

**ESTIMASI DOSIS ^{99m}Tc -PERTEHNETAT DARI GENERATOR
 $^{99}\text{Mo} / {^{99m}\text{Tc}}$ NON-FISI PADA ANAK-ANAK USIA 1-15 TAHUN UNTUK
PROSEDUR DIAGNOSTIK**

SKRIPSI

*Dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program studi Fisika*



Oleh:
LAFIRA
NIM. 08021281924031

JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2023

LEMBAR PENGESAHAN

ESTIMASI DOSIS ^{99m}Tc -PERTEHNETAT DARI GENERATOR $^{99}\text{Mo} / {^{99m}\text{Tc}}$ NON-FISI PADA ANAK-ANAK USIA 1-15 TAHUN UNTUK PROSEDUR DIAGNOSTIK

SKRIPSI

*Dibuat sebagai syarat untuk memenuhi kurikulum sarjana di Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya*

Oleh:

LAFIRA

08021281924031

Indralaya, 08 Mei 2023

Menyetujui,

Pembimbing I


Dr. Ramelan

NIP. 196604101993031003

Pembimbing II


Nur Rahmah Hidayati, M.Sc.

NIP. 196908081990012001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika




Dr. Frinsyah Virgo, S. Si., M. T.
NIP. 197009101994121001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini, Mahasiswa Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya:

Nama : Lafira

NIM : 08021281924031

Judul TA : Estimasi Dosis 99m Tc-Pertehnetat dari Generator 99 Mo / 99m Tc
Non-Fisi pada Anak-Anak Usia 1-15 Tahun untuk Prosedur
Diagnostik

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang saya susun dengan judul tersebut adalah asli atau orisinalitas dan mengikuti etika penulisan karya tulis ilmiah sampai pada waktu skripsi ini diselesaikan, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains di program studi fisika universitas sriwijaya.

Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dari pihak manapun. Apabila dikemudian hari terdapat kesalahan ataupun keterangan palsu dalam surat pernyataan ini, maka saya siap bertanggung jawab secara akademik dan bersedia menjalani proses hukum yang telah ditetapkan.

Indralaya, 08 Mei 2023

Yang Menyatakan,



Lafira 06660AJX466118089
NIM.08021281823021

KATA PENGANTAR

Dengan mengucap rasa puji dan syukur marilah kita panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta memberikan kesehatan jasmani dan rohani sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir dan laporan Tugas Akhir ini tepat pada waktunya. Tugas Akhir yang telah saya laksanakan di ORTN PRTKMMN-BRIN Lebak Bulus, Jakarta Selatan. Bertujuan untuk menyelesaikan studi S1 di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya, dengan skripsi yang berjudul "**Estimasi Dosis ^{99m}Tc Pertehnetat dari Generator $^{99}\text{Mo} / {^{99m}\text{Tc}}$ Non-Fisi pada Anak-Anak Usia 1-15 Tahun untuk Prosedur Diagnostik**".

Saya mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu selama penyusunan laporan tugas akhir ini terutama kepada: Dosen Pembimbing I, Bapak Dr. Ramlan, Pembimbing II, Ibu Nur Rahmah Hidayati, M. Sc dan Ibu Syarifatul Ulya S. Si, M. Si, yang telah banyak memberikan bimbingan, bantuan, waktu dan kesabaran dalam membantu saya menyelesaikan laporan tugas akhir ini. Selain itu saya juga mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah banyak memberikan bantuan, bimbingan, dukungan, kritik dan saran yang bersifat membangun, diantaranya :

1. Allah SWT, kedua Orang Tua, Bapak Syafrizal dan Ibu Yetti, Kakak, serta adik yang selalu mendo'akan, memberikan dukungan, inspirasi dan motivasi serta menjadi penyemangat bagi penulis.
2. Bapak Dr. Heru Prasetio, M. Si. Selaku Kepala Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi dan Mutu Nuklir.
3. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si, M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.
4. Seluruh dosen Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, selaku dosen yang selalu memberikan banyak arahan, saran dan masukan yang sangat bermanfaat selama proses Tugas Akhir ini.
5. Temen seperjuangan Intan Rahmawati dan ka Adni orang yang selalu membantu selama proses Tugas Akhir.

6. Teman-teman fisika material 2019 yang memberikan semangat dan motivasi selama proses Tugas Akhir
7. Teman-teman fisika UNSRI 2019 yang senantiasa memberikan inspirasi dan motivasi.
8. Teman-teman UKM Harmoni Kabinet Zeus yang senantiasa membantu dan memberi semangat dalam proses Tugas Akhir.

Laporan Tugas Akhir yang dibuat dalam bentuk skripsi, pada dasarnya masih banyak kekurangan yang saya tulis dapat berupa penulisan ataupun teori yang berkaitan dengan skripsi. Maka dari itu, saya memohon maaf dan besar harapan saya untuk kritik dan saran dari pihak-pihak instansi yang terkait atau pembaca. Bantuan dalam berupa kritik dan saran yang bersifat membangun akan membantu saya dalam proses pembelajaran, yang dapat dikirimkan melalui alamat surat elektronik saya lafirafira93@gmail.com. Saya akhiri dengan mengucap banyak terimakasih dan semoga skripsi saya dapat memberikan pengetahuan baru bagi pembaca yang meminati.

Indralaya, 08 Mei 2023



Lafira
NIM.08021281823021

**ESTIMASI DOSIS ^{99m}Tc -PERTEHNETAT DARI GENERATOR ^{99}Mo /
 ^{99m}Tc NON-FISI PADA ANAK-ANAK USIA 1-15 TAHUN UNTUK
PROSEDUR DIAGNOSTIK**

Lafira

08021281924031

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Sriwijaya, Indonesia

ABSTRAK

^{99m}Tc -Pertehnetat berguna untuk pengobatan yang disertai dengan adanya info pemberian dosis ke tubuh manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui estimasi dosis radiofarmaka ^{99m}Tc Pertehnetat pada anak-anak usia 1-15 tahun. Metode penelitian ini dilakukan dengan berbasis uji biodistribusi mencit dengan interval waktu 0,5, 1, 3, 5, 24 jam pasca injeksi radiofarmaka. Dari data hasil uji biodistribusi diperoleh %ID/gram organ mencit, dikonversikan ke %ID/gram organ manusia. Setelah itu, hasil perhitungan di *input* ke *software* OLINDA/EXM dengan mengamati perbedaan dosis efektif untuk anak-anak usia 1-15 tahun. Berdasarkan nilai %ID/gram organ manusia masing-masing aktivitas uptake pada interval waktu pasca injeksi dari organ tertinggi dihasilkan yaitu, otot, hati, paru-paru, dan lambung. Hasil dosis efektif untuk masing-masing usia 1-15 tahun (9.07×10^{-3} mSv/MBq, 5.78×10^{-3} mSv/MBq, 3.82×10^{-3} mSv/MBq, dan 2.41×10^{-3} mSv/MBq). Setelah dilakukan konversi t_{hewan} ke t_{manusia} diperoleh dosis efektif yang lebih besar (2.12×10^{-3} mSv/MBq, 1.22×10^{-3} mSv/MBq, 8.59×10^{-3} mSv/MBq, dan 5.74×10^{-3} mSv/MBq). Oleh sebab itu, besar dosis efektif yang dihasilkan semakin besar terhadap umur pasien yang lebih muda.

Kata kunci: ^{99m}Tc -Pertehnetat, Uji Biodistribusi, Dosimetri Internal

***ESTIMATION OF ^{99m}Tc -PERTEHNETAT DOSE FROM THE
GENERATOR $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ NON-FISSION IN CHILDREN AGED 1-15 YEARS
FOR DIAGNOSTIC PROCEDURES***

Lafira

08021281924031

*Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Science,
University of Sriwijaya, South Sumatera, Indonesia*

ABSTRACT

*^{99m}Tc -Pertehnetat is useful for treatment accompanied by information on dosing to the human body. This study aims to determine the estimated dose of ^{99m}Tc Pertehnetat radiopharmaceutical in children aged 1-15 years. This research method was carried out based on the mice biodistribution test with time intervals of 0.5, 1, 3, 5, and 24 hours after radiopharmaceutical injection. From the biodistribution test results, it was obtained %ID/gram of mouse organs, was converted to %ID/gram of human organs. After that, the calculation results were inputted into the OLINDA/EXM software by observing the differences in effective doses for children aged 1-15 years. Based on the value of %ID/gram of human organs, each uptake activity at post-injection time intervals resulted from the highest organs, namely, muscles, liver, lungs, and stomach (**$9.07 \times 10^{-3} \text{ mSv/MBq}$** , **$5.78 \times 10^{-3} \text{ mSv/MBq}$** , **$3.82 \times 10^{-3} \text{ mSv/MBq}$** , dan **$2.41 \times 10^{-3} \text{ mSv/MBq}$**). After converting t_{animals} to t_{humans} a higher effective dose (**$2.12 \times 10^{-3} \text{ mSv/MBq}$** , **$1.22 \times 10^{-3} \text{ mSv/MBq}$** , **$8.59 \times 10^{-3} \text{ mSv/MBq}$** , dan **$5.74 \times 10^{-3} \text{ mSv/MBq}$**). Therefore, the effective dose generated is greater for younger patients.*

Keywords: ^{99m}Tc -Pertehnetat, Biodistribution Test, Dosimetry Internal

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR SINGKATAN.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	14
1.1. Latar Belakang	14
1.2. Perumusan Masalah.....	16
1.3. Batasan Masalah.....	16
1.4. Tujuan Penelitian.....	17
1.5. Manfaat Penelitian.....	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	18
2.1. Kedokteran Nuklir.....	18
2.2. Radiofarmaka	18
2.3. <i>Technetium-99m</i>	19
2.3.1. Produksi ^{99m}Tc	21
2.3.2. ^{99m}Tc Pertehnetat.....	22
2.3.3. Mesopori Gamma Alumina.....	23
2.4. Uji Biodistribusi	23
2.5. Ekstrapolasi Data Hewan	24
2.5.1. Hewan Mencit	26
2.6. Dosimetri Internal	27
2.6.1. Dosis Serap	27
2.6.2. MIRD (<i>Medical Internal Radiation Dosimetry</i>)	29

2.6.3. <i>International Commission on Radiological Protection (ICRP)</i>	30
2.6.4. Dosis Efektif	31
2.7. OLINDA/EXM.....	31
BAB III METODE PENELITIAN	33
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	33
3.2. Alat Dan bahan Penelitian	33
3.3. Diagram Alir Penelitian	34
3.4. Prosedur Pekerjaan	37
3.4.1. Uji Biodistribusi	37
3.4.2. Pembedahan dan Pencacahan.....	37
3.4.4. Perhitungan % ID ke manusia.....	37
3.4.5. Estimasi dosis dengan OLINDA/EXM	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1. Analisis Nilai Uptake Hasil Uji Biodistribusi pada Hewan Mencit	39
4.2. Analisis Nilai Uptake Hasil dari Konversi %ID/organ Manusia	40
4.3. Estimasi Dosis ^{99m}Tc -Pertehnetat untuk Anak-Anak Usia 1-15 Tahun Menggunakan <i>Software</i> OLINDA/EXM.....	42
4.5. Analisis Hasil Konversi Waktu Hewan ke Waktu Manusia	45
4.6. Analisis Hasil Estimasi Dosis dengan Menggunakan Waktu Manusia....	47
4.7. Analisis Perbandingan Dosis Serap OLINDA/EXM dan ICRP 128 dengan Menggunakan Waktu Manusia	49
BAB 5 PENUTUP.....	52
5.1. Kesimpulan.....	52
5.2. Saran	52
DAFTAR PUSTAKA	53
LAMPIRAN.....	58

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Beberapa Radioisotop Generator yang Digunakan dalam Kedokteran Nuklir (Saha, 2018).....	20
Tabel 3. 1. Alat dan Bahan Penelitian.....	33
Tabel 4. 1. Hasil Dosis Serap dari Software OLINDA/EXM.	43
Tabel 4. 2. Perbandingan Hasil Dosis Serap OLINDA/EXM dan ICRP 128.	44
Tabel 4. 3. Konversi Waktu Hewan ke Waktu Manusia.....	46
Tabel 4. 4. Konversi Waktu Hewan ke Waktu Manusia.....	48
Tabel 4. 5. Perbandingan Hasil Estimasi Dosis Menggunakan Waktu Manusia dan Waktu Hewan dengan OLINDA/EXM.....	49
Tabel 4. 6. Perbandingan Hasil Dosis Serap OLINDA/EXM dengan ICRP 128. 50	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Skema Peluruhan ^{99m}Tc	21
Gambar 2. 2. Representasi skematis dari radioisotop generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$	22
Gambar 2. 3. (a,b) Skala Slope Laju Metabolisme yang Berhubungan dengan Massa Tubuh Mamalia.....	25
Gambar 2. 4. Kurva Waktu atau Aktivitas Sumber Internal yang Digeneralisasi	29
Gambar 3. 1. Diagram Alir Uji Biodistribusi.....	35
Gambar 3. 2. Diagram Alir Estimasi Dosis dengan Software OLINDA/EXM. ...	36
Gambar 4. 1. %ID/gr Organ Hewan dengan Interval Waktu 0.5, 1, 3, 5, dan 24 Jam.....	39
Gambar 4. 2. %ID/Organ Manusia untuk Anak Usia 1 Tahun.	40
Gambar 4. 3. %ID/Organ Manusia untuk Anak 5 Tahun.	41
Gambar 4. 4. %ID/Organ Manusia untuk Anak 10 Tahun.	41
Gambar 4. 5. %ID/Organ Manusia untuk Anak 15 Tahun.	41

DAFTAR SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Keterangan
^{99m}Tc	: Teknesium-99 Metastabil
^{99}Mo	: Molibdenum-99
$^{177}\text{Lu}\text{-Dota Trastuzumab}$: Lutetium-177 Dota Trastuzumab
$^{99m}\text{Tc MDP}$: Teknesium-99 Metastabil Metil Difosfonat
keV	: Kilo Elektron Volt
MeV	: Mega Elektron Volt
SPECT	: <i>Single Photon Emission Computed Tomography</i>
$^{99}\text{Mo}]\text{MoO}_4^{2-}$: Molibdat
$^{99m}\text{Tc}]\text{TcO}_4^-$: Pertehnetat
Al_2O_3	: Alumina
NaCl	: Natrium Klorida
$^{99m}\text{Tc}]\text{NaTcO}_4$: Natrium Pertehnetat
Al_2O_3	: Alumina
MGA	: Mesopori Gamma Alumina
^{99}Ru	: Ruthenium-99
β^-	: Beta negatif
CO	: Karbon Monoksida
Kg	: Kilogram
Gr	: Gram
ICRP	: <i>International Commission on Radiological Protection</i>
MIRD	: <i>Medical Internal Radiation Dose</i>
OLINDA/EXM	: <i>Organ Level Internal Dose Assessment/Exponential Modeling</i>
TIA	: <i>Time Integreted Activity</i>
D	: Dosis serap
$d\varepsilon$: Energi rata-rata
dm	: Massa material/organ
\dot{D}_T	: Laju dosis serap
k	: Konstanta
A_S	: Aktivitas yang ada pada daerah sumber
y_i	: Jumlah radiasi
E_i	: Energi per radiasi
ϕ_i	: Fraksi energi yang dipancarkan dan diserap dalam target
m	: Massa target
S	: Faktor dosis serap
rk	: Daerah target
rh	: Daerah sumber
J	: Joule
Gy	: Gray

rad	: <i>Radiation/Radiasi</i>
h	: <i>hour/jam</i>
sec	: <i>secon/sekon</i>
μCi	: Mikrocurie
MBq	: Megabequarel
mSv	: Milisiever
Mg	: Magnesium
Co	: Kobalt
Pb	: Plumbum
Ni	: Nikel
Cu	: Kuprum
Cr	: Kromium
^{188}W	: Wolfram/Tungesten-188
R	: Laju metabolisme respirasi
a	: Konstanta normalisasi atau antilog dari intersep plot log-log
M	: Massa tubuh
b	: Skala eksponen atau slope dalam plot log-log

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan kedokteran nuklir menjadi salah satu ilmu yang dibutuhkan dalam mendiagnosis penyakit berupa kanker atau tumor. Kedokteran nuklir di Indonesia banyak mengembangkan radiofarmaka sebagai obat untuk pengobatan atau diagnosis suatu penyakit secara *in vivo* pada kanker dan tumor. Radiofarmaka yang digunakan dalam kedokteran nuklir berupa sumber radioaktif terbuka yang terdiri dari radioisotop dan farmaka (Utaminingsiyah et al., 2016). Radioisotop ialah radiasi yang terpancar dari zat radioaktif dan farmaka berupa suatu senyawa kimia dengan sifatnya masing-masing untuk mencapai organ target yang ditujunya (Sari et al., 2021).

Radioisotop dipilih berdasarkan karakteristiknya, yang dicampur pada suatu farmaka dengan tujuan penggunaan berbeda-beda. ^{99m}Tc radioisotop yang mudah untuk didapatkan, relatif murah, waktu paro singkat dan aman dibanding radioisotop lain seperti ^{131}I , ^{123}I , ^{68}Ga , ^{111}In , ^{18}F , ^{186}Re (Islamiyat & Halimah, 2018). Pengaplikasian ^{99m}Tc sekitar 70% dipakai untuk kedokteran nuklir dalam prosedur diagnostik (Hidayati & Hidayat, 2016). ^{99m}Tc sendiri radioisotop pemancar gamma yang memiliki energi sebesar 140 keV dan waktu paronya sebesar 6 jam, dengan waktu paro biologis ^{99m}Tc akan lebih singkat di dalam tubuh (Islami et al., 2019)(Lasa-Saracibar et al., 2022). Penggunaan ^{99m}Tc sebagai pemancar gamma untuk diagnostik penyakit, yang biasanya dihasilkan oleh peluruhan ^{99}Mo negatron (β^-). Radioisotop ^{99}Mo induk dari ^{99m}Tc yang memiliki waktu paro sebesar 66 jam (Jang et al., 2022)(Fujita et al., 2021). ^{99m}Tc hasil produksi peluruhan ^{99}Mo yang dapat dilakukan melalui proses reaksi fisi maupun non fisi (Marlina et al., 2022).

Uji biodistribusi salah satu tahapan praklinis dalam pengujian radiofarmaka baru. Uji biodistribusi merupakan proses terdistribusinya

radiofarmaka ke seluruh tubuh oleh sistem metabolisme dan setelahnya akan terjadi proses ekskresi dengan rentang waktu tertentu (Desita et al., 2017). Dosimetri internal digunakan untuk memperkirakan dosis yang tepat, menggunakan OLINDA/EXM. Jumlah dosis yang diserap setiap organ harus dihitung menggunakan data biodistribusi dan biokinetik radiofarmasi untuk memberikan dosimetri spesifik pasien yang akurat serta diperlukan informasi radioisotop yang digunakan (Ramonaheng et al., 2022). Dosis serap setiap organ ditentukan oleh masing-masing massa organ setiap tubuh manusia (Hidayati et al., 2015).

Berdasarkan penelitian beberapa tahun terakhir terkait estimasi dosis yang menggunakan data hasil uji biodistribusi hewan mencit digunakan ^{99m}Tc MDP untuk diagnosis kanker payudara. Melalui uji biodistribusi pada hewan mencit dengan interval waktu 2, 4, 6, dan 24 jam dapat mengetahui nilai dosis internal pada pasien dengan cara konversi nilai %ID/gram hewan menjadi %ID/organ manusia. Dimana, mendapatkan hasil estimasi dosis dengan OLINDA/EXM pada laki-laki $1,87 \times 10^{-3} \text{mSv}/\text{MBq}$ dan wanita dewasa $2,24 \times 10^{-3} \text{mSv}/\text{MBq}$ (Islami et al., 2019). Pada penelitian berikutnya digunakan ^{99m}Tc Glutation untuk diagnosis kanker kepala dan leher. Penelitian ini juga dilakukan melalui proses uji biodistribusi mencit dengan interval waktu 2, 4, 6, dan 24 jam setelah injeksi yang menghasilkan estimasi dosis dengan perhitungan dosis internal dan menggunakan *software* OLINDA/EXM yang akan diamati dosis efektif wanita dewasa $1,34 \times 10^{-3} \text{mSv}/\text{MBq}$ serta laki-laki dewasa $1,14 \times 10^{-3} \text{mSv}/\text{MBq}$ (Intokiyah et al., 2019). Kemudian, studi awal estimasi dosis internal dengan ^{177}Lu -Dota Trastuzumab untuk penyakit kanker payudara melalui uji biodistribusi mencit dengan interval waktu 1, 2, 3, 4, 24, 48 jam. Dimana, menghasilkan estimasi dosis pada manusia sebesar $0,21 \text{ mSv}/\text{MBq}$ (Hidayati et al., 2015).

Dalam penelitian ini estimasi dosis untuk anak usia 1-15 tahun akan dilakukan dengan teknik yang sama melalui uji biodistribusi pada mencit. Fisiologi anak-anak berbeda dengan orang dewasa, dan karena anak-anak

tubuhnya masih berada pada fase perkembangan maka dibutuhkan perhatian khusus (Soeriadi, Erwin & Utomo, 2021). Mencit memiliki sifat reproduksi yang mirip dengan manusia, masa hidup yang pendek, dan jumlah keturunan yang banyak (Aryawijayanti et al., 2015). Estimasi dosis menggunakan radiofarmaka baru ^{99m}Tc -Pertehnetat non-fisi yang diproduksi oleh BRIN akan dibandingkan dengan radiofarmaka ^{99m}Tc -Pertehnetat komersial berdasarkan estimasi dosis yang diperoleh. Sehingga, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis estimasi dosis ^{99m}Tc -Pertehnetat dari metode uji biodistribusi dan dosimetri internal pada anak-anak usia 1-15 tahun.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimakah hasil nilai %ID/ organ manusia dari metode uji biodistribusi?
2. Bagaimakah estimasi dosis ^{99m}Tc -Pertehnetat untuk anak-anak berusia 1–15 tahun?
3. Bagaimakah estimasi dosis dengan menggunakan nilai konversi waktu manusia ?

1.3. Batasan Masalah

1. Penelitian melakukan 2 tahapan praklinis, uji biodistribusi dan perhitungan dosimetri internal.
2. Menggunakan hasil data uji biodistribusi pada hewan mencit yang dikonversi ke %ID/organ manusia.
3. Penggunaan software OLINDA/EXM untuk mengetahui dosis efektif yang dihasilkan.
4. Digunakan radiofarmaka ^{99m}Tc Pertehnetat.
5. Interval waktu uji biodistribusi yang digunakan 0.5, 1, 3, 5, 24 Jam.
6. Model fantom yang digunakan pada OLINDA/EXM yaitu anak-anak usia 1-15 tahun.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Untuk menganalisa hasil nilai %ID/organ manusia dari metode uji biodistribusi.
2. Untuk menganalisa estimasi dosis ^{99m}Tc -Pertehnetat untuk anak-anak berusia 1–15 tahun.
3. Untuk menganalisa estimasi dosis ^{99m}Tc -Pertehnetat dengan menggunakan nilai konversi waktu manusia.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat sebagai studi awal estimasi dosis radiofarmaka baru yang diproduksi dengan menggunakan metode uji biodistribusi mencit dan dosimetri internal pada *software* OLINDA/EXM sehingga dapat dijadikan referensi bagi peneliti, ataupun mahasiswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Alsharef, S., Alanazi, M., Alharthi, F., Qandil, D., & Qushawy, M. (2020). Review about radiopharmaceuticals: Preparation, radioactivity, and applications. *International Journal of Applied Pharmaceutics*, 12(3), 8–15. <https://doi.org/10.22159/ijap.2020v12i3.37150>
- Aryawijayanti, R., Susilo, & Sutikno. (2015). Analisis Dampak Radiasi Sinar-X Pada Mencit Melalui Pemetaan Dosis Radiasi Di Laboratorium Fisika Medik. *Jurnal MIPA*, 38(1), 25–30.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir. (2012). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 17 Tahun 2012*.
- Boschi, A., Uccelli, L., & Martini, P. (2019). A picture of modern Tc-99m radiopharmaceuticals: Production, chemistry, and applications in molecular imaging. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(12), 1–16. <https://doi.org/10.3390/app9122526>
- Cicone, F., Viertl, D., Denoël, T., Stabin, M. G., Prior, J. O., & Gnesin, S. (2022). Comparison of absorbed dose extrapolation methods for mouse-to-human translation of radiolabelled macromolecules. *EJNMMI Research*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s13550-022-00893-z>
- Desita, D., Budi, W. S., & Gunawan, G. (2017). Biodistribusi radiofarmaka Tc 99m DTPA pada pemeriksaan renografi. *Youngster Physics Journal*, 6(2), 157–165.
- Duatti, A. (2021). Review on 99mTc radiopharmaceuticals with emphasis on new advancements. *Nuclear Medicine and Biology*, 92, 202–216. <https://doi.org/10.1016/j.nucmedbio.2020.05.005>
- Fujita, Y., Seki, M., Sano, T., Fujihara, Y., Kitagawa, T., Matsukura, Hori, Suzuki, T., & Tsuchiya, K. (2021). Effect on 99Mo-adsorption/99mTc-elution properties of alumina with different surface structures. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 327(3), 1355–1363. <https://doi.org/10.1007/s10967-021-07616-z>
- Glazier, D. S. (2008). Effects of metabolic level on the body size scaling of metabolic rate in birds and mammals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 275(1641), 1405–1410. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.0118>
- Hardiansyah, D. (2020). Review singkat dosimetri internal di kedokteran nuklir menggunakan Physiologically-based Pharmacokinetic (PBPK) model dan topik penelitian paper JMPB volume 7 , No . 1 (2020). *Journal of Medical Physics and Biophysics*, 7(1), 2020.

- Hidayati, N. R., & Hidayat, B. (2016). Application Of $99m$ Tc Radioisotope In Diagnostic Procedures And Internal Radiation Dose Estimation. *KnE Energy*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.18502/ken.v1i1.469>
- Hidayati, N. R., Setyowati, S., Sutari, M., Triningsih, M., Karyadi, M., Aguswarini, S., Humani, T. S., Hidayat, B., Ramli, M., Massora, S., Susilo, V. Y., Mutualib, A., Sastramihardja, H., & Masjhur, J. S. (2015). Studi Awal Estimasi Dosis Internal $177Lu$ -Dota Trastuzumab pada Manusia Berbasis Uji Biodistribusi pada Mencit. *Jurnal Sains Dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 16(2), 105. <https://doi.org/10.17146/jstni.2015.16.2.2362>
- Intokiyah, D., Wibawa, T. H. A., Iswahyudi, I., Hidayati, N. R., Daruwati, I., & Perkasa, Y. S. (2019). Estimasi Dosis Tc-99m Glutation untuk diagnosa Kanker Kepala dan Leher Berdasarkan Uji Biositribusi Hewan Model Mencit. *Jurnal Sains Dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 20(1), 19. <https://doi.org/10.17146/jstni.2019.1.1.4631>
- Islami, I. N., Hidayati, Nur, R., Wibawa, Teguh, Hafiz, A., Iswahyudi, Daruwati, I., & Subkhi, Moch, N. (2019). Studi Awal Estimasi Dosis Internal $99mTc$ -MDP Hasil Produksi PSTNT-Batan pada Manusia untuk Deteksi Metastasis dan Inflamasi Tulang Berbasis Uji Biodistribusi Hewan Model Mencit. *Ganendra Journal of Nuclear Science and Technology*, 22, 85–93.
- Islamiyat, R. R., & Halimah, E. (2018). Review: Tinjauan Pustaka Mengenai Karakter Radioisotop Yang Digunakan Pada Pembuatan Radiofarmaka. *Farmaka*, 16(1), 222–230.
- Jang, J., Kumakura, Y., Tatenuma, K., Ozeki, A. N., Wada, Y., Akimitsu, N., Tsuguchi, A., Kikunaga, H., Higaki, S., & Uesaka, M. (2022). A preliminary biodistribution study of $[99mTc]$ sodium pertechnetate prepared from an electron linear accelerator and activated carbon-based $99mTc$ generator. *Nuclear Medicine and Biology*, 110–111, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.nucmedbio.2022.03.002>
- Jin, M., Ahn, J., Jo, S. gil, Park, J., Jeon, M. J., Kim, W. G., Kim, T. Y., Kim, W. B., Shong, Y. K., & Ryu, J. S. (2022). Comparison of $99mTc$ Pertechnetate Thyroid Uptake Rates by Gamma Probe and Gamma Camera Methods for Differentiating Graves' Disease and Thyroiditis. *Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 56(1), 42–51. <https://doi.org/10.1007/s13139-021-00734-2>
- Khan, M., & Mahmood, Q. (2019). Technetium-99m Radiopharmaceuticals : A Review on Basic and Applied Aspects. *The Nucleus*, 4(4), 162–170.
- Lacerda, de, Batista, Viviane, I., Vieira, Wilson, J., Oliveira, Liane, M., & Lima, Andrade, de, Roberto, F. (2020). Comparative analysis of the conversion coefficient for internal dosimetry using different phantoms. *Radiation Physics and Chemistry*, 167(May 2019), 108351.

<https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108351>

- Lafira, Rahmawati, I., Priyadi, A., Dan, S., & Ramlan. (2023). Jurnal Penelitian Sains. *Jurnal Penelitian Sains*, 25(1), 25103 (15-x). <https://doi.org/https://doi.org/10.56064/jps.v25i1.723>
- Lasa-Saracíbar, B., El Moukhtari, S. H., Tsotakos, T., Xanthopoulos, S., Loudos, G., Bouziotis, P., & Blanco-Prieto, M. J. (2022). In vivo biodistribution of edelfosine-loaded lipid nanoparticles radiolabeled with Technetium-99 m: Comparison of administration routes in mice. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 175(April), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ejpb.2022.04.007>
- Liem, P. H., Tran, H. N., & Sembiring, T. M. (2015). Design optimization of a new homogeneous reactor for medical radioisotope Mo-99/Tc-99m production. *Progress in Nuclear Energy*, 82, 191–196. <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2014.07.040>
- Marlina, Sarmini, E., Lestari, E., Pratama, C., Nurmanjaya, A., Sriyono, Abidin, Triyatna, F., Kadarisman, Aries, A., Febriana, S., Setiawan, H., Saptama, I., Mujamilah, Patriati, A., Awaludin, R., & Yulizar, Y. (2022). Surface modification of acid-functionalized mesoporous gamma-alumina for non-fission 99Mo/99mTc generator. *Applied Radiation and Isotopes*, 187(June), 110342. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2022.110342>
- Martin, C. J., Harrison, J. D., & Rehani, M. M. (2020). Effective dose from radiation exposure in medicine: Past, present, and future. *Physica Medica*, 79(August), 87–92. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2020.10.020>
- Mutiarahmi, C. N., Hartady, T., & Lesmana, R. (2021). Kajian Pustaka: Penggunaan Mencit Sebagai Hewan Coba di Laboratorium yang Mengacu pada Prinsip Kesejahteraan Hewan. *Indonesia Medicus Veterinus*, 10(1), 134–145. <https://doi.org/10.19087/imv.2020.10.1.134>
- Ni'amah, I., Setiabudi, W., & Nazir, F. (2017). Penentuan persentase uptake radiofarmaka Tc 99m Sulfur Colloid pada sidik hati (Liver scan). *Youngster Physics Journal*, 6(1), 62–69.
- Ramonaheng, K., Staden, van, A. J., & Raan, du H. (2022). Accuracy of two dosimetry software programs for 177Lu radiopharmaceutical therapy using voxel-based patient- specific phantoms. *Journal Pre-Proof*, 8(7), 154166. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09830>
- Romadoni, N. F. (2016). Perbandingan Estimasi Dosis Internal 177Lu-DOTA Trastuzumab Manusia Asia dan Caucasian Berdasarkan Uji Biodistribusi pada Mencit. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi Nuklir 2016*, 4–5.
- Rosilawati, N., Nasution, I., & Murni, W, T. (2017). Penggunaan Radiofarmaka

- Untuk Diagnosa Dan Terapi Di Indonesia Dan Asas Keamanan Penggunaan Obat. *Soepra Jurnal Hukum Kesehatan*, 3(1), 60. <https://doi.org/10.24167/shk.v3i1.697>
- Saha, G. B. (2018). *Fundamentals of Nuclear Pharmacy*, Sixth EdDebnath, S., Niranjan Babu, M., & Vijaya Kumar, G. (2016). *Radiopharmaceuticals and their therapeutic applications in health care system*. Pharma Times, 48(3), 15–18. <https://doi.org/10.5958/2231-5659.2015.00032.6i> (Seventh Ed). Springer. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-57580-3>
- Saptiama, I., Nurmanjaya, A., Rindiantono, F., Marlina, Lestari, A. M., Nugraheni, N. F., & Mujamilah. (2021). Synthesis and characterization of mesoporous gamma-alumina by glucose as soft-template for molybdenum-99 adsorption: High and low molar ratio of water to aluminium isopropoxide effect. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 927(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/927/1/012005>
- Sari, S. N., Milvita, D., Nazir, F., Nuklir, L. F., Fisika, J., Matematika, F., Alam, P., Andalas, U., Unand, K., & Manis, L. (2021). Menggunakan Teknik Region of Interest (ROI). *Jurnal Fisika Unand (JFU)*, 10(1), 29–33.
- Shanehsazzadeh, S., Lahooti, A., Shirmardi, S., P., & Erfani, M. (2015). Comparison of estimated human effective dose of ^{67}Ga - and $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -labeled bombesin based on distribution data in mice. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 305(2), 513–520. <https://doi.org/10.1007/s10967-015-3995-7>
- Soeriadi, Erwin, A., & Utomo, A. (2021). Prosedur Diagnostik Nuklir pada Anak. *Jurnal Health Sains*, 2(Desember), 12.
- Stabin, M. G. (2008). Fundamentals of Nuclear Medicine Dosimetry. In *Springer*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74579-4>
- Stabin, M. G. (2017). The Practice of Internal Dosimetry in Nuclear Medicine. In *CRC Press*. CRC Press.
- Stabin, M. G., Sparks, R. B., & Crowe, E. (2005). OLINDA/EXM: The second-generation personal computer software for internal dose assessment in nuclear medicine. *Journal of Nuclear Medicine*, 46(6), 1023–1027.
- Sudprasert, W., Belyakov, O. V., & Tashiro, S. (2022). Biological and internal dosimetry for radiation medicine: Current status and future perspectives. *Journal of Radiation Research*, 63(2), 247–254. <https://doi.org/10.1093/jrr/rrab119>
- Taprogge, J., Carnegie-Peake, L., Murray, I., Gear, I. J., & Flux, D. G. (2021). Adjustment of the iodine ICRP population pharmacokinetic model for the use in thyroid cancer patients after thyroidectomy. *Journal of Radiological Protection*, 41(4). <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ac149a>

Utaminingtiyas, D. S., Noor, J. A., & Hidayati, N. R. (2016). Evaluasi Akurasi Aktivitas Tc-99m pada Single Organ dan All Organ Menggunakan Kamera Gamma Mediso Anyscan S Dual Head dan Fantom Antropomorfik. *Natural B*, 3(3), 247–252.

Vañó, E., Miller, C. J., Rehani, M. M., Kang, K., Rosenstein, M., Ortiz-López, P., Mattsson, S., Padovani, R., & Rogers, A. (2015). Annals of the ICRP. In *Protection, International Commission on Radiological Protection* (Vol. 44, Issue 1). www.icrp.org

Williams, E. L. (2011). *Radiopharmaceuticals Introduction to Drug Evaluation and Dose Estimation*. CRC Press.