP bone scan patients, at distances of 30 cm, 60 cm, 100 cm, and 200 cm. Measurements were made post-injection of ^{99m}Tc -MDP radiopharmaceutical and post-scan in the anterior and posterior directions parallel to the patient's chest and back. The average radiation exposure rate information was used to determine the estimated regression coefficient values based on distance and time using exponential regression analysis. Post-scan radiation exposure rate information is used for analysis of radiation dose limit values based on PERKA BAPETEN number 17 of 2012. The average radiation exposure rate decreased as the distance to the source increased, in accordance with the inverse square equation. The radiation exposure rate also decreases with increasing time. Measurements from the posterior direction resulted in a slightly higher exposure rate than measurements from the anterior direction. The average radiation exposure rate in this study had a perfectly negative coefficient, confirmed by the results of the exponential regression analysis. The post-scan average radiation exposure rate value to ^{99m}Tc -MDP bone scan patients was declared safe at a distance of 100 cm and was still below the community dose limit.

Keywords: Radiation exposure rate, Bone scan, ^{99m}Tc -MDP, regression coefficient estimation, dose limit value.

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii.
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI DAN TUGAS AKHIR	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
INTISARI	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	6
1.4 Batasan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Studi Pustaka.....	8
2.2 Landasan Teori	13
2.2.1 Sidik Tulang.....	13
2.2.2 Radionuklida.....	15
2.2.3 Dosimetri dan Proteksi Radiasi	19
2.2.4 Gamma Kamera	27
2.2.5 Survei meter.....	33
BAB III METODE PENELITIAN	38

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	38
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	38
3.3	Tahapan penelitian	39
3.3.1	Studi Literatur.	40
3.3.2	Persiapan pengukuran dosis radiasi.	40
3.3.3	Pengukuran paparan radiasi dengan variasi waktu, jarak, dan arah paparan.....	41
3.3.4	Analisis Data.....	42
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		45
4.1	Laju Paparan Radiasi Rata-Rata.....	45
4.2	Analisis Estimasi Koefisien Regresi.....	49
4.3	Analisis Nilai Batas Paparan Berdasarkan PERKA BAPETEN ...	54
4.4	Integrasi Interkoneksi.....	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		60
5.1	Kesimpulan	60
5.2	Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....		62
LAMPIRAN.....		67

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Studi pustaka.....	12
Tabel 2.2 Lanjutan.	13
Tabel 2.3 produksi ^{99m}Tc (Nagai, 2021).	18
Tabel 2.4 Tingkat panduan aktivitas radionuklida pasien diagnostik tulang (BAPETEN, 2012).	19
Tabel 2.5 Satuan dosimetri dalam pencitraan medis (Vano dkk, 2021).	20
Tabel 2.6 Nilai batas dosis radiasi untuk pekerja radiasi (BAPETEN, 2012).	23
Tabel 2.7 Nilai batas dosis radiasi untuk anggota Masyarakat (BAPETEN, 2012).	24
Tabel 2.8 Aktivitas dan laju paparan untuk rilis pasien (BAPETEN, 2020b).	25
Tabel 2.9 Sifat-sifat Scintillation crystal yang digunakan dalam kamera gamma (Magdy, 2021).	31
Tabel 3.2 Alat Penelitian.....	38
Tabel 3.4 Data pengukuran paparan radiasi.....	42
Tabel 3.5 Rata-rata dosis radiasi \pm standar deviasi (rentang: dosis minimal - maksimal) ($\mu\text{Sv}/\text{jam}$).....	43
Tabel 3.6 Perkiraan laju paparan radiasi berdasarkan jarak.	44
Tabel 4.1 Laju paparan radiaai rata-rata.....	46
Tabel 4.2 Nilai persamaan regresi eksponensial pada arah anterior.....	50
Tabel 4.3 Nilai persamaan regresi eksponensial pada arah posterior.....	52
Tabel 4.4 Perkiraan nilai laju paparan radiasi berdasarkan jarak dan waktu dalam persamaan regresi eksponensial.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sidik Tulang (anterior dan posterior) (Varga, 2018).....	15
Gambar 2.2 Peluruhan ^{99}Mo menjadi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ (Hasan & Prelas, 2020).....	19
Gambar 2.3 Gamma Kamera.	28
Gambar 2.4 Tiga jenis kolimator (a) Parallel-hole geometry, (b) Pinhole geometry. (c) Divergent collimator (Magdy, 2021).	29
Gambar 2.5 Skema PMT dan struktur internal (Magdy, 2021).	32
Gambar 2.6 Survei meter.....	34
Gambar 2.7 Hubungan antara tegangan dan muatan dalam detektor isian gas (Domenech, 2017).	35
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	39
Gambar 3.2 Skema pengukuran.....	41
Gambar 3.3 Contoh grafik hubungan laju dosis rata-rata antara jarak dan waktu pada arah anterior dan posterior (Marshall dkk, 2023).	44



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Form Pengambilan data	68
Lampiran 2 Data Hasil Penelitian	69
Lampiran 3 Perhitungan	82
Lampiran 4 Hasil Analisis Regresi Eksponensial.....	84
Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian	87



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Sidik tulang merupakan pemeriksaan yang digunakan untuk diagnosis dan mengikuti perjalanan penyakit. Sidik tulang dapat digunakan untuk mendeteksi penyebaran kanker, kelainan patologis, atau mengukur respon pasien terhadap radioterapi. Sidik tulang merupakan salah satu prosedur pencitraan diagnostik kedokteran nuklir yang paling sering dilakukan, sidik tulang memiliki peran utama dalam diagnosis *Calcaneus Fractures* (CF). Sidik tulang mampu menyediakan survei tulang seluruh tubuh dengan cepat dan layak digunakan dalam mengkaji beberapa penyakit patologis (Mattar, 2022). Dihasilkannya survey tulang seluruh tubuh dalam prosedur sidik tulang dibutuhkan adanya radiofarmaka, radiofarmaka yang digunakan sesuai dengan karakteristik fisik yang dibutuhkan.

Beberapa radiofarmaka yang digunakan untuk sidik tulang seperti ^{99m}Tc -MDP, ^{18}F -NaF, ^{18}F -FDG, ^{68}Ga -PSMA, dan lain sebagainya. Penggunaan ^{99m}Tc -MDP dalam prosedur diagnostik lebih sering digunakan untuk sidik tulang dibandingkan radiofarmaka lainnya (Qi dkk, 2021). ^{99m}Tc -MDP merupakan radiofarmaka yang paling sensitif untuk mendeteksi metastasis tulang pada pasien yang diketahui mengidap kanker (Zhang dkk, 2019).

^{99m}Tc (Teknisium-99m) merupakan isomer nuklir metastabil dari ^{99}Tc . ^{99m}Tc merupakan radionuklida yang banyak digunakan dalam pencitraan diagnosis karena ^{99m}Tc memiliki nilai emisi gamma monoenergetik 140 KeV, waktu paruh 6,04 jam, dan mengalami peluruhan 94% dalam waktu 24 jam (Marshall dkk, 2023). ^{99m}Tc

diproduksi dari ^{99}Mo dengan *Low Specific Activity (LSA)* atau aktifitas spesifik yang rendah, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ diperoleh langsung dari reaksi nuklir $^{100}\text{Mo}(p,2n)^{99\text{m}}\text{Tc}$, yaitu isotop Molibdenum-100 ditembakkan dengan proton, kemudian menghasilkan radionuklida Teknisium-99m dengan memancarkan dua neutron (Mitra dkk, 2020). Dalam proses diagnostik radionuklida dikombinasikan dengan penargetan bahan kimia untuk membentuk radiofarmaka yang akan didistribusikan dalam tubuh sesuai dengan karakteristik fisik dan kimia. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ secara kimiawi terikat pada beberapa zat kimia bioaktif dan menghasilkan radiofarmaka yang digunakan untuk pencitraan fungsional dari berbagai organ (Gunay dkk, 2019). Untuk menganalisis pembentukan tulang yang berhubungan dengan penyakit jinak dan ganas digunakan radiotracer dengan Methylene Di-Phosphonate (MDP) untuk membentuk $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP (Marshall dkk, 2023). $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MDP merupakan senyawa utama yang digunakan untuk sidik tulang. MDP beredar dalam aliran darah kurang lebih 3 - 5 jam setelah radiofarmaka diinjeksikan ke dalam tubuh pasien, setelah MDP beredar ke seluruh bagian tubuh kemudian dilakukan pencitraan tulang pada tubuh pasien (Mattar, 2022).

Seiring berkembangnya aplikasi dalam bidang kedokteran nuklir, terdapat beberapa alat yang digunakan untuk mengukur tingkat radiasi yang diterima seseorang, seperti alat ukur proteksi radiasi (personal dosimeter dan monitor kontaminasi), dosimetri saku, dan survei meter. Personal dosimeter digunakan untuk menghitung dosis radiasi yang diterima seseorang secara akumulasi dalam waktu tertentu. Survei meter untuk menghitung laju paparan radiasi secara langsung dalam cacah per menit atau mR/jam. Monitor kontaminasi digunakan untuk

menghitung tingkat kontaminasi zat radioaktif di berbagai tempat seperti udara, kulit, maupun tempat kerja. Untuk menghitung nilai laju paparan dosis radiasi secara langsung yang dihasilkan oleh radiofarmaka ^{99m}Tc -MDP pada pasien dapat digunakan survei meter (Samsun dkk, 2023).

Survei meter merupakan instrumen pengukur laju paparan radiasi, yang diutamakan dalam pengukuran radiasi eksternal. Survei meter dapat digunakan dalam pengukuran radiasi sinar-x, alfa, beta, gamma, dan neutron. Pemilihan survei meter dapat ditentukan berdasarkan jenis radiasi, energi radiasi, dan kondisi pada tempat kerja. Survei meter dapat menghasilkan data secara langsung pada proses pengukuran. Pengukuran yang menerapkan cara arus (*current mode*) menghasilkan nilai intensitas radiasi, yang mana nilai intensitas tersebut dikonversikan dalam satuan laju paparan, seperti R/jam atau $\mu\text{Sv}/\text{jam}$ ($1 \text{ R} = 10000 \mu\text{Sv}$) (Septiyanti, 2020).

Berdasarkan PERKA BAPETEN nomor 17 Tahun 2012 tentang keselamatan radiasi dalam kedokteran nuklir, tertulis bahwasannya persyaratan proteksi radiasi dalam kedokteran nuklir salah satunya yaitu pemantauan tingkat paparan radiasi dan kontaminasi di daerah kerja dan pemantauan berkala paparan radiasi eksterna dengan menggunakan survei meter. Pemantauan dosis radiasi terhadap pasien dan staf medis perlu dilakukan untuk mencegah efek deterministik dan mengurangi resiko efek stokastik (Hung dkk, 2023).

Dalam penelitian yang dilakukan Rehani dkk pada tahun 2020, dari 2.504.585 pasien yang menjalani pemeriksaan CT pada periode antara 1 hingga 5 tahun, 33.407 (1,33%) pasien menerima dosis efektif kumulatif $\geq 100 \text{ mSv}$ (Rehani dkk,

2020). Batas dosis efektif tahunan untuk staf radiasi yang ditetapkan oleh ICRP yaitu dosis maksimum setiap tahun sebesar 50 mSv dan memiliki rata-rata per tahun sebesar 20 mSv/tahun (ICRP, 2007), untuk pasien dewasa sebesar 2,9 – 4,2 mSv, dan untuk masyarakat maksimum 1 mSv (Marshall dkk, 2023). Untuk itu perlu dikaji paparan radiasi pada lingkungan pasien yang melakukan pemeriksaan menggunakan radiofarmaka, dalam hal ini pemantauan radiasi dilakukan pada prosedur diagnostik sidik tulang yang dinilai paling efektif digunakan untuk mendeteksi kelainan pada tulang.

Diagnosis merupakan penilaian klinis tentang respon individu terhadap suatu masalah kesehatan, hal ini sangat penting untuk memantau penyakit serta menentukan prognosa. Dalam QS Asy-Syu'ara' ayat 80 dijelaskan bahwasannya Allah SWT maha memberi kesembuhan dari segala penyakit.

وَإِذَا مَرِضْتُ فَهُوَ يَشْفِينِ^٧

Artinya: “Apabila aku sakit, Dialah yang menyembuhkanku”.

Dalam ayat di atas menegaskan suatu keyakinan umat islam, yaitu Allah maha memberikan kesembuhan. Al-Quran atau firman Allah merupakan Kitab Suci yang menjelaskan panduan bagi umat Islam agar selamat dan bahagia di dunia dan akhirat. Kesehatan, obat, dan arahan terhadap pasien dijelaskan secara global dalam Al-quran (LPMQ, 2019).

حَدَّثَنَا هَارُونُ بْنُ مَعْرُوفٍ حَدَّثَنَا ابْنُ وَهْبٍ حَدَّثَنَا عَمْرُو بْنُ الْحَارِثِ عَنْ عَبْدِ رَبِّهِ بْنِ سَعِيدٍ عَنْ أَبِي الزُّبَيْرِ عَنْ جَابِرٍ عَنِ النَّبِيِّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ أَنَّهُ قَالَ لِكُلِّ دَاءٍ دَوَاءٌ فَإِذَا أَصَبْتَ دَوَاءَ الدَّاءِ بَرَأَ بِإِذْنِ اللَّهِ تَعَالَى

Artinya: “Setiap penyakit ada obatnya, jika obat dari suatu penyakit itu tepat, ia akan sembuh dengan izin Allah SWT” (HR. Muslim).

Dalam hadits Nabi di atas dijelaskan bahwasannya mempelajari ilmu dan metode yang tepat dalam kesehatan ataupun prosedur pengobatan dirasakan sangat perlu, hal ini perlu dilakukan agar sesuai dengan pandangan Al-Qur’an dan hadis Nabi Muhammad saw. Pada penelitian ini dilakukan pengukuran laju paparan radiasi pasien yang menjalani pemeriksaan sidik tulang menggunakan radiofarmaka ^{99m}Tc -MDP dengan variasi jarak, waktu, dan arah paparan yang dilakukan pada Bagian Kedokteran Nuklir RSUP Dr. Sardjito Yogyakarta menggunakan survei meter.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara menentukan laju paparan radiasi rata-rata pada pasien pemeriksaan sidik tulang berdasarkan variasi jarak, waktu, dan arah pasca-injeksi radiofarmaka ^{99m}Tc -MDP?
2. Berapa hasil estimasi koefisien regresi berdasarkan jarak dan waktu pasca-injeksi radiofarmaka ^{99m}Tc -MDP?

3. Bagaimana hasil analisis laju paparan radiasi pasien pemeriksaan sidik tulang ^{99m}Tc -MDP pasca-sidik berdasarkan nilai batas dosis radiasi terhadap masyarakat?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Melakukan pengukuran laju paparan radiasi rata-rata pada pasien pemeriksaan sidik tulang berdasarkan jarak, waktu, dan arah yang berbeda pasca-injeksi radiofarmaka ^{99m}Tc -MDP.
2. Menentukan estimasi nilai koefisien regresi berdasarkan jarak dan waktu pasca-injeksi radiofarmaka ^{99m}Tc -MDP.
3. Menganalisis nilai laju paparan radiasi pasien pemeriksaan sidik tulang ^{99m}Tc -MDP pasca-sidik berdasarkan nilai batas dosis radiasi terhadap masyarakat.

1.4 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada paparan radiasi pasien sidik tulang menggunakan radiofarmaka ^{99m}Tc -MDP di Bagian Kedokteran Nuklir RSUP Dr Sardjito Yogyakarta. Adapun alat ukur yang digunakan adalah Survei Meter Ranger dengan pengukuran sebagai berikut:

1. Laju paparan radiasi yang dipancarkan pasien sidik tulang setelah injeksi ^{99m}Tc -MDP diukur pada jarak 30 cm, 60 cm, 100 cm dan 200 cm.
2. Laju paparan radiasi yang dipancarkan pasien sidik tulang setelah injeksi ^{99m}Tc -MDP pada arah anterior dan posterior.

3. Data nilai laju paparan radiasi diambil dari pasien pemeriksaan sidik tulang setelah injeksi ^{99m}Tc -MDP pada 50 pasien dewasa dengan rentang usia 40 hingga 75 tahun.
4. Data nilai laju paparan radiasi diambil dari pasien pemeriksaan sidik tulang setelah injeksi ^{99m}Tc -MDP dengan kondisi kesehatan secara umum yang baik.

1.5 Manfaat Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah dan tujuan penelitian di atas, maka manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi kepada masyarakat umum dan pekerja radiasi terkait paparan radiasi pasien pemeriksaan sidik tulang ^{99m}Tc -MDP.
2. Memberikan informasi kepada pekerja radiasi dan tenaga medis kedokteran nuklir terkait paparan rawan pasca-sidik tulang ^{99m}Tc -MDP.
3. Memberikan informasi tentang proteksi radiasi di Bagian Kedokteran Nuklir RSUP Dr. Sardjito Yogyakarta.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan diantaranya sebagai berikut:

1. Tingkat laju paparan radiasi rata-rata menurun dengan bertambahnya jarak dan waktu. Penurunan nilai laju paparan radiasi disebabkan bertambahnya jarak terhadap sumber radiasi, semakin besar jarak terhadap sumber maka nilai laju paparan radiasi akan semakin menurun. Besarnya laju paparan radiasi juga semakin menurun seiring bertambahnya waktu. Pengukuran laju paparan radiasi pasca-sidik didapatkan nilai lebih kecil dibandingkan dengan pengukuran laju paparan radiasi pasca-injeksi radiofarmaka $^{99m}\text{Tc-MDP}$. Arah pengukuran atau lokasi anatomis dari sumber juga memiliki pengaruh terhadap nilai laju paparan radiasi, nilai pengukuran dari arah anterior lebih rendah dibandingkan dengan nilai pengukuran dari arah posterior.
2. Estimasi laju dosis radiasi dapat ditentukan berdasarkan nilai koefisien regresi yang dihitung dengan analisis regresi eksponensial. Nilai laju paparan radiasi yang diestimasi berdasarkan jarak dapat digunakan untuk menentukan penilaian risiko paparan radiasi. Hasil analisis regresi eksponensial menunjukkan bahwasannya nilai laju paparan radiasi memiliki sifat koefisien korelasi negatif sempurna dimana semakin besar jarak pengukuran maka nilai laju paparan radiasi dari pasien sidik tulang semakin menurun. Model ini dapat digunakan untuk memperkirakan respon radiasi

sebagai fungsi jarak. Nilai *fold change* diketahui untuk membandingkan nilai paparan radiasi pada jarak tertentu terhadap jarak sebelumnya.

3. laju paparan radiasi rata-rata pada pasien pasca-sidik (± 3 jam setelah diinjeksi radiofarmaka) adalah $4,7 \mu\text{Sv/jam}$ pada jarak 100 cm. Nilai batas dosis berdasarkan PERKA BAPETEN nomor 17 tahun 2012, dalam pasal 34 tertulis bahwasannya nilai batas dosis bagi masyarakat adalah 1 mSv dalam 1 tahun. Hal ini dapat disimpulkan bahwasannya nilai batas dosis terhadap pasien sidik tulang pada jarak 100 cm dinyatakan aman dan masih berada di bawah nilai batas dosis bagi masyarakat.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal sebagai tindak lanjut dari penelitian ini, yaitu:

1. Pengukuran laju paparan radiasi dilakukan dengan variasi waktu yang lebih rinci, agar dapat digunakan untuk membuat model estimasi laju paparan radiasi sebagai fungsi waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryawijayanti, R. (2015). Analisis Dampak Radiasi Sinar-x pada Mencit melalui Pemetaan Dosis Radiasi di Laboratorium Fisika Medik. In *Jurnal MIPA (Vol. 38, Issue 1)*. <http://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/JM>
- Bailey, D. L., Humm, J. L., Todd-Pokropek, A., & Van Aswegen, A. (2014). *Nuclear Medicine Physics A Handbook for Teachers and Students*.
- BAPETEN. (2012). *Keselamatan Radiasi dalam Kedokteran Nuklir*.
- BAPETEN. (2013). *Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*.
- BAPETEN. (2020a). *Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Iradiator untuk Iradiasi*.
- BAPETEN. (2020b). *Pedoman Teknis Rilis Pasien (Release Of Patient) pada Kedokteran Nuklir*.
- Bartel, T. B., Kuruva, M., Gnanasegaran, G., Beheshti, M., Cohen, E. J., Weissman, A. F., & Yarbrough, T. L. (2018). *SNMMI Procedure Standard for Bone Scintigraphy 4.0*.
- Coleman, R. E., Brown, J., & Holen, I. (2019). Bone Metastases. In *Abeloff's Clinical Oncology* (pp. 809-830.e3). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-47674-4.00056-6>
- Damanik, M., Simanjuntak, J. N., & Daulay, E. R. (2021). Studi Paparan Radiasi pada Pekerja Radiasi Cathlab dengan Menggunakan My Dose Mini sebagai Upaya Keselamatan Radiasi di RSUP Adam Malik Medan. *Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir*, *1(1)*, 41–46. <https://doi.org/10.53862/jupeten.v1i1.009>
- Domenech, H. (2017). Measuring Instruments and Methods. In *Radiation Safety* (pp. 55–76). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42671-6_5
- Fathy, M., Khalil, M. M., Elshemey, W. M., & Mohamed, H. S. (2019). Occupational Radiation Dose to Nuclear Medicine Staff Due to TC99m, F18-FDG PET and Therapeutic I-131 Based Examinations. *Radiation Protection Dosimetry*, *186(4)*, 443–451. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncz046>
- Gunay, O., Sarihan, M., Abamor, E., & Yazar, O. (2019). Environmental Radiation Doses from Patients Undergoing Tc-99m DMSA Cortical Renal Scintigraphy. *International Journal of Computational and*

Experimental Science and Engineering, **5(2)**, 86–93.
<https://doi.org/10.22399/ijcesen.589267>

- Hasan, S., & Prelas, M. A. (2020). Molybdenum-99 production pathways and the sorbents for 99Mo/99mTc generator systems using (n, γ) 99Mo: a review. In *SN Applied Sciences* (Vol. 2, Issue 11). Springer Nature.
<https://doi.org/10.1007/s42452-020-03524-1>
- Hiswara, E. (2023a). *Buku Pintar Proteksi dan Keselamatan Radiasi di Rumah Sakit* (revisi). Penerbit BRIN.
- Hiswara, E. (2023b). *Istilah dan Definisi dalam Proteksi dan Keselamatan Radiasi* (revisi). Penerbit BRIN.
- Hung, H. T. P., Tuyen, P. N., Tai, D. T., Long, H. Q., Sulieman, A., Omer, H., Tamam, N., Almujally, A., Chow, J. C. L., & Lee, T.-Y. (2023). Assessment of radiation exposure in a nuclear medicine department of an oncology hospital. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, **16(2)**, 100564. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2023.100564>
- Kunarsih, E., Hermansyah, H., & Rusmanto, R. (2021). Usulan kriteria pemulangan pasien (patient release) kedokteran nuklir di Indonesia. *Jurnal Pengawasan Tenaga Nuklir*, **1(2)**, 38–46.
<https://doi.org/10.53862/jupeten.v1i2.017>
- Kusnita, R. (2021). *Pengukuran Laju Paparan Radiasi pada Ruang Pemeriksaan di Instalasi Radiologi RSUD Petala Bumi Provinsi Riau*. Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Awal Bros.
- Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an. (2019). *Al-Quran KEMENAG In Microsoft Word*. Badan Litbang Dan Diklat Kementerian Agama RI.
- Magdy, M. K. (2021a). Elements of Gamma Camera and SPECT Systems. *Basic Sciences of Nuclear Medicine*, **10**, 231–257.
- Magdy, M. K. (2021b). Internal Radiation Dosimetry. *Basic Sciences of Nuclear Medicine*, **9**, 203–228.
- Marshall, S. K., Prom-on, P., Sangkue, S., & Thiangsook, W. (2023). Assessment of Radiation Exposure in a Nuclear Medicine Department during 99mTc-MDP Bone Scintigraphy. *Toxics*, **11(10)**.
<https://doi.org/10.3390/toxics11100814>
- Mattar, E. H. (2022). Assessment of Patient and Staff Annual Effective Doses at a Nuclear Medicine Department during Bone Scans. *Open Journal of Radiology*, **12(04)**, 155–162. <https://doi.org/10.4236/ojrad.2022.124016>

- Mitra, A., Chattopadhyay, S., Chandak, A., Lad, S., Barua, L., De, A., Kumar, U., Chinagandham, R., Upadhye, T., Koundal, K., Banerjee, S., & Rajan, R. (2020). Clinical Efficacy of Sodium [99mTc] Pertechnetate from Low Specific Activity 99Mo/99mTc Autosolex Generator in Hospital Radiopharmacy Centre. *Nuclear Medicine Review. Central & Eastern Europe*, **23(1)**, 1–14. <https://doi.org/10.5603/NMR.a2020.0001>
- Musarudin, M., Nordin, R. M., Kamarullah, N., & Ali, Y. (2019). Scattered Radiation Dose Calculation in the Multi-Bay Resuscitation Room using MCNP5 Code. *Pertanika J. Sci. & Technol*, **27(4)**, 2439–2452.
- Mutmainna, F. M., Zurma, R., Wardani, P. S., & Putri, E. R. (2023). Pengujian Karakteristik Alat Ukur Radiasi Dose Calibrator menggunakan Sumber Teknesium-99m dan Cobalt-57 (Sumber Standar) di Instalasi Kedokteran Nuklir RSUD A. W. Sjahranie Samarinda. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, **20(2)**. <https://doi.org/https://doi.org/10.20527/15439>
- Nagai, Y. (2021). Production Scheme for Diagnostic-therapeutic Radioisotopes by Accelerator Neutrons. *Proceedings of the Japan Academy Series B: Physical and Biological Sciences*, **97(6)**, 292–323. <https://doi.org/10.2183/pjab.97.017>
- Panjaitan, E. D., & Budiawan, H. (2021). Pencitraan Kedokteran Nuklir pada Pasien Metastasis Tulang dengan Kanker Payudara. *Syntax Idea*, **3(12)**. <https://doi.org/https://doi.org/10.46799/syntax-idea.v3i12.1664>
- Park, C. R., Kang, S. H., & Lee, Y. (2020). Median modified wiener filter for improving the image quality of gamma camera images. *Nuclear Engineering and Technology*, **52(10)**, 2328–2333. <https://doi.org/10.1016/j.net.2020.03.022>
- Purwati, T., Setiabudi, W., & Fisika, J. (2016a). Penentuan Waktu Paro Biologi TC- 99M MDP pada Pemeriksaan Bone Scanning. In *Youngster Physics Journal (Vol. 5, Issue 4)*.
- Purwati, T., Setiabudi, W., & Fisika, J. (2016b). Penentuan Waktu Paro Biologi Tc 99m-MDP pada pemeriksaan Bone Scanning. In *Youngster Physics Journal (Vol. 5, Issue 4)*.
- Qi, N., Meng, Q., You, Z., Chen, H., Shou, Y., & Zhao, J. (2021). Standardized uptake values of 99mTc-MDP in normal vertebrae assessed using quantitative SPECT/CT for differentiation diagnosis of benign and malignant bone lesions. *BMC Medical Imaging*, **21(1)**. <https://doi.org/10.1186/s12880-021-00569-5>

- Rehani, M. M., Yang, K., Melick, E. R., Heil, J., Šalát, D., Sensakovic, W. F., & Liu, B. (2020). Patients undergoing recurrent CT scans: assessing the magnitude. *European Radiology*, **30(4)**, 1828–1836. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06523-y>
- Samsun, Hidayatullah, E. P. S., & Sasongko, A. (2023). *Mengenal Alat Ukur Radiasi* (1st ed.). Penerbit Adab.
- Septiyanti, I. (2020). *Analisis Dosis Paparan Radiasi pada General X-Ray II di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Roemani Muhammadiyah Semarang*. Universitas Islam Negeri Walisongo.
- Setiawati, E., Susanto, R. E., & Arianto, F. (2022). Penentuan Faktor Koreksi Dosis Radiasi Sinar-X Linac 6 MV Pada Ketidakhomogenan Jaringan Tubuh dengan MCNPX. *Jurnal Ilmiah Aplikasi Isotop Dan Radiasi*, **18(1)**, 17. <https://doi.org/10.17146/jair.2022.18.1.6586>
- Sofita, D., Yuniarti, D., & Goejantoro, R. (2015). Analisis Regresi Eksponensial (Studi Kasus: Data Jumlah Penduduk dan Kelahiran di Kalimantan Timur pada Tahun 1992-2013) Exponential Regression Analysis (Case Study: Number of inhabitants and Birth in East Kalimantan in Year 1992-2013). *Jurnal EKSPONENSIAL*, **6(1)**.
- Sudaryatmi, N., Masrochah, S., & Erfansyah, M. (2021). Teknik Pemeriksaan Kedokteran Nuklir Bone Scan di Instalasi Radiologi RSUP Dr. Kariadi Semarang. *Jurnal Imejing Diagnostik (JImeD)*, **7**, 8–14.
- Van den Wyngaert, T., Strobel, K., Kampen, W. U., Kuwert, T., van der Bruggen, W., Mohan, H. K., Gnanasegaran, G., Delgado-Bolton, R., Weber, W. A., Beheshti, M., Langsteger, W., Giammarile, F., Mottaghy, F. M., & Paycha, F. (2016). The EANM practice guidelines for bone scintigraphy. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, **43(9)**, 1723–1738. <https://doi.org/10.1007/s00259-016-3415-4>
- Vano, E., Frija, G., Loose, R., Paulo, G., Efstathopoulos, E., Granata, C., & Andersson, J. (2021). Dosimetric quantities and effective dose in medical imaging: a summary for medical doctors. In *Insights into Imaging* (Vol. **12**, Issue 1). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1186/s13244-021-01041-2>
- Varga, J. (2018). An Introduction to Nuclear Medicine. In *Nuclear and Radiochemistry: Second Edition* (pp. 369–397). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813643-0.00012-3>
- Widowati, A. (2022). *Bedah Manfaat Teknologi Nuklir* (1st ed.). CV Intishar publishing.

- Zhang, L., He, Q., Zhou, T., Zhang, B., Li, W., Peng, H., Zhong, X., Ma, L., & Zhang, R. (2019). Accurate characterization of ^{99m}Tc -MDP uptake in extraosseous neoplasm mimicking bone metastasis on whole-body bone scan: Contribution of SPECT/CT. *BMC Medical Imaging*, **19**(1). <https://doi.org/10.1186/s12880-019-0345-1>
- Zhang, X., Ma, F., Dai, Z., Wang, J., Chen, L., Ling, H., & Soltanian, M. R. (2022). Radionuclide transport in multi-scale fractured rocks: A review. In *Journal of Hazardous Materials* (Vol. 424). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127550>

