

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

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

Lafira¹, Nur Rahmah Hidayati², Syarifatul Ulya², Arni Aries³, Marlina³, Ramlan^{1,*}

¹Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya, Jl. Palembang-Prabumulih KM 32 Inderalaya, Ogan Ilir, 30662

²Pusat Riset Teknologi Keselamatan, Metrologi, dan Mutu Nuklir, Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Kawasan Sains dan Teknologi B.J. Habibie, Tangerang Selatan, 15314

³Pusat Riset Teknologi Radioisotop, Radiofarmaka dan Biodosimetri, Organisasi Riset Tenaga Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Kawasan Sains dan Teknologi B.J. Habibie, Tangerang Selatan, 15314

*E-mail korespondensi: ramlan@unsri.ac.id

Diterima 10 April 2023, diterima dalam bentuk perbaikan 9 Oktober 2023, disetujui 25 Desember 2023

ABSTRAK

ESTIMASI DOSIS ^{99m}Tc -PERTEHNETAT DARI GENERATOR ^{99}Mo / ^{99m}Tc NON-FISI PADA ANAK-ANAK USIA 1-15 TAHUN UNTUK PROSEDUR DIAGNOSTIK. ^{99m}Tc -pertechnetat berguna untuk berbagai pengobatan kanker yang harus disertai info pemberian dosis ke tubuh manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui estimasi dosis radiofarmaka ^{99m}Tc Pertechnetat pada anak-anak usia 1-15 tahun. Metode penelitian ini dilakukan dengan berbasis uji biodistribusi mencit pada 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 diinput 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 adalah otot, hati, paru-paru, dan lambung. Hasil perbandingan dosis efektif OLINDA/EXM menggunakan t hewan dan t manusia dapat diketahui nilai dosis efektif yang lebih kecil dibandingkan setelah dikonversi ke t manusia. Rata-rata dosis serap dari organ tertinggi pada OLINDA/EXM berada di tiroid, lambung, paru-paru dan hati. Dosis efektif yang diperoleh untuk usia 1 tahun $9,07 \times 10^{-3}$ mSv/MBq, 5 tahun $5,78 \times 10^{-3}$ mSv/MBq, 10 tahun $3,82 \times 10^{-3}$ mSv/MBq dan 15 tahun $2,41 \times 10^{-3}$ mSv/MBq. Oleh sebab itu, dosis efektif yang dihasilkan semakin besar pada umur pasien yang lebih muda

Kata kunci: ^{99m}Tc -Pertechnetat, uji biodistribusi, dosimetri internal

ABSTRACT

ESTIMATION OF ^{99m}Tc - PERTECHNETATE DOSE FROM THE GENERATOR $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ NON-FISSION IN CHILDREN AGED 1-15 YEARS FOR DIAGNOSTIC PROCEDURES. ^{99m}Tc -pertechnetate is useful for various cancer treatments but it should be provided with information on dose to the human body. This study aims to determine the estimated dose of ^{99m}Tc Pertechnetate radiopharmaceutical in children aged 1-15 years. This research was carried out based on the mice biodistribution test with time intervals of 0.5, 1, 3, 5, 24 hours after radiopharmaceutical injection. From the biodistribution test results, it was obtained that %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 organ is muscles, liver, lungs, and stomach. The results of the comparison of effective doses of OLINDA/EXM using t animals and t humans show that an effective dose value was smaller than after being converted to t humans. The average absorbed dose from the highest organs in OLINDA/EXM is in the thyroid, stomach, and lungs. Effective dose results obtained for 1 year old is 1 year $9,07 \times 10^{-3}$ mSv/MBq, 5 years $5,78 \times 10^{-3}$ mSv/MBq, 10 years $3,82 \times 10^{-3}$ mSv/MBq dan 15 years $2,41 \times 10^{-3}$ mSv/MBq. The effective dose generated is greater for younger patients.

Keywords: ^{99m}Tc -Pertechnetate, biodistribution test, internal dosimetry

PENDAHULUAN

Perkembangan kedokteran nuklir menjadi salah satu ilmu yang dibutuhkan dalam mendiagnosis penyakit kanker. Kedokteran nuklir di Indonesia banyak mengembangkan radiofarmaka sebagai obat untuk terapi atau diagnosis suatu penyakit secara *in vivo* terutama kanker atau tumor [1,2]. Radioisotop yang paling banyak digunakan hingga saat ini yaitu ^{99m}Tc . Aplikasi ^{99m}Tc sekitar 70% untuk kedokteran nuklir dalam prosedur diagnostik [3–5]. ^{99m}Tc merupakan radioisotop pemancar gamma yang memiliki energi 140 keV dan waktu paro 6 jam, dimana ^{99m}Tc akan berada di dalam tubuh tidak begitu lama untuk mencapai organ targetnya [6–9]. ^{99m}Tc merupakan anak radioisotop dari ^{99}Mo yang dapat diproduksi dengan reaksi fisi dan non fisi [10–12]. ^{99m}Tc radioisotop diproduksi menggunakan sistem generator, suatu alat yang terdiri dari kolom alumina, dimana ^{99}Mo akan diserap ke dalam senyawa kimia berupa $[^{99}\text{Mo}]\text{MoO}_4^{2-}$ sehingga peluruhan ^{99}Mo akan menjadi $[^{99m}\text{Tc}]\text{TcO}_4^-$ [13–15].

Pengembangan suatu radiofarmaka baru diperlukan pengujian praklinis berupa uji biodistribusi. Sebelum suatu radiofarmaka diujikan pada manusia, terlebih dahulu harus menjalani studi aplikasi biodistribusi dan dosimetri radiasi pada hewan untuk menentukan keamanan dan efektivitasnya (klinis) [16]. Uji biodistribusi adalah metode yang berguna untuk melihat penyebaran radiofarmaka ke organ target dan organ lainnya, serta sisa penyerapan radiofarmaka di dalam organ [17,18]. Dosimetri internal dibutuhkan untuk memperkirakan dosis secara tepat pada pasien, dimana setiap aktivitas radioisotop organ tubuh dapat diperhitungkan dengan metode MIRD (*Medical Internal Radiation Dosimetry*) [19]. Estimasi dosis tidak dilakukan pengukuran secara langsung ke tubuh tetapi melalui sebuah perhitungan. Maka dari itu, untuk mengetahui perhitungan yang dihasilkan dapat digunakan *software* untuk perhitungan estimasi dosis yaitu OLINDA/EXM [20]. Dengan demikian, akan diperoleh nilai dosis efektif untuk setiap organ serta total dosis efektif tubuh. Faktor yang mempengaruhi besarnya nilai dosis efektif yang dihasilkan berdasarkan massa organ tubuh yang dimiliki setiap tubuh manusia [21].

Estimasi dosis menggunakan radiofarmaka baru ^{99m}Tc -Pertehnetat non-fisi yang diproduksi oleh BRIN akan dibandingkan dengan radiofarmaka komersial atau di pasaran. Berdasarkan data hasil biodistribusi mencit yang telah diinjeksikan ^{99m}Tc -Pertehnetat dikonversi ke dalam %ID/gram manusia dan melakukan perbandingan hasil dosis efektif yang diperoleh dari *software* OLINDA/EXM terhadap ICRP 128. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis estimasi dosis ^{99m}Tc -Pertehnetat dari metode uji biodistribusi dan dosimetri internal pada anak-anak usia 1-15 tahun. Hal ini dikarenakan anak-anak memiliki tubuh yang masih dalam fase perkembangan sehingga diperlukan perhatian khusus dalam pengobatan kanker [22]. Hal tersebut dapat dimanfaatkan sebagai data pendukung dalam penggunaan radiofarmaka ^{99m}Tc -Pertehnetat di Indonesia.

METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan hewan percobaan yang telah dievaluasi dan disetujui oleh Ketua Komisi Pemanfaatan dan Perawatan Hewan Percobaan (KEPPHP) BATAN pada tanggal 24 Juli 2015 dengan No.004/KEPPHP-BATAN/VII/2015.

Uji Biodistribusi

Sepuluh mikroliter ^{99m}Tc -Pertehnetat diinjeksikan ke 15 mencit melalui intravena dan aktivitas sebesar 289 μCi . Aktivitas ^{99m}Tc -Pertehnetat diukur dengan *dose calibrator*. Mencit yang digunakan memiliki berat badan berkisar 23-30 kg. Kemudian, mencit-mencit tersebut didiamkan sesuai interval waktu yang telah ditentukan, yaitu 0,5; 1; 3; 5; 24 jam. Percobaan dilakukan 3 kali perulangan pada masing-masing kelompok mencit yang terdiri 3 mencit yang dikelompokkan berdasarkan interval waktu yang telah ditentukan.

Pembedahan dan Pencacahan

Pada 0,5; 1; 3; 5; 24 jam pasca penginjeksian radiofarmaka pada mencit, kemudian dilakukan pembedahan. Sebelum pembedahan mencit dibius terlebih dahulu agar selama proses pembedahan tidak akan menyakiti hewan tersebut. Jika mencit sudah tidak bergerak lagi selanjutnya dilakukan pembedahan. Pembedahan dilakukan dengan alat-alat bedah dan diambil organ-organ berupa kandung kemih, ginjal, usus, lambung, hati, jantung, paru-paru, limpa, tulang, otot, dan tiroid. Setelah organ-organ mencit diambil selanjutnya organ tersebut ditimbang dan dicacah dengan *gamma counter*.

Perhitungan %ID/Gr Organ Hewan

Setelah dilakukan proses pencacahan untuk setiap organ, selanjutnya data cacahan diperhitungkan dengan menggunakan persamaan ini [6]:

$$\%ID/gr\ Organ = \frac{Cacahan\ gr\ organ}{Cacahan\ ID\ diberi} \times 100 \quad (1)$$

Perhitungan Perhitungan %ID Manusia

Berdasarkan nilai cacahan yang telah didapatkan, kemudian dihasilkan nilai %ID/gr hewan. Setelah itu, nilai %ID/gr hewan dikonversi ke %ID/organ manusia, dengan menggunakan persamaan berikut [21, 23]:

$$\left(\frac{\%}{organ}\right)_{manusia} = \left[\left(\frac{\%}{organ}\right)_{hewan} \times (kg_{massa})_{hewan}\right] \times \left(\frac{g_{organ}}{kg_{massa}}\right)_{manusia} \quad (2)$$

Sehingga, diperoleh nilai %ID/organ manusia dan diinputkan ke *software* OLINDA/EXM untuk perhitungan dosis internal. Massa tubuh yang digunakan untuk anak-anak (1 tahun 10 kg, 5 tahun 20 kg, 10 tahun 33 kg, 15 tahun 57 kg) dengan interval waktu ekstrapolasi 0,5; 1; 3; 5; 24 jam.

Estimasi Dosis dengan OLINDA/EXM

Nilai %ID/organ manusia diinput ke *software* OLINDA/EXM. Pada *software* OLINDA/EXM menggunakan radioisotop ^{99m}Tc dan dapat dipilih model fantom yang digunakan yaitu usia 1 tahun, 5 tahun, 10 tahun, dan 15 tahun. Kemudian, untuk kolom biokinetik pilih *Fit Data to Model*, diinput nilai %ID/organ manusia dan waktunya pada tabel yang tersedia disesuaikan organ yang diestimasi dosisnya. Semua parameter meliputi energi yang dilepaskan oleh peluruhan radioaktif, fraksi energi yang diserap di organ target, massa organ, dan disintegrasi fisik dan biologis dari radiofarmasi dimasukkan dalam perhitungan (2) [24].

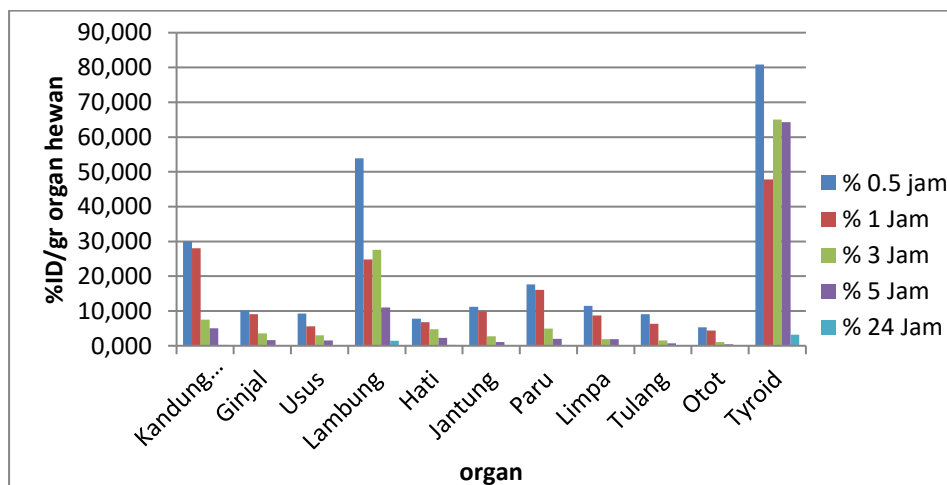
Dengan, proses yang sama tetapi sebelum diinputkan nilai %ID/organ manusia akan dilakukan konversi interval waktu hewan menjadi interval waktu manusia. Persamaannya sebagai berikut [25]:

$$t_{human} = t_{animal} \left[\frac{m_{human}}{m_{animal}} \right]^b \quad (3)$$

Waktu yang telah dikonversi beserta nilai %ID/organ manusia diinput ke OLINDA/EXM. Hasil estimasi dosis yang diperoleh juga dibandingkan dengan standar referensi ICRP 128.

HASIL DAN PEMBAHASAN

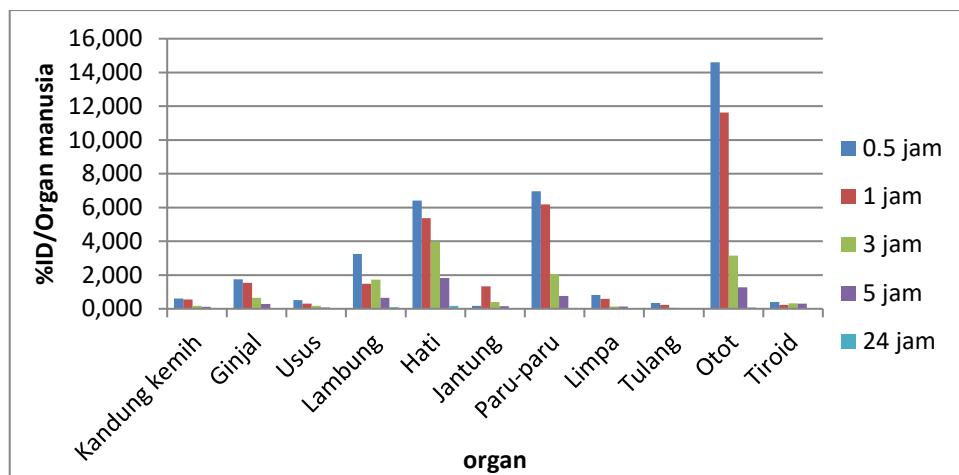
Setelah dilakukan uji biodistribusi hewan mencit didapat nilai %ID/gr organ hewan pada Gambar 1.



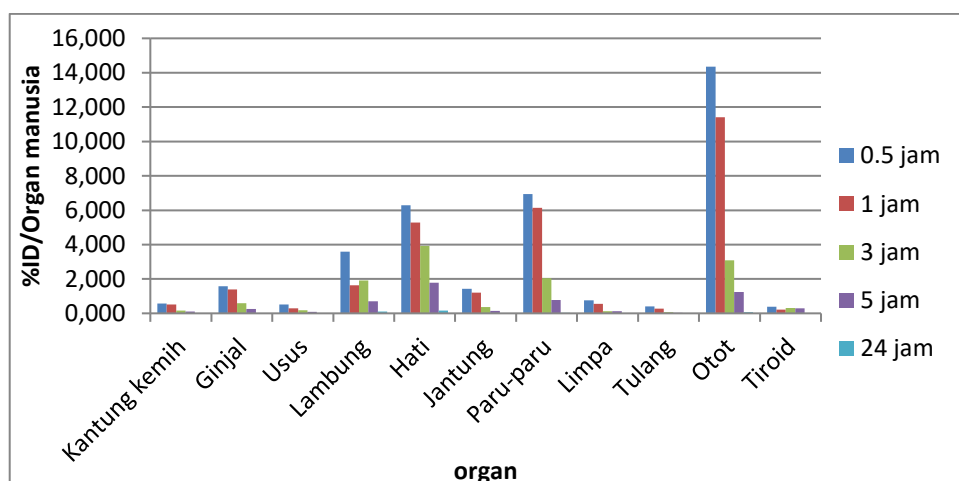
Gambar 1. %ID/gr organ hewan dengan interval waktu 0,5; 1; 3; 5; 24 jam

Gambar 1 menunjukkan bahwa nilai uptake tertinggi ada pada organ tiroid dimana secara berturut-turut setelah injeksi radiofarmaka dengan waktu 0,5; 1; 3; 5; dan 24 jam adalah 80,8%, 47,8%, 65,0%, 64,3%, dan 3,2%. Ketika suatu jaringan target normal atau tidak dipengaruhi oleh kondisi penyakit maka radiofarmaka terakumulasi pada jaringan target tertentu secara otomatis mengikuti proses fisiologis yang tepat [26]. Akibat dari sifat obat ^{99m}Tc -Pertehnetat ini dengan sendirinya akan terakumulasi pertama kali ke organ tiroid. Oleh sebab itu, organ tiroid menjadi serapan tertinggi. Organ selanjutnya yang memiliki uptake tertinggi kedua yaitu lambung dengan berturut-turut 0,5; 1; 3; 5; dan 24 jam menghasilkan 53,9%, 24,8%, 27,5%, 11,0%, dan 1,5%. Uptake tertinggi ketiga ada pada organ kandung kemih dimana, berturut-turut 0,5; 1; 3; 5; dan 24 jam dihasilkan nilai 29,9%, 28,0%, 7,5%, 5,0%, 0,2%. Dan uptake tertinggi keempat pada organ paru-paru secara berturut-turut menghasilkan persentase sebesar 17,7%, 16,0%, 4,9%, 1,9% dan 0,1%. Hasil persentase uptake menyatakan dosis serap yang diterima setiap organ akan menurun seiring berjalannya waktu yang dikarenakan adanya ekskresi radiofarmaka dari tubuh.

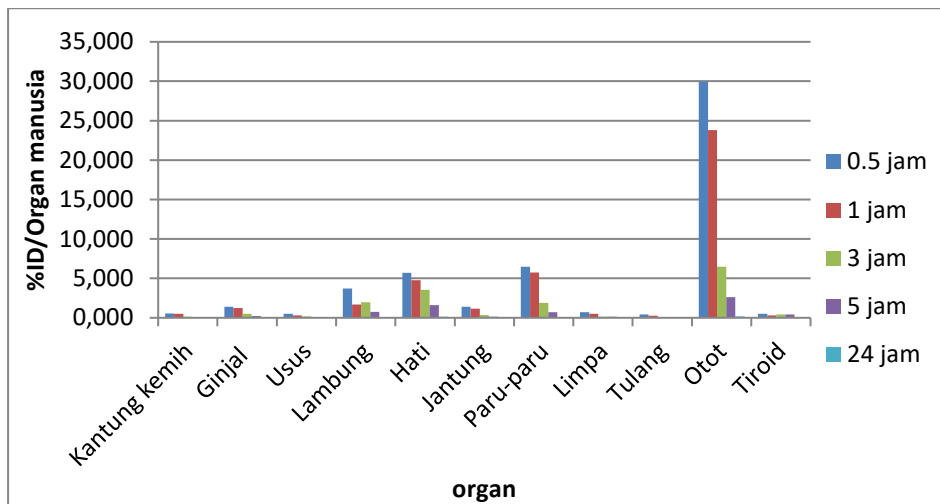
Estimasi dosis pada anak-anak usia 1-15 tahun menggunakan ^{99m}Tc -pertehnetat dengan uji biodistribusi telah dilakukan. Radiofarmaka diinjeksikan ke dalam tubuh mencit secara intravena dan akan terdistribusi ke seluruh tubuh mencit. Uji biodistribusi pada hewan mencit ini diperlukan untuk estimasi suatu dosis internal radiasi pada tubuh manusia [27]. Hasil perhitungan estimasi dosis menggunakan nilai %ID/gr organ hewan yang kemudian dikonversi ke nilai %ID/Organ manusia dengan Persamaan (1) diperlihatkan Gambar 2.



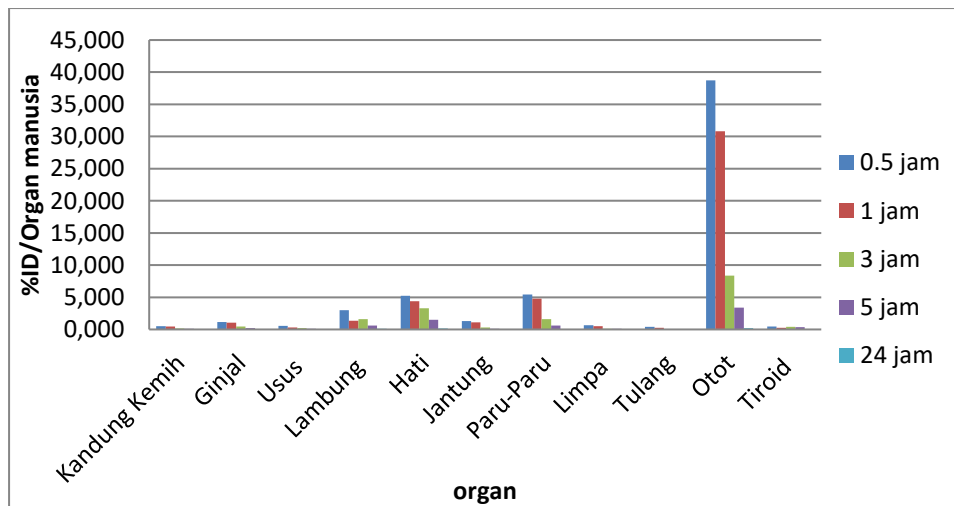
Gambar 2. %ID/Organ manusia untuk anak 1 tahun



Gambar 3. %ID/Organ manusia untuk anak 5 tahun



Gambar 4. %ID/Organ manusia untuk anak 10 tahun



Gambar 5. %ID/Organ manusia untuk anak 15 tahun

Dari Tabel 1 dan Gambar 1 nilai uptake yang mendominasi pada hasil persentase per organ manusia berada pada organ tiroid, lambung, kandung kemih, dan paru-paru. Sedangkan pada Gambar 2, 3, 4, dan 5 menunjukkan persentase uji biodistribusi setelah dikonversi ke organ manusia untuk anak-anak usia 1- 15 tahun dengan interval waktunya 0,5; 1; 3; 5; 24 jam menunjukkan rata-rata nilai uptake yang mendominasi pada 0,5 jam pasca injeksi di organ otot. Selain itu, hasil yang sama ada pada organ paru-paru, hati dan juga lambung. Penurunan persentase pada interval waktu berikutnya dapat disebabkan oleh ekskresi yang terjadi pada organ berupa keringat, buang air kecil atau besar, dan lain-lainnya. Dalam studi Hidyati, dkk [28] bahwasanya estimasi dosis dari hewan ke manusia terjadi perbedaan hasil. Hal ini dapat terjadi ketika estimasi dilakukan pada spesies yang berbeda. Tingkat akurasi dari metode ekstrapolasi data hewan mencit ke manusia masih jauh. Tetapi penelitian ini tetap perlu dilakukan karena hingga saat ini metode ekstrapolasi data menjadi metode yang paling baik untuk estimasi dosis radiofarmaka baru [28].

Setelah dilakukan konversi dari hasil uji biodistribusi maka selanjutnya, estimasi dosis menggunakan *software* OLINDA/EXM, dan didapat hasil seperti pada Tabel 1. Diperoleh dosis efektif untuk anak-anak usia 1-15 tahun diantaranya anak usia 1 tahun $9,07 \times 10^{-3}$ mSv/MBq, usia 5 tahun $5,78 \times 10^{-3}$ mSv/MBq, usia 10 tahun $3,82 \times 10^{-3}$ mSv/MBq, dan usia 15 tahun $2,41 \times 10^{-3}$ mSv/MBq. Data menunjukkan kecenderungan dosis serap organ untuk anak-anak usia 1-15 tahun yaitu tiroid, lambung, hati, dan paru-paru. Berdasarkan nilai dosis efektif diketahui bahwa besarnya nilai dipengaruhi oleh massa organ pada setiap anak. Ketika dosis radiofarmaka yang sama diberikan untuk usia 1-15 tahun yang memiliki massa organ yang berbeda, maka anak usia 1 tahun akan lebih besar menerima dosis dibandingkan dengan usia 5, 10, dan 15 tahun. Maka dari itu, pemberian dosis untuk setiap

usia tidak bisa disamakan karena memiliki kapasitas yang berbeda untuk setiap tubuh manusia. Penelitian Intokiyah dkk [27] melakukan estimasi dosis ^{99m}Tc -MDP pada wanita dan laki-laki, dan menghasilkan dosis internal wanita lebih kecil dibandingkan laki-laki yang disebabkan oleh perbedaan massa organ tubuh. Sehingga, massa tubuh, resiko, dan efek radiasi mempengaruhi besar dosis yang akan diterima oleh pasien atau manusia. Pemberian dosis terhadap anak-anak dapat dilihat dari usia, berat badan hingga luas permukaan tubuh anak [22].

Tabel 1. Hasil dosis serap dari *software* OLINDA/EXM

Organ	Dosis serap (mSv/MBq)			
	1 Tahun	5 Tahun	10 Tahun	15 Tahun
Kantung kemih	$3,86 \times 10^{-3}$	$2,02 \times 10^{-3}$	$1,57 \times 10^{-3}$	$1,17 \times 10^{-3}$
Ginjal	$1,01 \times 10^{-2}$	$5,60 \times 10^{-3}$	$3,74 \times 10^{-3}$	$2,38 \times 10^{-3}$
Usus	$2,87 \times 10^{-3}$	$2,87 \times 10^{-3}$	$1,31 \times 10^{-3}$	$8,79 \times 10^{-3}$
Lambung	$1,52 \times 10^{-2}$	$9,94 \times 10^{-3}$	$6,36 \times 10^{-3}$	$3,89 \times 10^{-3}$
Hati	$1,18 \times 10^{-2}$	$6,82 \times 10^{-3}$	$4,59 \times 10^{-3}$	$2,94 \times 10^{-3}$
Jantung	$7,32 \times 10^{-3}$	$5,47 \times 10^{-3}$	$3,66 \times 10^{-3}$	$2,35 \times 10^{-3}$
Paru-paru	$1,59 \times 10^{-3}$	$7,11 \times 10^{-3}$	$4,61 \times 10^{-3}$	$2,92 \times 10^{-3}$
Limpa	$9,43 \times 10^{-3}$	$5,54 \times 10^{-3}$	$3,61 \times 10^{-3}$	$2,33 \times 10^{-3}$
Tulang	$2,44 \times 10^{-3}$	$1,56 \times 10^{-3}$	$1,35 \times 10^{-3}$	$1,02 \times 10^{-3}$
Otot	$3,65 \times 10^{-3}$	$2,02 \times 10^{-3}$	$1,45 \times 10^{-3}$	$9,82 \times 10^{-3}$
Tiroid	$1,09 \times 10^{-1}$	$5,51 \times 10^{-2}$	$3,44 \times 10^{-2}$	$2,08 \times 10^{-3}$
Total Dosis Efektif mSv/MBq	$9,07 \times 10^{-3}$	$5,78 \times 10^{-3}$	$3,82 \times 10^{-3}$	$2,41 \times 10^{-3}$

Tabel 2. Konversi waktu hewan ke waktu manusia [25]

Usia	t hewan (jam)	t manusia (jam)
1 Tahun	0,5	2,2
	1	4,4
	3	13,2
	5	22
	24	105,3
5 Tahun	0,5	2,6
	1	5,2
	3	15,7
	5	26,1
	24	125,2
10 Tahun	0,5	3
	1	5,9
	3	17,7
	5	29,6
	24	141,9
15 Tahun	0,5	3,4
	1	6,8
	3	20,3
	5	33,9
	24	162,7

Disebutkan pada referensi buku lain untuk melakukan estimasi dosis perlu dilakukan konversi nilai interval waktu hewan ke waktu manusia [25] sebelum estimasi melalui *software* OLINDA/EXM persamaan (2), diperoleh nilai seperti pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 konversi waktu hewan ke waktu manusia cenderung akan semakin besar waktu yang dihasilkan. Hal tersebut, dipengaruhi massa tubuh manusia yang tentunya jauh berbeda dengan hewan seperti mencit. Massa tubuh yang berbeda memiliki laju metabolisme yang berbeda. Sehingga, waktu interval yang didapat akan berbeda karena memiliki massa tubuh dan laju metabolisme setiap tubuh berbeda [29, 30].

Dari hasil perhitungan estimasi dosis *software* OLINDA/EXM yang menggunakan waktu manusia yang telah dikonversi. Nilai dosis serap dan total dosis efektif yang berbeda sebelum dilakukan konversi, seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil dosis serap menggunakan OLINDA/EXM setelah konversi waktu hewan ke waktu manusia

Organ	Dosis serap (mSv/MBq)			
	1 Tahun	5 Tahun	10 Tahun	15 Tahun
Kantung kemih	$9,90 \times 10^{-3}$	$5,75 \times 10^{-3}$	$4,83 \times 10^{-3}$	$3,78 \times 10^{-3}$
Ginjal	$2,49 \times 10^{-2}$	$1,50 \times 10^{-2}$	$1,03 \times 10^{-2}$	$6,92 \times 10^{-3}$
Usus	$4,75 \times 10^{-3}$	$3,02 \times 10^{-3}$	$2,72 \times 10^{-3}$	$1,99 \times 10^{-3}$
Lambung	$3,40 \times 10^{-2}$	$2,14 \times 10^{-2}$	$1,46 \times 10^{-2}$	$9,48 \times 10^{-3}$
Hati	$2,60 \times 10^{-2}$	$1,55 \times 10^{-2}$	$1,09 \times 10^{-2}$	$7,28 \times 10^{-3}$
Jantung	$2,58 \times 10^{-2}$	$1,58 \times 10^{-2}$	$1,10 \times 10^{-2}$	$7,41 \times 10^{-3}$
Paru-paru	$3,41 \times 10^{-2}$	$2,03 \times 10^{-2}$	$1,37 \times 10^{-2}$	$9,11 \times 10^{-3}$
Limpa	$2,59 \times 10^{-2}$	$1,68 \times 10^{-2}$	$5,83 \times 10^{-3}$	$7,59 \times 10^{-3}$
Tulang	$7,45 \times 10^{-3}$	$4,45 \times 10^{-3}$	$4,09 \times 10^{-3}$	$3,25 \times 10^{-3}$
Otot	$1,02 \times 10^{-2}$	$5,96 \times 10^{-3}$	$4,49 \times 10^{-3}$	$3,19 \times 10^{-3}$
Tiroid	$1,56 \times 10^{-1}$	$8,13 \times 10^{-2}$	$5,20 \times 10^{-2}$	$3,20 \times 10^{-2}$
Total Dosis Efektif mSv/MBq	$2,12 \times 10^{-2}$	$1,22 \times 10^{-2}$	$8,59 \times 10^{-3}$	$5,74 \times 10^{-3}$

Berdasarkan Tabel 3 diketahui nilai total dosis efektif untuk anak usia 1 tahun sebesar $2,12 \times 10^{-2}$ mSv/MBq, usia 5 tahun $1,22 \times 10^{-2}$ mSv/MBq, usia 10 tahun $8,59 \times 10^{-3}$ mSv/MBq, dan usia 15 tahun $5,74 \times 10^{-3}$ mSv/MBq. Estimasi dosis setelah dikonversi memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan nilai estimasi dosis sebelum konversi. Perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui faktor koreksi dari laju metabolisme tubuh. Hewan mencit dan manusia memiliki skala laju metabolisme yang berbeda hanya saja struktur organnya yang mirip. Dengan demikian, konversi nilai yang dilakukan tentunya akan mempengaruhi estimasi dosis karena titik waktu yang digunakannya berbeda. Dapat dikatakan bahwa ekstrapolasi data hewan ke manusia ini akan jauh lebih rendah tingkat akurasi daripada ekstrapolasi data hewan ke hewan lain misalnya antara tikus dan mencit tingkat akurasi akan lebih mendekati karena kedua hewan ini memiliki ukuran tubuh dan metabolisme yang tidak terlalu jauh [31].

KESIMPULAN

Hasil nilai %ID/organ manusia dari metode uji biodistribusi ^{99m}Tc diperoleh uptake yang mendominasi ada pada organ otot, paru-paru, hati, dan lambung. Setelah dilakukan konversi waktu hewan ke waktu manusia, penelitian ini menghasilkan estimasi dosis internal yang berbeda. Organ yang memiliki dosis serap tertinggi adalah organ tiroid, organ tertinggi berikutnya menerima dosis serap yang berbeda untuk setiap rentang usia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PRTKMMN-BRIN Lebak Bulus dan PRTRRB-BRIN Puspiptek Serpong yang telah memberikan kesempatan dan bantuannya selama proses pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aisyah, P. A. Artiani, and J. Rachmadetin, "Radioactive Fission Waste from Molybdenum-99 Production and Proliferation Risks," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 927, no. 1, p. 012041, Dec. 2021, doi:

10.1088/1755-1315/927/1/012041.

- [2] M. Vasquez-Arteaga *et al.*, "Dosimetry of radiopharmaceuticals used in adult patients with suspected pulmonary embolism," *MOMENTO*, vol. 2021, no. 63, pp. 22–33, Jul. 2021, doi: 10.15446/mo.n63.95617.
- [3] N. R. Hidayati, "Application Of 99m Tc Radioisotope In Diagnostic Procedures And Internal Radiation Dose Estimation," *KnE Energy*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, Sep. 2016, doi: 10.18502/ken.v1i1.469.
- [4] A. Duatti, "Review on 99mTc radiopharmaceuticals with emphasis on new advancements," *Nucl. Med. Biol.*, vol. 92, pp. 202–216, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.nucmedbio.2020.05.005.
- [5] T. Zawistowski and S. Wronka, "Simulation of 99mo production from 30 MeV electron linear accelerator," *Acta Phys. Pol. A*, vol. 139, no. 4, pp. 451–453, 2021, doi: 10.12693/APhysPolA.139.451.
- [6] I. N. Islami, R. H. Nur, A. W. T. Hafiz, Iswahyudi, I. Daruwati, and N. S. Moch, "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 Maj. IPTEK Nukl.*, vol. 22, no. 2, p. 85, Dec. 2019, doi: 10.17146/gnd.2019.22.2.5302.
- [7] P. H. Liem, H. N. Tran, and T. M. Sembiring, "Design optimization of a new homogeneous reactor for medical radioisotope Mo-99/Tc-99m production," *Prog. Nucl. Energy*, vol. 82, pp. 191–196, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.pnucene.2014.07.040.
- [8] F. J. Kelutur and H. Abdul Holik, "Use of 99m Tc in The Field of Radiofarmation: A Review," *Biomed. J. Indones.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–10, Jan. 2021, doi: 10.32539/bji.v7i1.241.
- [9] Y. Fujita *et al.*, "Effect on 99Mo-adsorption/99mTc-elution properties of alumina with different surface structures," *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, vol. 327, no. 3, pp. 1355–1363, Mar. 2021, doi: 10.1007/s10967-021-07616-z.
- [10] Marlina *et al.*, "Surface modification of acid-functionalized mesoporous gamma-alumina for non-fission 99Mo/99mTc generator," *Appl. Radiat. Isot.*, vol. 187, no. June, p. 110342, Sep. 2022, doi: 10.1016/j.apradiso.2022.110342.
- [11] I. Saptiama *et al.*, "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 Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 927, no. 1, p. 012005, Dec. 2021, doi: 10.1088/1755-1315/927/1/012005.
- [12] J. Jang *et al.*, "A preliminary biodistribution study of [99mTc]sodium pertechnetate prepared from an electron linear accelerator and activated carbon-based 99mTc generator," *Nucl. Med. Biol.*, vol. 110–111, pp. 1–9, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.nucmedbio.2022.03.002.
- [13] A. Boschi, L. Uccelli, and P. Martini, "A Picture of Modern Tc-99m Radiopharmaceuticals: Production, Chemistry, and Applications in Molecular Imaging," *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 12, p. 2526, Jun. 2019, doi: 10.3390/app9122526.
- [14] S. Hasan and M. A. Prelas, "Molybdenum-99 production pathways and the sorbents for 99Mo/99mTc generator systems using (n, γ) 99Mo: a review," *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 11, p. 1782, Nov. 2020, doi: 10.1007/s42452-020-03524-1.
- [15] M. Khan and Q. Mahmood, "Technetium-99m Radiopharmaceuticals : A Review on Basic and Applied Aspects," *Nucl.*, vol. 56, no. 4, pp. 163–171, 2019, [Online]. Available: <http://www.thenucleuspak.org.pk/index.php/Nucleus/article/view/587>.
- [16] C. C. O. Silva *et al.*, "Preclinical radiation internal dosimetry in the development of new radiopharmaceuticals using GATE Monte Carlo simulation," *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 173, no. August 2019, p. 108879, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.radphyschem.2020.108879.
- [17] R. J. Sugiharti, I. Daruwati, E. M. Widyasari, and M. Christina, "Studi Awal Biodistribusi Nanomaterial 186Re-M41S-NH2 Sebagai Radiofarmaka Untuk Prosedur Radiosinovektomi," *GANENDRA Maj. IPTEK Nukl.*, vol. 22, no. 1, p. 47, May 2019, doi: 10.17146/gnd.2019.22.1.4724.
- [18] D. Desita, W. S. Budi, and G. Gunawan, "Biodistribusi radiofarmaka Tc99m DTPA pada pemeriksaan renografi," *Youngster Phys. J.*, vol. 6, no. 2, pp. 157–165, 2017, [Online]. Available:

<https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/bfd/article/view/17120/0>.

- [19] K. Ramonaheng, A. J. S. Van, and du H. Raan, "Accuracy of two dosimetry software programs for ^{177}Lu radiopharmaceutical therapy using voxel-based patient-specific phantoms," *Heliyon*, vol. 8, no. 7, p. e09830, Jul. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e09830.
- [20] M. G. Stabin, R. B. Sparks, and E. Crowe, "OLINDA/EXM: The second-generation personal computer software for internal dose assessment in nuclear medicine," *J. Nucl. Med.*, vol. 46, no. 6, pp. 1023–1027, 2005, [Online]. Available: <https://jnm.snmjournals.org/content/46/6/1023>.
- [21] M. G. Stabin, *Fundamentals of Nuclear Medicine Dosimetry*. New York: Springer New York, 2008.
- [22] A. S. Erwin and A. Utomo, "Prosedur Kedokteran Nuklir pada Anak," *J. Heal. Sains*, vol. 2, no. 12, pp. 1625–1636, Dec. 2021, doi: 10.46799/jhs.v2i12.372.
- [23] N. R. Hidayati, Iswahyudi, T. H. A. Wibawa, D. Andini, I. N. Islami, and I. Daruwati, "Penentuan residence time radiofarmaka ^{99m}Tc -MDP menggunakan Ms-Excel, MatLab dan OLINDA/EXM untuk estimasi dosis ke manusia," in *Seminar Nasional SDM Teknologi Nuklir*, 2018, pp. 222–227, [Online]. Available: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/50/062/50062868.pdf?r=1.
- [24] I. L. de B. Viviane, J. V. Wilson, M. O. Liane, and F. L. A. de Roberto, "Comparative analysis of the conversion coefficient for internal dosimetry using different phantoms," *Radiat. Phys. Chem.*, vol. 167, no. May 2019, p. 108351, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.radphyschem.2019.108351.
- [25] M. G. Stabin, *The Practice of Internal Dosimetry in Nuclear Medicine*. Boca Raton: CRC Press, 2017.
- [26] S. Soenarjo, "Mekanisme Lokalisasi Sediaan Radiofarmaka Pada Organ Target," *J. Radioisot. dan Radiofarmaka*, vol. 17, no. 1, pp. 15–26, 2014, [Online]. Available: <https://jurnal.batan.go.id/index.php/jrxx123/article/view/1777>.
- [27] D. Intokiyah, T. H. A. Wibawa, I. Iswahyudi, N. R. Hidayati, I. Daruwati, and Y. S. Perkasa, "Estimasi Dosis ^{99m}Tc -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, Feb. 2019, doi: 10.17146/jstni.2019.1.1.4631.
- [28] N. R. Hidayati *et al.*, "Studi Awal Estimasi Dosis Internal ^{177}Lu -Dota Trastuzumab Pada Manusia Berbasis Uji Biodistribusi Pada Mencit," *J. Sains dan Teknol. Nukl. Indones.*, vol. 16, no. 2, p. 105, Aug. 2015, doi: 10.17146/jstni.2015.16.2.2362.
- [29] F. Cicone, D. Viertl, T. Denoël, M. G. Stabin, J. O. Prior, and S. Gnesin, "Comparison of absorbed dose extrapolation methods for mouse-to-human translation of radiolabelled macromolecules," *EJNMMI Res.*, vol. 12, no. 1, p. 21, Dec. 2022, doi: 10.1186/s13550-022-00893-z.
- [30] D. S. Glazier, "Effects of metabolic level on the body size scaling of metabolic rate in birds and mammals," *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 275, no. 1641, pp. 1405–1410, Jun. 2008, doi: 10.1098/rspb.2008.0118.
- [31] S. Shanehsazzadeh, A. Lahooti, P. S. S, and M. Erfani, "Comparison of estimated human effective dose of ^{67}Ga - and ^{99m}Tc -labeled bombesin based on distribution data in mice," *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, vol. 305, no. 2, pp. 513–520, Aug. 2015, doi: 10.1007/s10967-015-3995-7.