



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENENTUAN BIODISTRIBUSI DAN DOSIS INTERNAL
BERBAGAI ORGAN PADA PEMERIKSAAN RENOGRAFI
 $^{99}\text{Tc}^m\text{DTPA}$**

TESIS

**Iin Indartati
1006803480**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Program Studi Magister Fisika
Kekhususan Fisika Medis
Depok
Juni 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENENTUAN BIODISTRIBUSI DAN DOSIS INTERNAL
BERBAGAI ORGAN PADA PEMERIKSAAN RENOGRAFI
 $^{99}\text{Tc}^m\text{DTPA}$**

TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Fisika Medis**

**Iin Indartati
1006803480**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Program Studi Magister Fisika
Kekhususan Fisika Medis
Depok
Juni 2012**

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tesis ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Iin Indartati
NPM : 1006803480
Tanda Tangan : 

Tanggal : 30 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Iin Indartati
 NPM : 1006803480
 Program Studi : Magister Fisika
 Judul Tesis : Penentuan Biodistribusi dan Dosis Internal Berbagai Organ Pada Pemeriksaan Renografi $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Master Sains pada Program Studi Magister Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Djarwani Soeharso Soejoko (.....)

Penguji I : Dr. Mussadiq Musbach (.....)

Penguji II : Dr. Warsito (.....)

Penguji III : Dr. Supriyanto A. Pawiro (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 30 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah, SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul **PENENTUAN BIODISTRIBUSI DAN DOSIS INTERNAL BERBAGAI ORGAN PADA PEMERIKSAAN RENOGRAFI $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA**. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

- (1) Ibu Prof. Dr. Djarwani Soeharso Soejoko, selaku dosen pembimbing yang telah sangat sabar membimbing, membagi ilmu pengetahuan dan mengarahkan penulis selama perkuliahan sampai dengan selesainya penelitian ini.
- (2) Dr. Mussadiq Musbach, Dr. Warsito dan Dr. Supriyanto Pawiro yang telah menjadi penguji dan memberikan masukan serta koreksi terhadap tesis ini.
- (3) Seluruh staf dosen pengajar dan staf administrasi Program Magister Fisika Medik Pasca Sarjana FMIPA Universitas Indonesia.
- (4) Kepala BAPETEN yang telah mengizinkan penulis untuk melanjutkan ke jenjang pendidikan S2 ini.
- (5) Direktur RSPP Pertamina Jakarta Pusat atas izin yang telah diberikan untuk penelitian di RSPP Pertamina dan staf
- (6) Kepala unit Kedokteran Nuklir, Dr. Chafied Varuna, Sp.KN yang telah memberikan keleluasaan dan fasilitas dalam pengambilan data di unit Kedokteran Nuklir RSPP Pertamina Jakarta Pusat;
- (7) Dr. Bambang yang telah memberikan fasilitas untuk pengambilan data di unit radioterapi RSPP Pertamina;
- (8) Dr. Fadil Nasir, Sp.KN yang telah banyak meluangkan waktu memberikan informasi dan diskusi mengenai hal hal yang terkait dengan tesis ini;
- (9) Bapak Tetratma KSW, sebagai staf senior di unit Kedokteran Nuklir yang telah banyak membantu dalam menyediakan pasien untuk pelaksanaan pengambilan data scanning pasien;
- (10) Bapak Erwin dan Duta Kamesworo sebagai staf di unit Kedokteran Nuklir yang telah memberikan waktu dan tenaga untuk membantu mempersiapkan radiofarmaka dan pelaksanaan scanning pasien;

- (11) Arreta Rei, Hardiani Rahmania, Kristina Wigati, Rini Suryanti, teman-teman lab 111 yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tesis;
- (12) Suami ku tercinta yang telah memberikan bantuan secara material dan dukungan moral serta kritik-kritik yang membangun; dan
- (13) Orang tua, Guru dan kakak-kakak yang telah memberikan dorongan semangat dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan tesis ini.
- (14) Teman-teman Fisika Medik 2010 (Pak Harjono, Satrial Male, Dwi Bondan, Asriyanto, Edhy Kuntowibowo, Syaifulloh, Yaya Umayu, Lenny K. dan teman-teman lainnya).

Semoga Allah memberikan pahala dan kebaikan yang berlipat ganda kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini. Penulis berharap penelitian ini bermanfaat bagi masyarakat dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Jakarta, 30 Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Iin Indartati
NPM : 1006803480
Program Studi : Magister Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

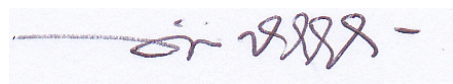
Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Penentuan Biodistribusi dan Dosis Internal Berbagai Organ Pada Pemeriksaan Renografi $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 30 Juni 2012
Yang menyatakan



(Iin Indartati)

ABSTRAK

Nama : Iin Indartati
Program Studi : Fisika
Kekhususan : Fisika Medis
Judul Tesis : Penentuan Biodistribusi dan Dosis Internal Berbagai Organ Pada Pemeriksaan Renografi $^{99}\text{Tc}^m\text{DTPA}$

Telah dilakukan penelitian uji biodistribusi dan dosis internal berbagai organ pada pemeriksaan renografi yang bertujuan untuk mengetahui alir $^{99}\text{Tc}^m\text{DTPA}$ dalam metabolisme dan prediksi dosis internal dan eksternal yang diterima pasien renografi. Penelitian dilakukan dengan melakukan pemindaian berulang dengan pencitraan planar AP dan PA pada lapangan toraks abdomen, cranial dan pelvis dalam suatu interval waktu hingga 120 menit setelah penyuntikan terhadap pasien laki-laki sehat. Biodistribusi $^{99}\text{Tc}^m\text{DTPA}$ menunjukkan persentase yang tinggi pada jantung, liver, paru-paru dan ginjal pada rentang 0-10 menit, sedangkan pada rentang waktu 40-50 menit, 80-90 menit dan 120-130 menit persentase tertinggi terjadi pada kandung kemih. Penghitungan dosis internal terhadap 13 orang pasien normal (tanpa indikasi sakit ginjal) dan 17 orang sakit ginjal, diperoleh bahwa pada pasien normal berada pada rentang 0,09-0,17 rad/mCi lebih rendah dibandingkan pasien sakit ginjal berada pada rentang 0,20-0,60 rad/mCi, sebaliknya terjadi pada dosis internal pasien normal 0,03-0,15 rad/mCi lebih tinggi dibandingkan dosis internal kandung kemih pasien sakit ginjal (0,01-0,08 rad/mCi). Untuk pengukuran dosis eksternal dengan menggunakan TLD pada 1 jam dan 2 jam setelah proses pemeriksaan renografi diperoleh dosis permukaan yang tinggi pada 1 jam setelah pemeriksaan dan menurun sebanyak 50 % pada dosis permukaan setelah 2 jam proses pemeriksaan renografi.

Kata kunci:
 $^{99}\text{Tc}^m\text{DTPA}$, renografi, biodistribusi

ABSTRACT

Name : Iin Indartati
Study Program : Physics
Major : Medical Physics
Title : Estimation of Biodistribution and Internal Dose in Renogram Examination using $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA for Various Organs

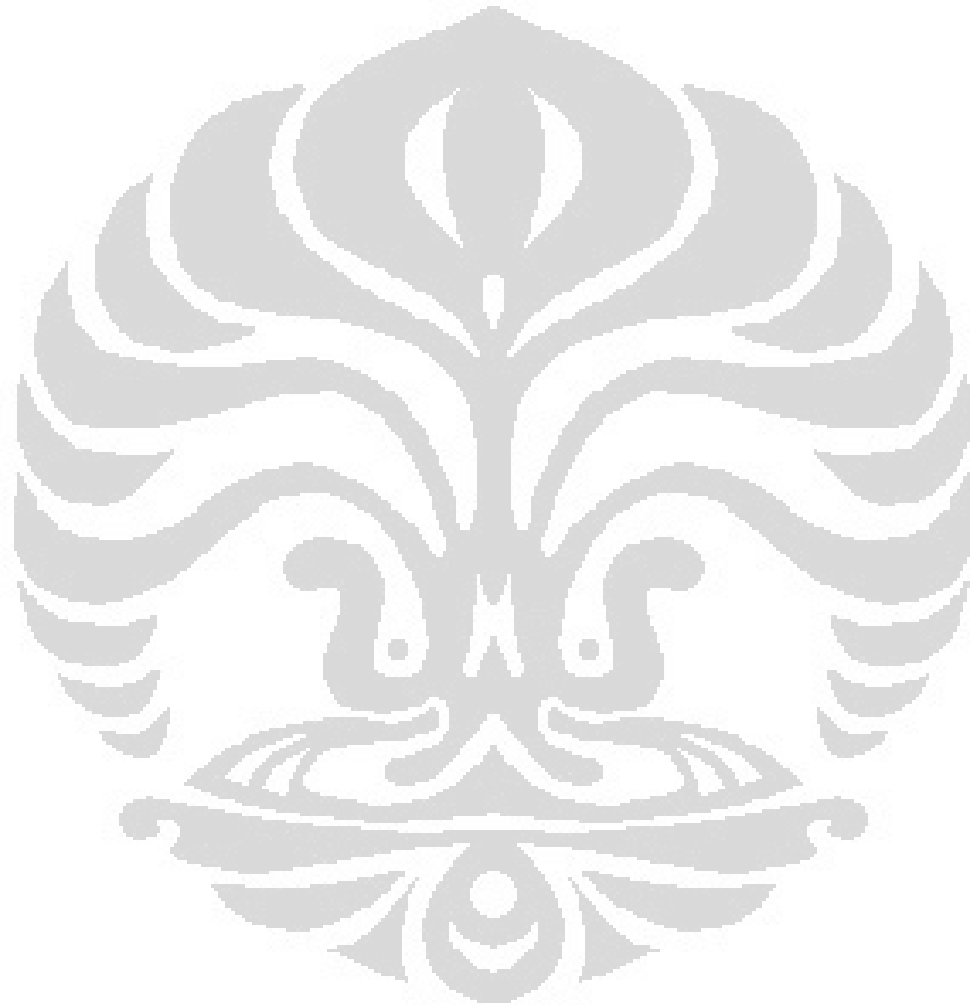
The study of biodistribution and dosimetry testing for Tc-99m DTPA has been done to assess its flow in metabolism and predict internal and external patients dose. Renography patients scanned with AP and PA planar imaging on thorax abdomen, cranial and pelvic field for several interval times up to 120 minutes after Tc-99m DTPA injected. Biodistribution shows the highest activity percentage in the heart, liver, lung and kidney at period 0 – 10 minutes, whereas in bladder at period 40-50 minutes, 80-90 minutes and 120-130 minutes. Calculation of internal dose of 13 normal patients (with no indication of kidney disease) and 17 kidney disease, found that in normal patients are in the range 0.09 to 0.17 rad / mCi lower than kidney disease patients are in the range 0.20 -0.60 rad / mCi, the opposite occurs in normal patients internal dose from 0.03 to 0.15 rad / mCi dose is higher than the internal dose in bladder at kidney disease patients (0.01 to 0.08 rad / mCi). For external dose measurements using TLD at 1 hours and 2 hours after renography examination obtained high surface dose at 1 hour after the examination and decreased by 50% in the surface dose after 2 hours of the renography examination.

Keywords:
Internal dose, renography, MIRD, $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ -DTPA,

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	v
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Penelitian	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Renografi	4
2.2. Radiofarmaka	5
2.2.1. Technitium-99m ($^{99}\text{Tc}^m$)	5
2.2.2. $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA	7
2.3. Biodistribusi	7
2.4. Kamera Gamma	8
2.5. Dosis Radiasi Internal	9
2.6. Metode MIRD	13
3. METODE PENELITIAN	
3.1. Peralatan, Bahan dan Penentuan Sampel	17
3.2. Metode	18
3.2.1. Penentuan Faktor Konversi Cacah – Aktivitas Organ	18
3.2.2. Biodistribusi Radiofarmaka ($^{99}\text{Tc}^m$ DTPA)	19
3.2.3. Waktu Tinggal Sumber dalam Ginjal dan Kandung Kemih	19
3.2.4. Dosis Permukaan setelah Prosedur Pemeriksaan	20
	21
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Penelitian	22
4.1.1. Penentuan Faktor Konversi Cacah – Aktivitas Organ	22
4.1.2. Biodistribusi Sumber dalam Organ	23
4.1.3. Aktivitas Kumulatif, Waktu Retensi dan Dosis Internal Organ.....	25
4.1.3.1. Pasien Normal	25
4.1.3.2. Pasien Sakit Ginjal	30
4.1.4. Dosis Permukaan Setelah Pemeriksaan Renografi	34
4.1.4.1. Dosis Permukaan Setelah 1 jam Pemeriksaan Renografi ...	34

4.1.4.2. Dosis Permukaan Setelah 2 jam Pemeriksaan Renografi ...	36
4.2. Pembahasan	38
5. KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	43
5.2. Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45



DAFTAR GAMBAR

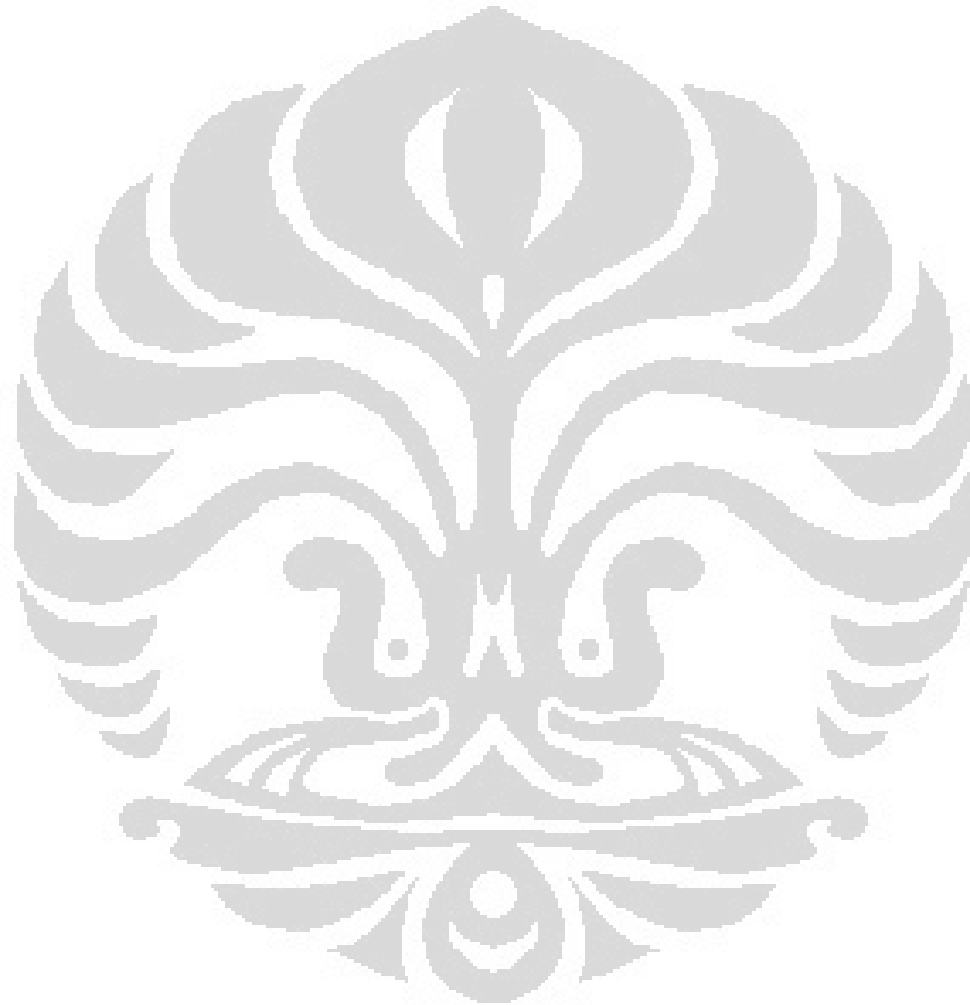
Gambar 2.1	Skema Kamera Gamma	9
Gambar 2.2	Hubungan fisis yang mungkin antara organ sumber dan organ target...	10
Gambar 2.3	Kurva Aktivitas Kumulatif	15
Gambar 3.1	Skema Fantom Acrylic Sumber Radioaktif dan Kamera Gamma dalam Penentuan Faktor Konversi	19
Gambar 3.2	Ilustrasi Scan Pasien Biodistribusi $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA	20
Gambar 3.3	Titik Pengukuran TLD	21
Gambar 3.4	Persentase Relatif $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA	24
Gambar 3.5	Titik Pengukuran TLD	21
Gambar 4.1	Persentase Relatif $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA dalam Berbagai Organ	21
Gambar 4.2	Citra Dinamik $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA	25
Gambar 4.3	Distribusi Aktivitas Kumulatif Ginjal Kiri Pasien Normal	25
Gambar 4.4	Distribusi Aktivitas Kumulatif Ginjal Kanan Pasien Normal	26
Gambar 4.5	Distribusi Aktivitas Kumulatif Kandung Kemih Pasien Normal	26
Gambar 4.6	Distribusi Waktu Retensi $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA Ginjal Kiri Pasien Normal	27
Gambar 4.7	Distribusi Waktu Retensi $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA Ginjal Kanan Pasien Normal ..	27
Gambar 4.8	Distribusi Waktu Retensi $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA Kandung Kemih Pasien Normal	28
Gambar 4.9	Distribusi Dosis Internal Ginjal Pasien Sehat	28
Gambar 4.10	Distribusi Dosis Internal Kandung Kemih Pasien Sehat	29
Gambar 4.11	Distribusi Aktivitas Kumulatif Ginjal Kiri Pasien Sakit	30
Gambar 4.12	Distribusi Aktivitas Kumulatif Ginjal Kanan Pasien Sakit.....	30
Gambar 4.13	Distribusi Aktivitas Kumulatif Kandung Kemih Pasien Sakit	31
Gambar 4.14	Distribusi Waktu Retensi $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA Ginjal Kiri Pasien Sakit	31
Gambar 4.15	Distribusi Waktu Retensi $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA Ginjal Kanan Pasien Sakit.....	32
Gambar 4.16	Distribusi Waktu Retensi $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA Kandung Kemih Pasien Sakit..	32
Gambar 4.17	Distribusi Dosis Internal Ginjal Pasien Sehat.....	33
Gambar 4.18	Distribusi Aktivitas Kumulatif Kandung Kemih Pasien Sakit	33
Gambar 4.19	Distribusi Dosis Permukaan Ginjal Kiri setelah 1 Jam Pengukuran.....	34
Gambar 4.20	Distribusi Dosis Permukaan Ginjal Kanan setelah 1 Jam Pengukuran..	35
Gambar 4.21	Distribusi Dosis Permukaan Kandung Kemih setelah 1 Jam Pengukuran	35
Gambar 4.22	Distribusi Dosis Permukaan Ginjal Kiri setelah 2 Jam Pengukuran.....	36
Gambar 4.23	Distribusi Dosis Permukaan Ginjal Kanan setelah 2 Jam Pengukuran..	37
Gambar 4.24	Distribusi Dosis Permukaan Kandung Kemih setelah 2 Jam Pengukuran.....	37
Gambar 4.25	Persentase $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA Berbagai Organ	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Persen Aktivitas $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ Berdasarkan Waktu Elusi	6
Tabel 3.1	Distribusi Kasus Sampel	18
Tabel 4.1	Kedalaman AP dan PA Berbagai Organ	22
Tabel 4.2	Faktor Konversi Laju Cacah – Aktivitas Sumber	23
Tabel 4.3	Persentase Aktivitas $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ DTPA Organ	23
Tabel 4.4	Aktivitas Kumulatif, Waktu Retensi dan Dosis Internal Pasien Sehat	24
Tabel 4.5	Nilai Persentase Relatif Berbagai Organ terhadap Organ Jantung.....	29
Tabel 4.6	Aktivitas Kumulatif, Waktu Retensi dan Dosis Internal Pasien Sakit Ginjal	34
Tabel 4.7	Distribusi Dosis Permukaan setelah 1 Jam Pemeriksaan	36
Tabel 4.8	Distribusi Dosis Permukaan setelah 2 Jam Pemeriksaan	38
Tabel 4.9	Perbandingan Waktu Retensi Hasil Penelitian dengan ICRP-53 (1987).....	40
Tabel 4.10	Perbandingan Dosis Internal Hasil Penelitian dengan MIRD-12, ICRP-53 dan Penelitian Bangladeshi.....	41
Tabel 4.11	Perbandingan Dosis Permukaan dengan BSS, BAPETEN	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil Observasi CT Scan.....	48
Lampiran 2	Hasil Perhitungan Faktor Konversi Laju Cacah Menjadi Aktivitas	55
Lampiran 3	Data dan Perhitungan Biodistribusi.....	64
Lampiran 4	Data dan Hasil Perhitungan Dosis Internal	78
Lampiran 5	Data dan Hasil Perhitungan Dosis Permukaan.....	85



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Untuk memastikan keselamatan penggunaan radiofarmaka di kedokteran nuklir, sangat perlu untuk mengevaluasi biodistribusi dosis radiofarmaka yang masuk dalam tubuh. Dosis radiasi ini berasal dari radionuklida yang berada di dalam tubuh, karenanya disebut dosis internal. Berbeda dengan dosis yang diterima dari sumber radiasi yang berada di luar tubuh, seperti sinar X, dosis internal tidak dapat diukur secara langsung, karena dosis internal dihitung dari asumsi-asumsi dan prosedur standar. Metode yang umum digunakan untuk menghitung dosis internal adalah metode yang dikembangkan oleh komite masyarakat kedokteran nuklir yaitu *Medical Internal Radiation Dosimetry (MIRD)*.

Pemeriksaan renografi adalah pemeriksaan yang bertujuan untuk melihat fungsi ginjal. Fungsi ginjal diperlihatkan dalam bentuk kurva *renografi* yang disebut renogram. Dalam pemeriksaan renografi, radioisotop yang digunakan adalah Technitium-99m ($^{99}\text{Tc}^m$) dengan senyawa kimia pembawanya adalah DTPA (*Diethylene Triamine Penta Acetic Acid*). Ligan tersebut akan membawa $^{99}\text{Tc}^m$ mengikuti metabolisme dalam tubuh menuju organ ginjal. Meskipun demikian ada kemungkinan radionuklida tersebut ditangkap oleh organ selain ginjal, sehingga radionuklida tidak seluruhnya berada dalam ginjal. Untuk itu perlu diketahui berapa dosis radionuklida yang terdapat di dalam ginjal dan dosis radionuklida yang berada di luar organ ginjal.

Radiofarmaka $^{99}\text{Tc}^m$ -DTPA cepat terdistribusi melewati ruang cairan ekstra sel yang dikeluarkan dari tubuh melalui filtrasi glomerulus, sehingga $^{99}\text{Tc}^m$ -DTPA sangat tepat digunakan untuk melihat *GFR (Glomerulus Filtration Rate)*. Tangkapan minimum dari radiofarmaka $^{99}\text{Tc}^m$ -DTPA adalah *parenkim* ginjal. $^{99}\text{Tc}^m$ -DTPA cenderung mengumpul di *intra cranial lesi, neovascularity*, sehingga $^{99}\text{Tc}^m$ -DTPA selain digunakan untuk pemeriksaan renografi juga digunakan untuk pencitraan otak [1] dan scintigrafi paru-paru. Teori tersebut didukung oleh hasil penelitian sebelumnya yang menggunakan radiofarmaka $^{99}\text{Tc}^m$ -DTPA pada pemeriksaan

renografi, didapatkan fraksi $^{99}\text{Tc}^m$ di dalam ginjal hanya 35% dan 65%, hal ini dimungkinkan dengan dugaan fraksi lainnya sebagian besar berada di organ otak dan organ lainnya [3].

1.2. Rumusan Masalah

Prinsip yang mendasar dalam kedokteran nuklir adalah menggunakan radiofarmaka yang dimasukkan ke dalam tubuh sebagai tracer (perunut) dan menjadikan organ yang akan diperiksa sebagai sumber radiasi, sehingga organ tersebut akan memancarkan radiasi yang akan dideteksi oleh kamera gamma, dengan demikian perlu diketahui biodistribusi radiofarmaka dalam tubuh dan akumulasi dosis internal dari organ-organ tersebut.

1.3. Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada pembahasan mengenai biodistribusi radiofarmaka $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA pada organ jantung, liver, paru - paru, otak, ginjal dan kandung kemih, dosis internal yang diterima oleh organ ginjal dan kandung kemih dan dosis permukaan setelah 1 jam dan 2 jam pemeriksaan renografi.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- Penentuan biodistribusi $^{99}\text{Tc}^m$ – DTPA dalam berbagai organ;
- Penentuan dosis internal berbagai organ pada pemeriksaan renografi;
- Pengukuran dosis permukaan setelah 1 jam dan 2 jam proses pemeriksaan renografi.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk bagian radiologi kedokteran nuklir sebagai masukan mengenai dosis yang diterima organ dalam pemeriksaan renografi sehingga dapat dijadikan sebagai dasar pengambilan keputusan atas pengulangan pemeriksaan renografi apabila diperlukan pemeriksaan ulang. Dengan diketahuinya waktu tinggal $^{99}\text{Tc}^m$ dalam ginjal dan kandung kemih pada pemeriksaan renografi maka akan dapat diketahui sejauh mana radiofarmaka $^{99}\text{Tc}^m$ dibersihkan dari dalam tubuh, hal ini bermanfaat untuk penanganan pasien setelah melakukan pemeriksaan tersebut. Dua hal tersebut dilakukan untuk melakukan optimisasi proteksi radiasi terhadap pasien.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Renografi

Salah satu pemanfaatan radioaktif dalam kedokteran nuklir adalah pemeriksaan renografi. Ginjal merupakan salah satu organ penting dalam tubuh. Selain sebagai tempat terbentuknya urin, ginjal memiliki banyak fungsi, diantaranya sebagai tempat pengaturan keseimbangan volume dan komposisi cairan tubuh, pengaturan keseimbangan volume dan komposisi cairan tubuh, pengaturan keseimbangan asam dan basa, serta berfungsi sebagai pengaturan tekanan darah. Kegagalan ginjal menjalankan fungsinya merupakan penyebab kegagalan ginjal.

Renografi merupakan pemeriksaan untuk menilai fungsi ginjal, baik secara global maupun masing-masing ginjal dengan cara memasukkan radiofarmaka ke dalam pembuluh darah menggunakan teknik nuklir. Pemeriksaan ginjal dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai macam zat radioaktif antara lain $^{99}\text{Tc}^m$, I^{131} dan I^{123} . $^{99}\text{Tc}^m$ lebih populer karena tidak menyebabkan perubahan struktur anatomi organ di dalam tubuh, memancarkan sinar gamma dan memiliki waktu paruh yang relatif pendek, yaitu 6 jam.

Dalam pemeriksaan renografi yang diamati adalah GFR (*Glomerulus Filtration Rate*) secara dinamik ginjal secara *real time*, hal ini disebabkan karena pada pencitraan yang dinilai adalah penangkapan radioaktivitas oleh kedua ginjal untuk melihat kemampuan ginjal mengekstraksi radiofarmaka. Penilaian kurva sebagai berikut : Kurva normal memperlihatkan adanya 3 fase klasik :

- a. Fase Pertama Initial : terjadi peningkatan secara cepat setelah penyuntikan radiofarmaka yang menunjukkan kecepatan injeksi dan aliran darah vaskuler ke dalam ginjal. Dari fase ini dapat pula dilihat dari teknik penyuntikan radiofarmaka, apakah *bolus* (penyuntikan terjadi secara lancar, tidak ada yang tersendat ataupun menyumbat);
- b. Fase Kedua Sekresi : menunjukkan kenaikan yang lebih lambat dan meningkat secara bertahap. Fase ini berkaitan dengan proses penangkapan radiofarmaka oleh dan di dalam ginjal melalui proses difusi lewat sel-sel

tubuli ke dalam tubulus. Dalam keadaan normal fase ini mencapai puncak dalam waktu 2 – 5 menit;

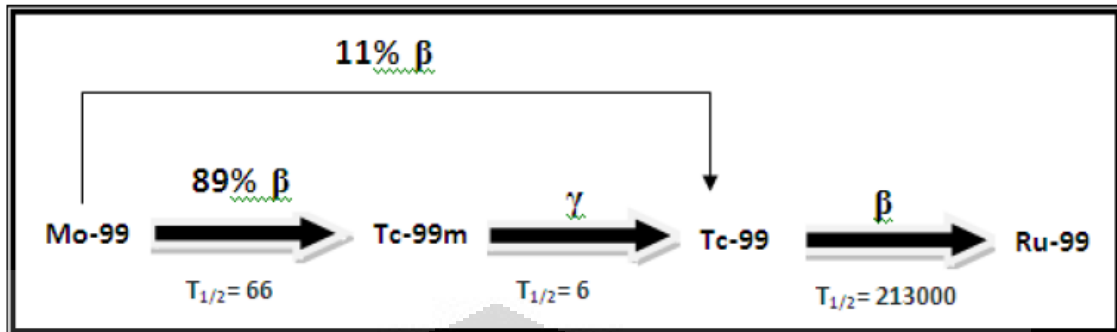
- c. Fase Ketiga Ekskresi : tampak kurva menurun dengan cepat setelah mencapai puncak kurva yang menunjukkan keseimbangan antara radioaktivitas yang masuk dan yang meninggalkan ginjal. Bila ginjal sudah tidak berfungsi penangkapan radioaktivitas akan minim atau tidak sama sekali dan kurva akan berjalan datar / tidak beraturan, hanya menggambarkan aktivitas latar belakang saja.

2.2. Radiofarmaka

Radiofarmaka merupakan sediaan farmasi dalam bentuk senyawa kimia yang mengandung radioisotop yang diberikan pada kegiatan kedokteran nuklir. Sediaan radiofarmaka pada umumnya terdiri dari 2 komponen, yaitu radioisotop dan bahan pembawa menuju ke organ target. Pancaran radioisotop pada organ target itulah yang akan dicacah oleh detektor (kamera gamma). Radiofarmaka yang digunakan dalam kedokteran nuklir harus mudah diproduksi, tidak mahal, tersedia untuk semua pengguna fasilitas kedokteran nuklir, mempunyai waktu paruh biologi pendek dan tidak toksik [37]. Waktu paruh sangat pendek berguna untuk pemeriksaan yang memerlukan aktivitas yang cukup tinggi.

2.2.1. Technitium-99m ($^{99}\text{Tc}^m$)

Technitium-99m ($^{99}\text{Tc}^m$) akan terbentuk di dalam generator sebagai akibat peluruhan ^{99}Mo sebagai radionuklida induk dengan memancarkan sinar beta, sedangkan $^{99}\text{Tc}^m$ selanjutnya meluruh menjadi ^{99}Tc dengan memancarkan sinar gamma dengan waktu paruh $^{99}\text{Tc}^m$ adalah 6 jam. ^{99}Tc merupakan radioisotop yang memiliki waktu paruh yang sangat panjang ($2,13 \times 10^5$ tahun) akan meluruh dengan memancarkan sinar beta menjadi ^{99}Ru yang stabil. Lebih jelasnya reaksi peluruhan dapat dilihat sebagai berikut :



Jumlah aktivitas $^{99}\text{Tc}^m$ yang dihasilkan dari generator ^{99}Mo tergantung pada selang waktu dari elusi terakhir. Kira-kira 44% dari maksimum $^{99}\text{Tc}^m$ yang didapat setelah 6 jam dari elusi terakhir dan 87% setelah 24 jam dari elusi terakhir. Untuk $^{99}\text{Tc}^m$ setelah dielusi (berada di luar generator) akan meluruh sesuai dengan konstanta peluruhannya dengan waktu paruh 6 jam. Tabel 2.1 memperlihatkan waktu elusi yang baik untuk $^{99}\text{Tc}^m$ [35].

Tabel 2.1. Persen Aktivitas $^{99}\text{Tc}^m$ Berdasarkan Waktu Elusi [35]

Waktu Elusi (jam)	Aktivitas $^{99}\text{Tc}^m$ (% dari aktivitas ^{99}Mo)
1	9,8
2	18
3	26
4	32
5	39
6	44
7	49
8	54
9	58
10	61
11	65
12	68
18	80
24	87

2.2.2. $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA

Radiofarmaka yang digunakan dalam pemeriksaan renografi adalah $^{99}\text{Tc}^m$ dengan senyawa kimia pembawa DTPA. $^{99}\text{Tc}^m$ – DTPA secara umum digunakan dalam mempelajari aliran ginjal (*renal flow*), pengukuran *glomerular filtration rate (GFR)*, kelainan paru-paru (fase aerosol) dan kelainan pada otak (*cerebral shunt patency* dan *cerebrospinal fluid*) [36]. Pada pengukuran GFR, $^{99}\text{Tc}^m$ – DTPA sebaiknya digunakan maksimal 1 jam setelah persiapan, karena dapat menyebabkan penggumpalan darah, sehingga hasil GFR tidak akurat [36].

Beberapa saat setelah pemberian $^{99}\text{Tc}^m$ – DTPA secara intravena, kemudian masuk ke dalam sistem ginjal diserap oleh filtrasi glomerulus dan jangka waktu normal mengalir melalui ginjal adalah 5 menit, kecepatan *clearance* ginjal pada orang dewasa adalah 155 ml / menit pada laki-laki dan 109 ml / menit pada wanita. Waktu paruh biologis $^{99}\text{Tc}^m$ – DTPA dalam organisme adalah 100 menit (99%) dan 7 hari (1%) [37].

2.3. Biodistribusi

Radiofarmaka yang masuk ke dalam tubuh akan mengikuti metabolisme. Biodistribusi mendeskripsikan aliran radiofarmaka dalam tubuh, termasuk di dalamnya waktu retensi dan laju klirens. Setelah masuk ke dalam tubuh, radiofarmaka akan mengalami klirens atau eliminasi ke luar tubuh, sehingga konsentrasinya dalam tubuh akan berkurang akibat metabolisme (berhubungan dengan waktu paruh biologis) dan peluruhan radioisotop tersebut (berhubungan dengan waktu paruh fisika). Biodistribusi dipengaruhi oleh ikatan dari senyawa obat dengan organ atau kelenjar dalam tubuh, serta laju absorpsi dan eliminasi organ / sistem organ.

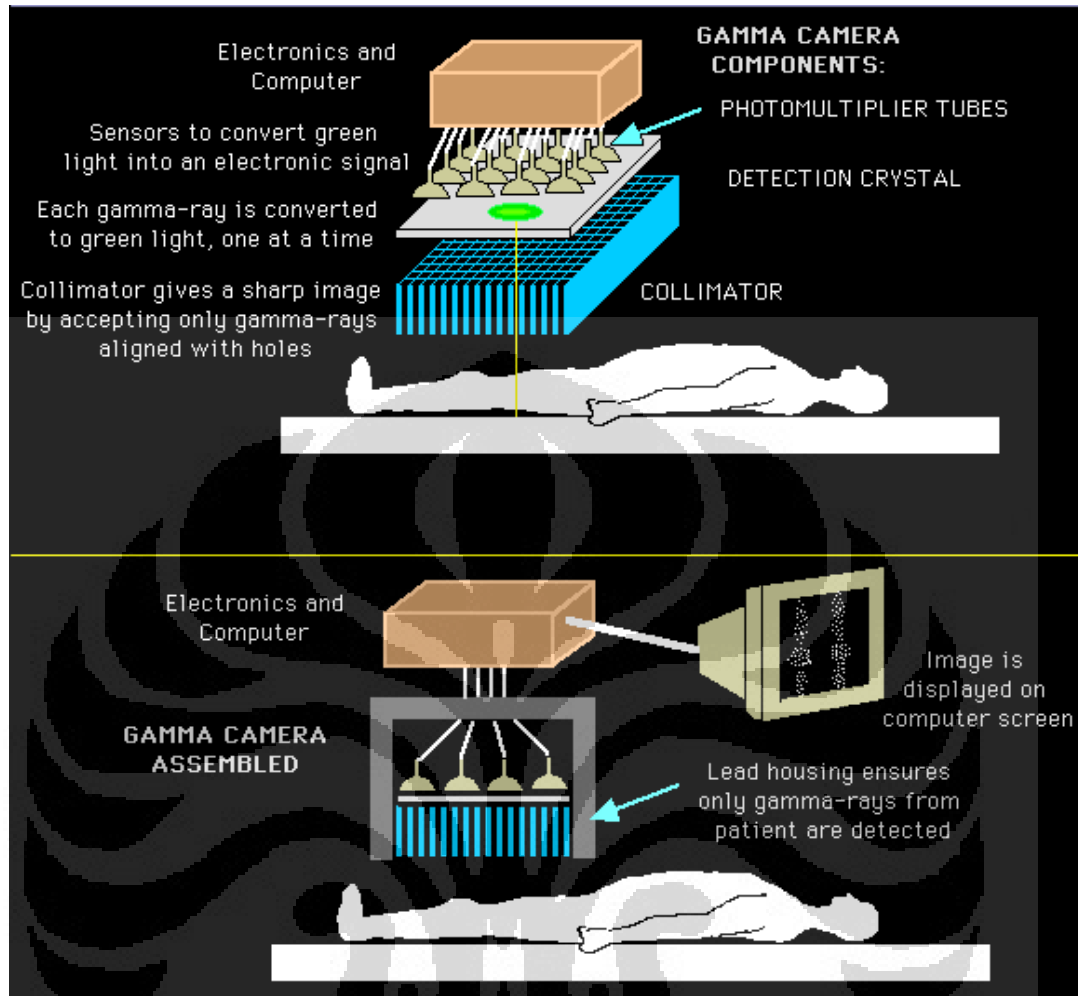
Untuk memodelkan organ tubuh yang melakukan absorpsi dan eliminasi digunakan model kompartemen. Kompartemen adalah organ atau sistem organ dengan aliran darah dan afinitas obat yang sama. Dengan menggunakan model matematis dari biodistribusi dua kompartemen, yaitu kompartemen absorpsi dan eliminasi sebagai berikut:

$$C = Ae^{-\lambda t} + Be^{-\lambda t}$$

Dengan A , B , dan C berturut-turut adalah konsentrasi absorpsi, eliminasi, dan mula-mula; λ dan t berturut-turut adalah konstanta dan waktu peluruhan, dimana λ meliputi konstanta peluruhan fisika dan biologi.

2.4. Kamera Gamma

Kamera gamma (Anger Camera) merupakan peralatan untuk mencitrakan distribusi radionuklida baik secara statik maupun dinamik pada pemeriksaan in vivo kedokteran nuklir sehingga dapat diketahui jumlah radionuklida yang mengendap di dalam suatu organ (Muehlllehner, 1988, Simsons, 1992). Kamera gamma memiliki 3 (tiga) komponen utama, yaitu : kristal *scintilasi* yang mengubah energi foton gamma menjadi cahaya tampak, tabung *Photo Multiplier Tube* (PMT) yang mengubah cahaya menjadi pulsa elektronik dan unit *processing* yang memilih dan menganalisis pulsa untuk diolah [38]. Dalam Gambar 2.1. memperlihatkan skema kamera gamma dan peralatannya, sehingga didapatkan suatu citra pada kedokteran nuklir. Kolimator pada kamera gamma berfungsi untuk mengarahkan radiasi sinar gamma yang masuk ke dalam kristal *scintilasi* (NaI(Tl)). Sinar yang dipancarkan di dalam kristal berjalan ke semua arah dan di deteksi oleh *array* dan kemudian diubah ke dalam bentuk signal elektronik. Sistem penjumlahan menggabungkan sinyal ke dalam posisi sinyal x dan y dengan mencari *centroid* distribusi cahaya. Sinyal-sinyal ini harus dinormalisasi di sirkuit rasio yang membagi mereka dengan sinyal energi. Sinyal yang diproses lebih lanjut hanya sinyal yang masuk ke dalam rentang energi sesuai dengan energi sinar gamma dari radionuklida yang dipilih. Akhirnya informasi posisi x dan y diproses dan digunakan untuk membentuk gambar (kejadian per kejadian) dari distribusi radionuklida baik pada tampilan analog sebagai CRT atau dalam memori digital [27].



Gambar 2.1. Skema Kamera Gamma [23]

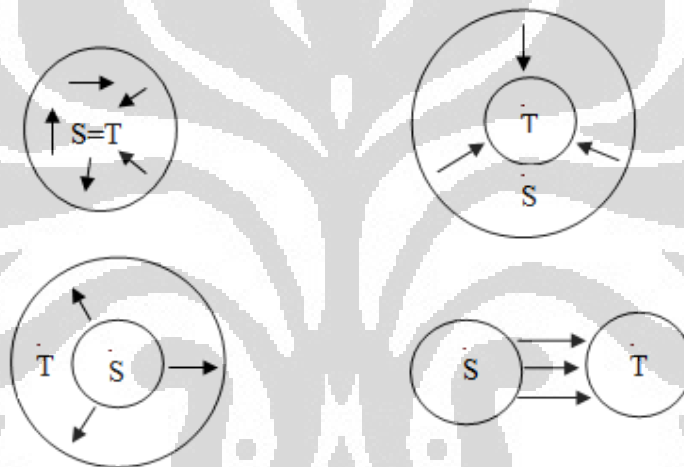
Telah diolah kembali dari <http://www.nuclearonline.org/PI/BRACCO%20MDP%20doc.pdf>

2.5. Dosis Radiasi Internal

Dosis radiasi internal tidak dapat diukur, tetapi harus dikalkulasi berdasarkan pada pengukuran atau estimasi *intake* atau estimasi kuantitas aktivitas sumber di dalam organ atau jumlah yang dieliminasi dari tubuh [26]. Perhitungan dosis radiasi internal dimulai dengan definisi **dosis serap, yaitu energi (joule atau erg) yang terdeposit per unit massa**. Dalam perhitungan terdapat beberapa asumsi, pertama diasumsikan bahwa deposit radionuklida (diekspresikan sebagai aktivitas dalam μCi atau Bq) terdistribusi seragam melalui massa jaringan dari organ sumber. Kedua, radionuklida memancarkan energi ketika di dalam organ sumber S yang diserap oleh organ target T yang disebut dengan fraksi yang terserap AF ($T \leftarrow S$). Organ sumber

juga dapat sebagai organ target, jika yang terdeposit adalah radionuklida yang memancarkan sinar murni alfa dan beta, radiasi hanya diserap oleh organ target dan semua energi terdeposit di dalam organ target itu sendiri $AF(T \leftarrow S) = 1,0$. Untuk sinar X dan sinar gamma, $AF(T \leftarrow S)$ umumnya akan lebih kecil dari 1 dan akan bervariasi tergantung pada energi foton dan massa dari organ sumber dan organ target [26].

Fraksi-fraksi yang terserap ini dapat dihitung dengan metode *Monte Carlo* pada interaksi-interaksi dan kemungkinan foton atau elektron setelah partikel-partikel tersebut dipancarkan dari radionuklida yang diendapkan.



Gambar 2. Hubungan Fisis yang mungkin antara Organ Sumber (S) dan Organ Target (T)
Sumber : (Introduction to Health Physics, Herman Chember)

Dalam penyelesaian dengan metode *Monte Carlo*, foton-foton yang tersimulasi secara tersendiri 'diikuti' dalam suatu komputer dari interaksi yang satu ke interaksi berikutnya. Karena radionuklida diasumsikan bersifat tersebar secara merata diseluruh volume tertentu, dan karena transformasi radioaktif merupakan suatu proses random (acak) yang terjadi pada suatu angka menengah yang merupakan karakteristik bagi suatu isotop tertentu, maka kita dapat memulai proses tersebut dengan melakukan suatu transformasi radioaktif secara acak (dalam ruang, waktu dengan kendala yang berupa batas volume, dan konstanta laju transformasi yang diketahui dari radionuklida). Untuk suatu transformasi sembarang, dapat diketahui besarnya energi radiasi yang dipancarkan, titik awalnya, serta arah awalnya. Karena

jumlah energi awal dari partikel-partikel ini diketahui, maka energi pancaran yang diserap oleh jaringan 'target' dapat dihitung [6] :

$$\text{Fraksi yang terserap} = \varphi = \frac{\text{energi yang diserap oleh Target}}{\text{energi yang dipancarkan oleh Sumber}}$$

Karena lintasan bebas rata-rata dari foton biasanya cukup besar relatif terhadap dimensi organ dimana isotop pemancar foton tersebar, maka fraksi foton yang terserap selalu kurang dari 1 (satu). Untuk radiasi yang bersifat tidak menembus, fraksi yang terserap biasanya satu atau nol, yang tergantung pada apakah organ sumber dan organ target merupakan organ yang sama atau berbeda.

Dalam perhitungan dosis internal, angka pancaran energi oleh radionuklida dalam sumber tersebut dalam sembarang waktu yang dibawa oleh partikel ke-i dinyatakan dengan [6]:

$$\begin{aligned} X_{ei} &= A_s \text{ Bq} \times 1 \text{ tps} / \text{Bq} \times E_i \text{ MeV} / \text{part} \times n_i \text{ part} / t \times 1.6 \times 10^{-13} \text{ J} / \text{MeV} \\ X_{ei} &= 1.6 \times 10^{-13} A_s \times E_i \times n_i \text{ J} / \text{sec} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Dengan X_{ei} adalah angka pancaran energi dalam satuan J/det, A_s merupakan aktivitas dalam sumber dalam satuan Bq, E_i adalah energi partikel ke-I dalam satuan MeV, sedangkan n_i adalah jumlah partikel jenis ke-i per peluruhan.

Jika fraksi energi yang dipancarkan yang terserap oleh target tersebut disebut φ_i , maka jumlah energi yang terserap oleh target karena adanya emisi dari sumber tersebut dinyatakan dengan [6]:

$$X_{ei} = X_{ei} \times \varphi_i = 1.6 \times 10^{-13} \times A_s \times E_i \times n_i \times \varphi_i \text{ J} / \text{det} \quad (2.3)$$

Karena 1 Gray bersesuaian dengan penyerapan 1 Joule per kg, maka angka dosis dari partikel ke-i terhadap target yang beratnya m kilogram dinyatakan dengan:

$$\dot{D}_i = \frac{1.6 \times 10^{-13} \times A_s \times E_i \times n_i \times \varphi_i \text{ J} / \text{det}}{1 \frac{\text{J}}{\text{kg}} / \text{Gy} \times m \text{ kg}} \quad (2.4)$$

Jika kita menganggap

$$\Delta_i = 1.6 \times 10^{-13} \times n_i \times E_i \frac{\text{kg Gy}}{\text{Bq det}} \quad (2.5)$$

Kemudian persamaan dapat ditulis sebagai berikut

$$\dot{D}_i = \frac{A_s}{m} \times \varphi_i \times \Delta_i \text{ Gy / det} \quad (2.6)$$

Δ_i merupakan angka dosis dalam suatu massa jaringan homogen yang tak berhingga besarnya yang memuat suatu radioisotop yang tersebar secara merata dengan konsentrasi 1 Bq/kg. Nilai-nilai numeris bagi Δ_i untuk masing-masing radiasi yang ditimbulkan oleh radioisotop dalam suatu massa jaringan yang tak berhingga besarnya dimasukkan dalam bagian data masukan pada skema peluruhan serta parameter-parameter nuklir untuk dipergunakan dalam penafsiran dosis radiasi yang telah dipublikasikan oleh Komite Dosis Radiasi Internal Medis (MIRD) dari Lembaga Kedokteran Nuklir. Dengan mempertimbangkan semua tipe partikel yang dipancarkan dari sumber tersebut, maka angka dosis bagi organ target tersebut adalah [6]:

$$\dot{D} = \frac{A_s}{m} \sum \varphi_i \Delta_i \quad (2.7)$$

Karena φ merupakan suatu fungsi dari A_s yang mana A_s merupakan suatu fungsi waktu, maka φ juga merupakan suatu fungsi waktu. Dosis total yang disebabkan oleh peluruhan lengkap dari radioisotop yang terendap, didapat dengan mengintegrasikan angka dosis terhadap waktu [6]:

$$D = \int_0^{\infty} \dot{D}(t) dt = \frac{\sum \varphi_i \Delta_i}{m} \int_0^{\infty} A_s(t) dt \quad (2.8)$$

Jika kita menyebut integral waktu dari radioaktivitas yang diendapkan sebagai aktivitas kumulatif \tilde{A} ,

$$\tilde{A} = \int_0^{\infty} A_s(t) dt \quad (2.9)$$

maka dosis total bagi organ target dapat dinyatakan dengan [6]

$$D = \frac{\tilde{A}}{m} \sum \varphi_i \Delta_i \quad (2.10)$$

Tiga faktor dalam menentukan dosis radiasi internal adalah aktivitas radioisotop yang digunakan, energi dan massa dari organ dimana radioisotop tersebut mengendap [1,2,3,13].

2.6. Metode MIRD

Radionuklida buatan mulai tersedia untuk kedokteran pada akhir tahun 1930 dan 1940, dan metode perhitungan dosis serap jaringan juga mulai dikembangkan pada tahun-tahun tersebut. Pada tahun 1948, Marinelli dkk, mempublikasikan tiga artikel tentang dosimetri radionuklida, makalah ini merupakan tanda dimulainya dosimetri radiasi modern dalam kedokteran nuklir. Akhir tahun 1948 ada beberapa kontribusi pada dosimetri radionuklida, dengan ringkasan penting oleh beberapa nama penting dalam fisika medis diantaranya L.H. Gray and W.V. Mayneord di United Kingdom dan R.D. Evans, G. Failla, L.D. Marinelli dan E.H. Quimby di United State, semua kontribusi mengikuti pendekatan dasar Marinelli dkk. Pada tahun 1964 dan 1965 pendekatan marinelli berkontribusi dalam dua artikel yang dibuat oleh Ellet dkk, mereka mendefinisikan fraksi serapan sebagai fraksi energi yang dipancarkan oleh sumber sinar gamma yang diserap dalam volume atau jaringan tertentu. Mereka melakukan perhitungan Monte Carlo untuk sumber foton berbagai energi dan untuk volume organ target berbagai ukuran dan bentuk. Ini merupakan aplikasi pertama metode Monte Carlo dalam perhitungan dosimetri radionuklida. Konsep fraksi serapan yang dikerjakan oleh Ellet dkk menyederhanakan persamaan dosimetri. Distimulasi oleh Ellet dkk, Loevinger dan Berman mengakui bahwa persamaan untuk dosimetri internal dapat dirumuskan secara umum. Pada tahun 1968 mereka di rekrut untuk komite baru Komite Dosis Radiasi Internal Medis (MIRD) dan original skema MIRD dipublikasikan dalam MIRD pamplet no.1[22].

Ellet dkk menggunakan persamaan yang terkait dengan fraksi serapan – dosis serap, dan persamaan tersebut merupakan titik awal dari semua pembicaraan mengenai metode MIRD. Persamaan untuk dosis serap untuk sinar gamma dapat ditulis dalam persamaan MIRD seperti berikut [22]:

$$\bar{D}_\gamma(v \leftarrow s) = \tilde{A}_s \sum_i \frac{\Delta_i \phi_i(v \leftarrow s)}{m_v} \quad (2.11)$$

$\bar{D}_\gamma(v \leftarrow s)$ adalah dosis serap rata-rata untuk volume v dari radioaktif dalam sumber s , simbol \tilde{A}_s menunjukkan integral kurva waktu-aktivitas yang dalam metode MIRD disebut aktivitas kumulatif. \tilde{A}_s merupakan jumlah total transformasi nuklir di

dalam sumber selama waktu yang dikehendaki. Δ_i menunjukkan energi radiasi jenis i yang dipancarkan pertransformasi inti, ϕ_i merupakan fraksi serapan untuk radiasi i yang dipancarkan oleh sumber dan diserap oleh target v dan m_v massa target v . Kemudian Ellet dkk menghilangkan simbol gamma pada persamaan diatas menjadi.

$$\bar{D}(v \leftarrow s) = \tilde{A}_s \sum_i \frac{\Delta_i \phi_i(v \leftarrow s)}{m_v} \quad (2.12)$$

Persamaan ini menunjukkan dosis serap ke volume target v dari semua radiasi apapun jenis radiasinya oleh organ sumber. Untuk menjadikan persamaan tersebut umum karena bukan saja berlaku untuk target organ yang mempunyai volume tetapi berlaku juga untuk target bentuk titik, garis, permukaan maka dibuat suatu istilah fraksi serapan jenis yang didefinisikan sebagai fraksi serapan dan massa target volume seperti persamaan dibawah ini[22].

$$\Phi(v \leftarrow s) = \frac{\phi(v \leftarrow s)}{m_v} \quad (2.13)$$

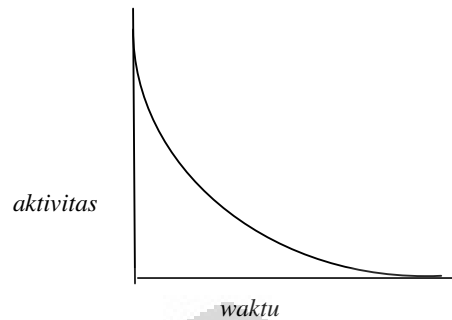
Dalam MIRD fraksi serapan jenis dapat ditulis seperti $\Phi(r_k \leftarrow r_h)$ sebagai fraksi dari serapan energi per unit massa pada daerah organ target r_k dari berbeagi organ sumber r_s . Sehingga dosis serap rata-rata pada target dapat ditulis lebih umum seperti berikut [22].

$$\bar{D}(r_k \leftarrow r_h) = \tilde{A}_h \sum_i \Delta_i \Phi_i(r_k \leftarrow r_h) \quad (2.14)$$

Persamaan 2.14 adalah persamaan penuh dalam metode MIRD untuk dosis organ target r_k dari radiasi i yang dipancarkan oleh organ sumber r_h [22]. Pada tahun 1988 Loevinger dkk menyederhanakan persamaan 2.14 menjadi [1,2]:

$$D = \tilde{A}.S = A_0 \times \tau \times S \quad (2.15)$$

Aktivitas kumulatif (\tilde{A}) diwakili oleh daerah yang berada di bawah kurva pada Gambar 2.3. Aktivitas kumulatif tergantung pada dua faktor yaitu jumlah aktivitas maksimum pada waktu tertentu (A_0) dan waktu tinggal radioaktif dalam tubuh atau organ yang diteliti (τ). Sehingga karakteristik faktor fisika dan biologi akan mempengaruhi aktivitas kumulatif [1,2,3,19,22].



Gambar 2.3 Kurva Aktivitas Kumulatif

Satuan \tilde{A} yang digunakan adalah $\mu\text{Ci-jam}$, jika aktivitas dalam satuan Bq dan waktu dalam satuan detik maka aktivitas kumulatif akan mempunyai satuan Bq-detik. Faktor S merupakan kombinasi dari beberapa faktor, berat organ target, jenis dan jumlah ionisasi radiasi yang dipancarkan perpeluruhan, dan kombinasi fraksi dari pancaran radiasi yang mencapai dan yang diserap organ sumber dan organ target [2]. Umumnya faktor S diberikan dalam form tabel untuk radionuklida yang umum digunakan dalam diagnostik atau terapi. Dalam MIRD Pamphlet No.11, nilai S ini sudah ditabulasikan untuk 117 radionuklida dan 20 organ sumber dan organ target [13]. Jika aktivitas kumulatif dapat diestimasi, dosis serap untuk organ target dapat diestimasi dengan persamaan berikut.

$$D_{(rk \rightarrow rh)} = \sum_h \tilde{A}_h S_{(rk \leftarrow rh)} \quad (2.16)$$

Sigma dalam persamaan 2.16 merupakan jumlah dosis serap yang diperkirakan dapat diterima oleh suatu organ target, karena organ target (r_k) dapat menerima radiasi yang berasal dari beberapa sumber organ (r_h) [13,22].

Sesuai persamaan 2.15 waktu tinggal (τ) dari radioisotop dalam organ sumber didefinisikan sebagai berikut [2,3,22].

$$\tau = \frac{\tilde{A}}{A_0} \quad (2.17)$$

Karena itu waktu tinggal radioisotop dapat dikatakan umur rata-rata atau umur efektif dari radioisotop yang terendap di dalam organ dan perlu diingat bahwa waktu tinggal radioisotop memperhitungkan peluruhan fisika dan metabolisme biologi.

Meskipun demikian bukan berarti MIRD sempurna tetapi MIRD juga mempunyai batasan, asumsi dan penyederhaan dalam perhitungan, yaitu radioisotop diasumsikan terdistribusi secara merata di organ sumber, deposisi energi adalah setara dengan seluruh massa dari organ target, geometri sederhana dari bentuk dan interkoneksi antara satu organ dengan organ lain digunakan perkiraan sebagai anatomi manusia, fantom menggunakan referensi manusia dewasa, remaja, anak-anak yang mendekati dimensi fisik pada individu tertentu, setiap organ diasumsikan mempunyai komposisi dan densitas yang homogen, kontribusi kecil dari radiasi *Bremsstrahlung* diabaikan dan dengan beberapa pengecualian, energi rendah foton dan semua partikel radiasi diasumsikan diserap secara lokal [27]. Meskipun demikian metode MIRD ini cukup presisi karena mempunyai model yang tetap dan perhitungan dapat dibuat sepresisi yang diinginkan, fraksi serapan jenis atau fraksi serapan yang dihitung dengan montecarlo, dalam prakteknya batasan presisi diatur dengan standar deviasi dari fraksi serapan selama perhitungan. Nama model berhubungan dengan nama organ sehingga dapat membandingkan hasil dosis serap dengan respon klinis.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Peralatan, Bahan dan Penentuan Sampel

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1 (satu) unit Kamera Gamma merk SkyLight – Philips milik RSPP Pertamina Jakarta dan Pegasys Blade dari ADAC yang terintergrasi ke unit kamera gamma untuk melakukan proses citra. Kalibrator dosis radionuklida merk Capintec CRC 15R S/N 158459 dengan detektor bilik ionisasi untuk mengukur aktivitas sumber radiasi $^{99}\text{Tc}^m$. Fantom *acrylic perspex* untuk menentukan faktor atenuasi jaringan. Untuk mengukur dosis transmisi pada permukaan kulit pasien digunakan *Thermo Luminisence Dosimetry* (TLD), type TLD 100, produksi Harshaw.

Sesuai dengan penggunaan klinis sumber radioaktif yang digunakan adalah $^{99}\text{Tc}^m$ yang dielusi dari generator ^{99}Mo produksi BATAN Teknologi dan senyawa kimia pembawa DTPA buatan dari Draxis Speciality Pharmaceuticals Inc, Canada.

Obyek dalam penelitian adalah pasien yang menjalani pemeriksaan renografi. Jumlah sampel 51 orang dengan distribusi kasus ditunjukkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Distribusi Kasus Sampel

Kasus	Jenis Kelamin		Keterangan
	Laki-laki	Perempuan	
Tanpa indikasi	20	3	usia 17 - 60 tahun
Kista Ginjal Kiri		2	usia 47 - 52 tahun
Nefrophaty	1	1	usia 43 - 65 tahun
Non Functional Ginjal Kanan	1		usia 34 tahun
Non Functional Ginjal Kiri	1		
Obstruksi Ginjal Kanan	2	2	usia 38 - 75 tahun
Obstruksi Ginjal Kiri			
Obstruksi Total Ginjal Kanan dan Obstruksi Parsial Ginjal Kiri		1	usia 72 tahun
Hidronefrosis Ginjal Kanan	1		usia 60 tahun
Hidronefrosis Ginjal Kiri		1	usia 45 tahun
Chronic Kidney Disease	5		usia 49 - 69 tahun
Chronic Kidney Failure	1		usia 72 tahun
Total Pasien	32	10	

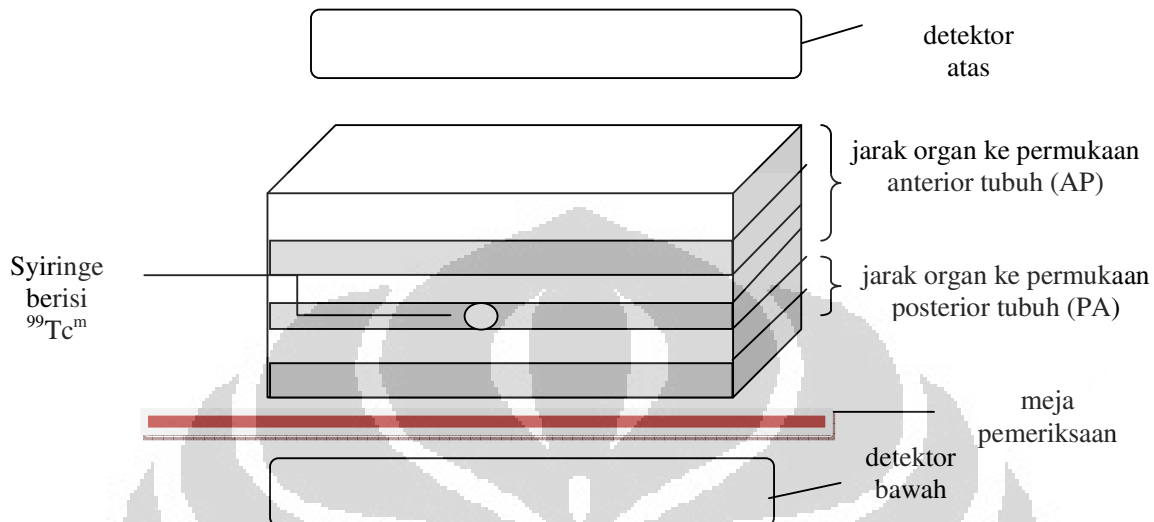
3.2. Metode

3.2.1 Faktor Konversi Cacah – Aktivitas Organ

Untuk mengetahui kedalaman AP dan PA berbagai organ digunakan data citra CT pasien radioterapi RSPP. Organ yang diobservasi adalah otak, jantung, paru-paru, liver, ginjal dan kandung kemih.

Penelitian diawali dengan menentukan faktor konversi jumlah cacah menjadi aktivitas sumber dalam organ. Faktor konversi diperoleh dengan simulasi fantom susunan *acrylic* dengan ukuran 30 x 30 cm. Letak sumber dalam fantom disesuaikan dengan ketebalan organ yang diobservasi sesuai dengan hasil pengukuran citra CT pasien radioterapi RSPP. Untuk lebih jelasnya cara pengukuran dapat dilihat pada

Gambar 3.1. Nomor atom efektif *acrylic perspex* adalah 7,55 mendekati nomor atom efektif air yaitu 7,4 [25].



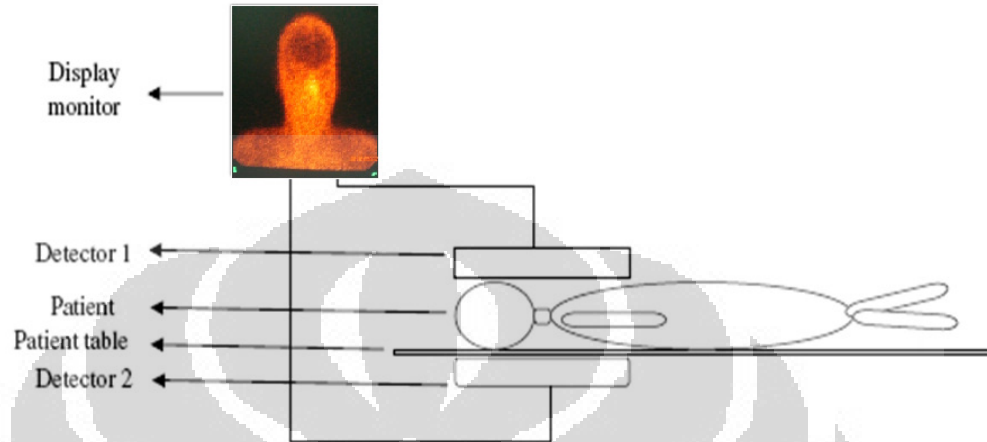
Gambar 3.1. Skema Fantom Acrylic Sumber Radioaktif dan Kamera Gamma dalam Penentuan Faktor Konversi

Aktivitas sumber $^{99}\text{Tc}^m$ divariasikan mulai dari 1 mCi sampai dengan 5 mCi untuk observasi setiap organ. Pencacahan dengan kamera gamma dilakukan selama 3 menit yang hasilnya dapat ditayangkan langsung pada monitor.

3.2.2 Biodistribusi Radiofarmaka ($^{99}\text{Tc}^m$ - DTPA) dalam Organ

Dalam penelitian utama ini diukur *uptake* dan waktu tinggal $^{99}\text{Tc}^m$ - DTPA dalam berbagai organ beserta eliminasinya. Aktivitas yang diberikan pada pasien umumnya 3 – 5 mCi disuntikkan pada saat pasien berbaring di atas meja pemeriksaan. Pertama kali pengambilan citra dilakukan pada lokasi jantung, paru-paru dan liver selama 3 menit pertama, pada 3 menit berikutnya pengambilan citra otak dan 3 menit selanjutnya pengambilan citra ginjal dan kandung kemih. Pencacahan radiasi transmisi dari setiap organ dilakukan dengan menentukan ROI (*region of interest*) pada citra dan nilai cacah akan otomatis ditayangkan melalui monitor. Proses pemeriksaan yang demikian diulang kembali setelah 40, 80 dan 120

menit setelah waktu penyuntikan. Ilustrasi pengambilan citra dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Ilustrasi *Scan* Pasien Biodistribusi $^{99}\text{Tc}^m$ - DTPA

Aktivitas sumber dalam organ dihitung mengikuti persamaan berikut :

$$A = \sqrt{(C_A \times FK_{anterior}) \times (C_P \times FK_{posterior})} \quad (3.1)$$

Keterangan :

A = Aktivitas sumber dalam organ;

C_A = Cacahan per detik pada posisi anterior

$FK_{anterior}$ = Faktor Koreksi Anterior

C_P = Cacahan per detik pada posisi posterior

$FK_{posterior}$ = Faktor Koreksi Posterior

3.2.3. Waktu Tinggal Sumber dalam Ginjal dan Kandung Kemih

Khusus pemeriksaan renografi ini dilakukan untuk 30 pasien yang terdiri dari 10 orang perempuan dan 20 orang laki – laki berumur 19 – 75 tahun. Sekitar 17 orang diantaranya telah dinyatakan dengan indikasi sakit ginjal.

Cara pemberian sumber sama pada pemberian biodistribusi, bedanya hanya pada pengambilan citra pada 30 detik, 2 menit, 15 menit dan 20 menit setelah penyuntikan.

Aktivitas kumulatif sumber dalam ginjal dan kandung kemih dihitung dengan menggunakan metode *trapezoidal rule* [9] yang mengikuti persamaan berikut :

$$\tilde{A}h = \frac{1}{2} [A_j + (A_j + 1)] [(t_j + 1) - t_j] + 1.443A_nT_p \quad (3.2)$$

Keterangan :

$\tilde{A}h$ = Aktivitas kumulatif sumber ($\mu\text{Ci}\cdot\text{jam}$) ;

A_j = Aktivitas pada saat pengukuran pada $t = t_j$ (μCi) ;

A_n = Aktivitas pada saat terakhir pengukuran pada t_n (μCi);

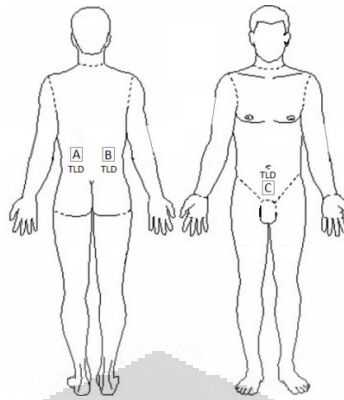
T_p = Waktu paruh fisika radionuklida yang digunakan ($^{99}\text{Tc}^m$)

Dengan metode MIRD dosis internal ginjal dan kandung kemih dikalkulasi dengan menggunakan nilai S , yaitu menyatakan dosis rata – rata per aktivitas kumulatif organ (\tilde{A}_n). Nilai S nilainya dapat dilihat pada tabel MIRD no.11 [10].

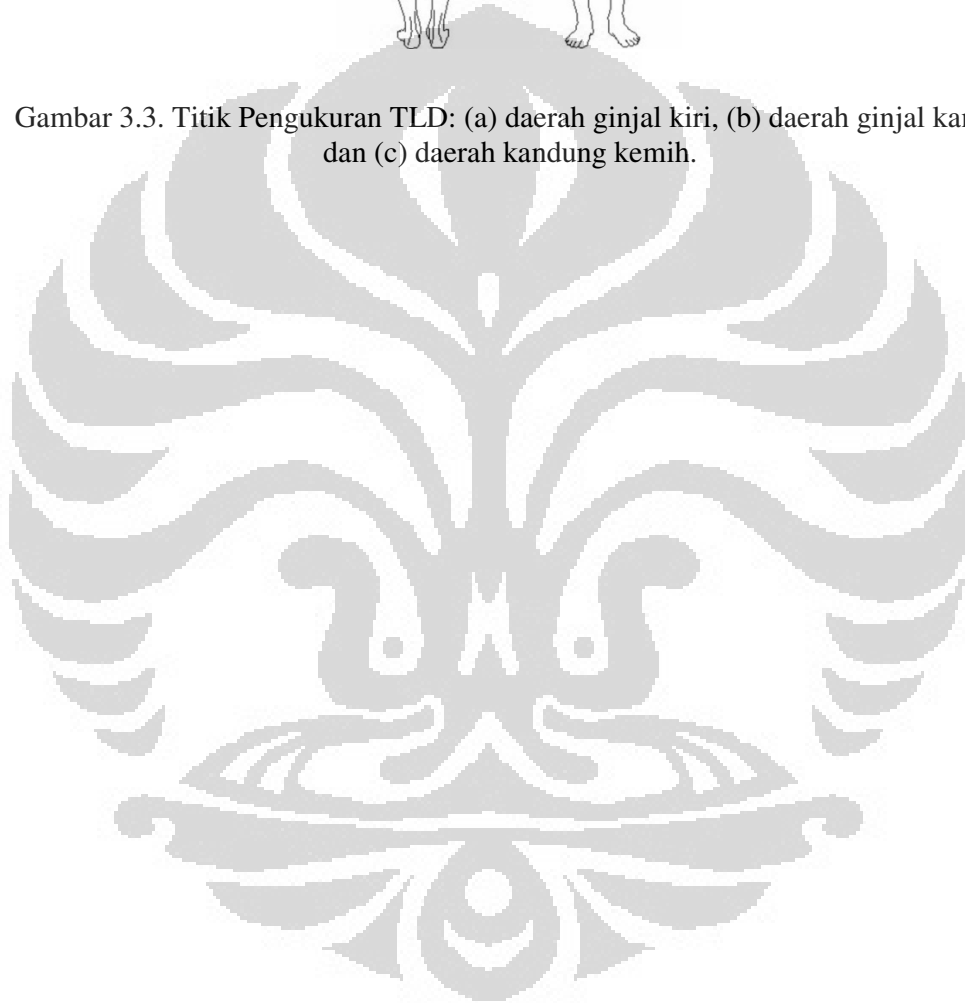
3.2.5. Dosis Permukaan setelah Prosedur Pemeriksaan Renografi

Untuk keperluan proteksi radiasi masyarakat umum dilakukan pengukuran dosis permukaan. Pasien yang diamati adalah 11 orang pasien yang telah menjalani prosedur pemeriksaan. Setelah prosedur pemeriksaan selesai pasien diberi minum 250 ml air. Setelah pasien melepas urin pada permukaan kulit lokasi ginjal dan kandung kemih dipasang TLD selama 15 menit setelah itu pasien diminta untuk menunggu selama 45 menit kemudian pada lokasi yang sam dipasang lagi 3 TLD selama 15 menit.

Tiga titik lokasi pengukuran TLD dipilih pada (a) daerah belakang ginjal kiri, (b) daerah belakang ginjal kanan dan (c) depan kandung kemih (Gambar 3.7). TLD yang digunakan dikalibrasi khusus untuk radiasi gamma 140 keV di BATAN. Jumlah TLD yang dikalibrasi 18 keping (dibagi dalam 3 kelompok) dan hasilnya dapat dilihat pada Lampiran 5.



Gambar 3.3. Titik Pengukuran TLD: (a) daerah ginjal kiri, (b) daerah ginjal kanan dan (c) daerah kandung kemih.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Penentuan Faktor Konversi Laju Cacah – Aktivitas Berbagai Organ

Faktor konversi laju cacah – aktivitas dipengaruhi kedalaman Anterio Posterior (AP) maupun Posterior Anterior (PA) organ. Seluruh hasil observasi dari 20 orang pasien radioterapi kedalaman berbagai organ dapat dilihat dalam Lampiran 1 dan nilai rata – ratanya ditampilkan dalam Tabel 4.1.

Tabel. 4.1 Kedalaman AP dan PA Berbagai Organ

ORGAN	Kedalaman Organ	
	AP	PA
Otak	1,28 ± 0,40	0,91 ± 0,22
Jantung	3,12 ± 0,61	8,06 ± 1,34
Paru-paru	2,55 ± 0,61	2,98 ± 0,57
Liver	2,80 ± 0,64	3,82 ± 0,95
Ginjal	11,03 ± 1,28	4,00 ± 0,98
Kandung Kemih	4,18 ± 0,98	8,61 ± 1,34

Telah dilakukan pengukuran faktor konversi laju cacah menjadi aktivitas sumber $^{99}\text{Tc}^m$ untuk berbagai organ tertentu dengan menggunakan fantom *acrylic* yang ketebalannya berdasarkan data dalam Tabel 4.1. Hasil pengukuran faktor konversi laju cacah - aktivitas sumber $^{99}\text{Tc}^m$ untuk berbagai organ dapat dilihat dalam Lampiran 2, sedangkan nilai rata – ratanya dapat dilihat dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Faktor Konversi Laju Cacah menjadi Aktivitas Sumber

Organ	Faktor Konversi (mCi/cps) x 10 ⁻⁴	
	AP	PA
Otak	2,15	3,17
Jantung	3,85	6,80
Paru-paru	2,87	3,35
Liver	3,16	3,59
Ginjal	7,09	4,12
Kandung kemih	3,50	7,72

4.1.2 Biodistribusi Sumber dalam Berbagai Organ

Observasi biodistribusi sumber dalam berbagai organ dilakukan pada pasien laki – laki sehat. Seluruh hasil pengukuran terdapat dalam Lampiran 3 dan nilai rata – rata ditampilkan dalam Tabel 4.3 dan nilai biodistribusi dalam Tabel 4.3. dinormalisasi terhadap jantung terlihat pada Tabel 4.4. Untuk lebih jelasnya data dalam Tabel 4.4. diilustrasikan dalam Gambar 4.1.

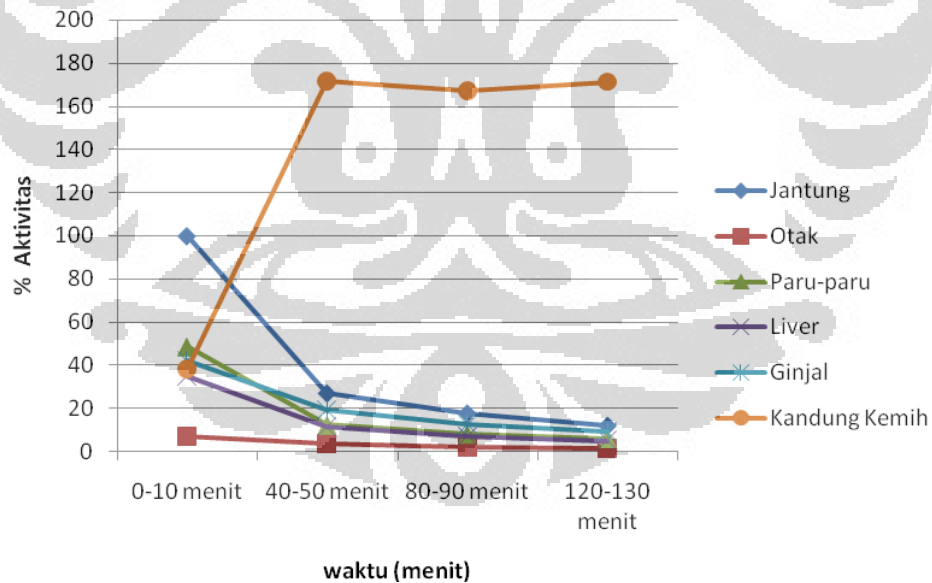
Tabel 4.3. Persentase Aktivitas ⁹⁹Tc^m DTPA dalam berbagai organ terhadap Aktivitas yang diinjeksikan

Organ	Persentase Aktivitas (interval time)			
	0-10 (menit)	40-50 (menit)	80-90 (menit)	120-130 (menit)
Jantung	14,00 ± 2,30	3,80 ± 0,60	2,50 ± 0,40	1,70 ± 0,30
Otak	1,00 ± 0,20	0,50 ± 0,10	0,30 ± 0,00	0,20 ± 0,00
Paru-paru	6,80 ± 0,70	1,70 ± 0,30	1,10 ± 0,20	0,80 ± 0,10
Liver	4,90 ± 1,50	1,60 ± 0,50	1,00 ± 0,30	0,70 ± 0,20
Ginjal	5,90 ± 1,10	2,70 ± 0,50	1,80 ± 0,30	1,30 ± 0,20
Kandung Kemih	5,30 ± 3,50	24,00 ± 3,50	23,40 ± 10,10	24,00 ± 13,00

Tabel 4.4. Nilai Persentase Relatif Berbagai Organ terhadap Organ Jantung

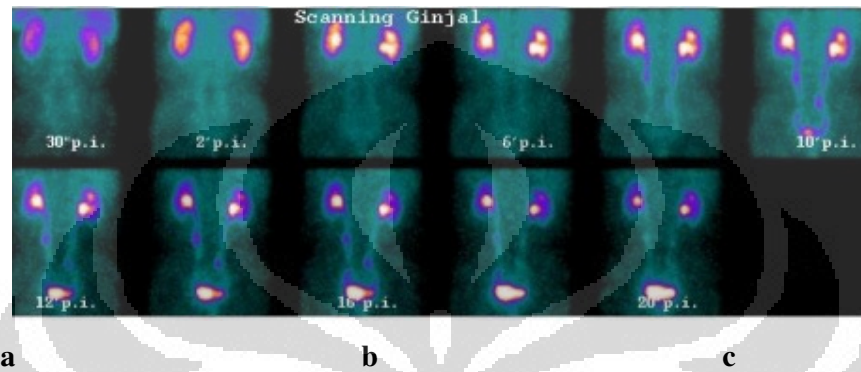
Organ	Presentase Aktivitas (interval time)			
	0-10 (menit)	40-50 (menit)	80-90 (menit)	120-130 (menit)
Jantung	100,00	27,14	17,86	12,14
Otak	7,14	3,57	2,14	1,43
Paru-paru	48,57	12,14	7,86	5,71
Liver	35,00	11,43	7,14	5,00
Ginjal	42,14	19,29	12,86	9,29
Kandung Kemih	37,86	171,43	167,14	171,43

Tampak aktivitas pada ginjal dan kandung kemih, seperti membuat sistem keseimbangan, aktivitas ginjal mula-mula menurun pada 0 – 40 menit lalu menurun terus secara perlahan, sebaliknya pada kandung kemih mula-mula meningkat mencapai maksimum, kemudian konstan pada 120 – 130 menit. Aktivitas sumber pada 0 – 20 menit dapat direpresentasikan fungsi ginjal. Proses penurunan aktivitas dalam ginjal maupun kenaikan aktivitas kandung kemih ditunjukkan dalam Gambar 4.1.

Gambar 4.1. Persentase Relatif $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA dalam Berbagai Organ

4.1.3. Aktivitas Kumulatif, Waktu Retensi dan Dosis Internal Organ

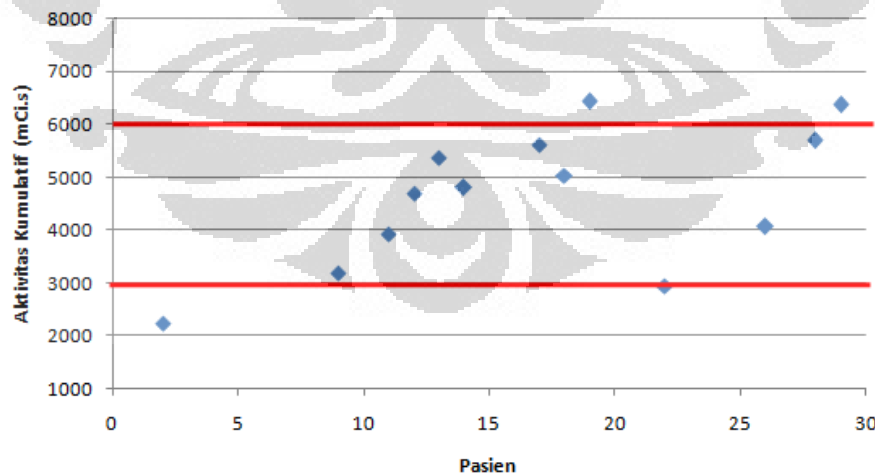
Untuk memperoleh informasi proses penurunan aktivitas di ginjal dan kenaikan aktivitas di kandung kemih dari citra dalam Gambar 4.2 ditentukan nilai aktivitas pada beberapa tahap, yaitu 30 detik, 2 menit, 15 menit dan 20 menit. Seluruh hasil pengukuran diberikan dalam Lampiran 4.



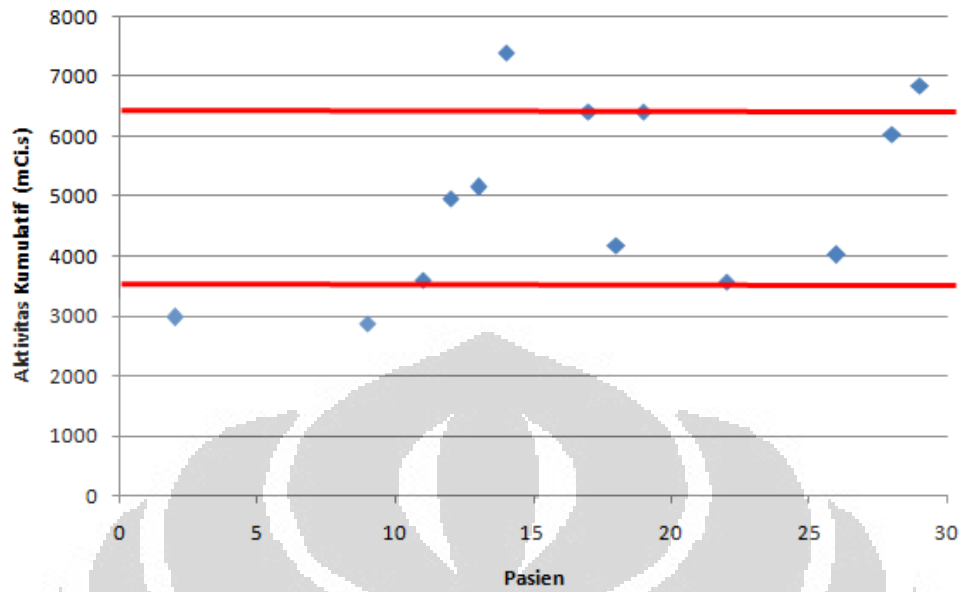
Gambar 4.2. Citra Dinamika $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ DTPA pada Organ Ginjal dan Kandung Kemih setelah injeksi pada a. 30 detik *p.i.* b. 2 menit *p.i.* c. 15 menit *p.i.* d. 20 menit *p.i.*

4.1.3.1. Pasien Normal

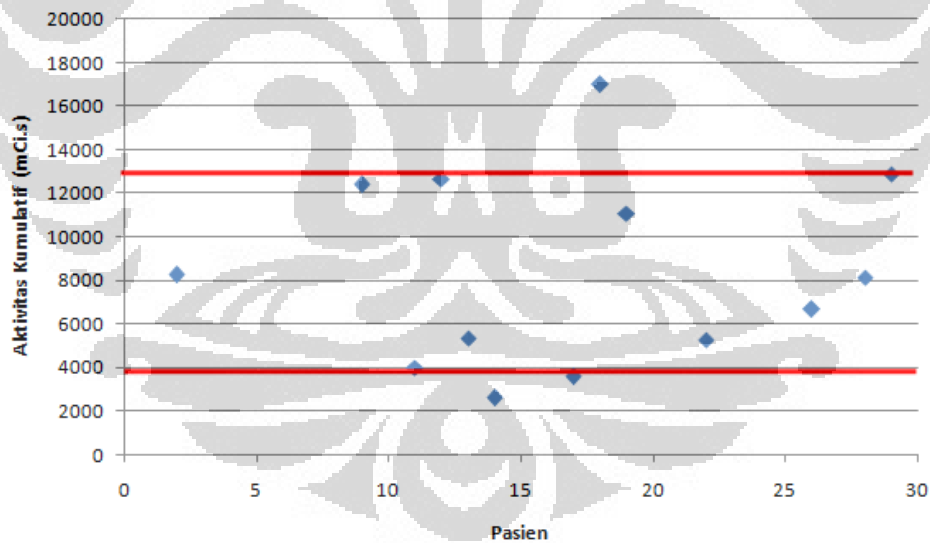
Hasil perhitungan aktivitas kumulatif pada pasien normal (tanpa indikasi) untuk ginjal kiri (Gambar 4.3), ginjal kanan (Gambar 4.4) dan kandung kemih (Gambar 4.5).



Gambar 4.3. Distribusi Aktivitas Kumulatif Ginjal Kiri Pasien Normal

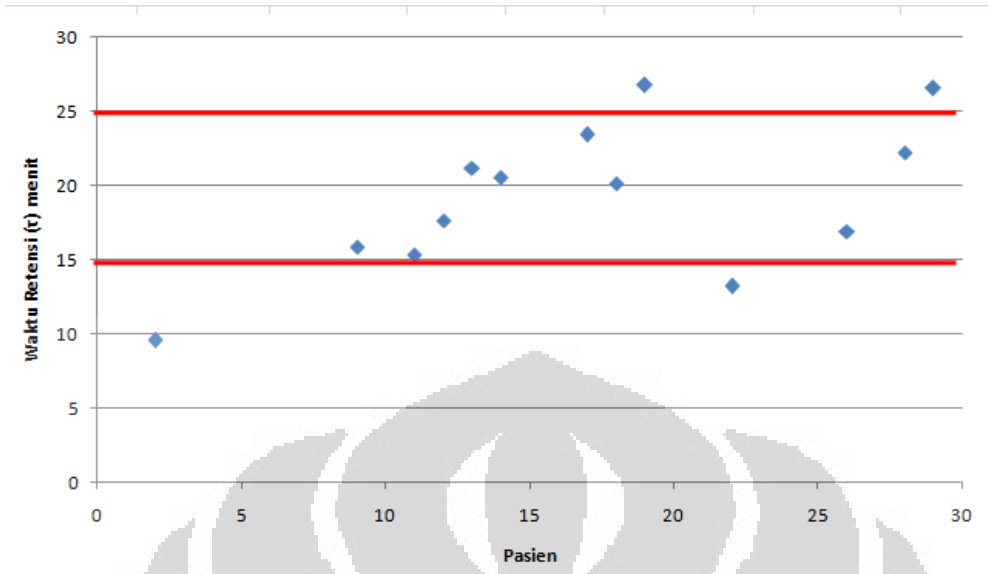


Gambar 4.4. Distribusi Aktivitas Kumulatif Ginjal Kanan Pasien Normal

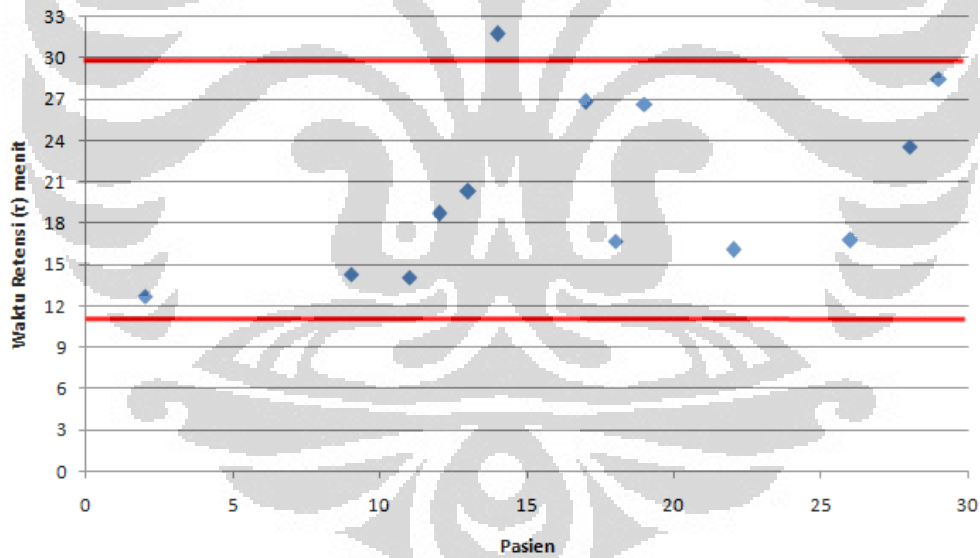


Gambar 4.5. Distribusi Aktivitas Kumulatif Kandung Kemih Pasien Normal

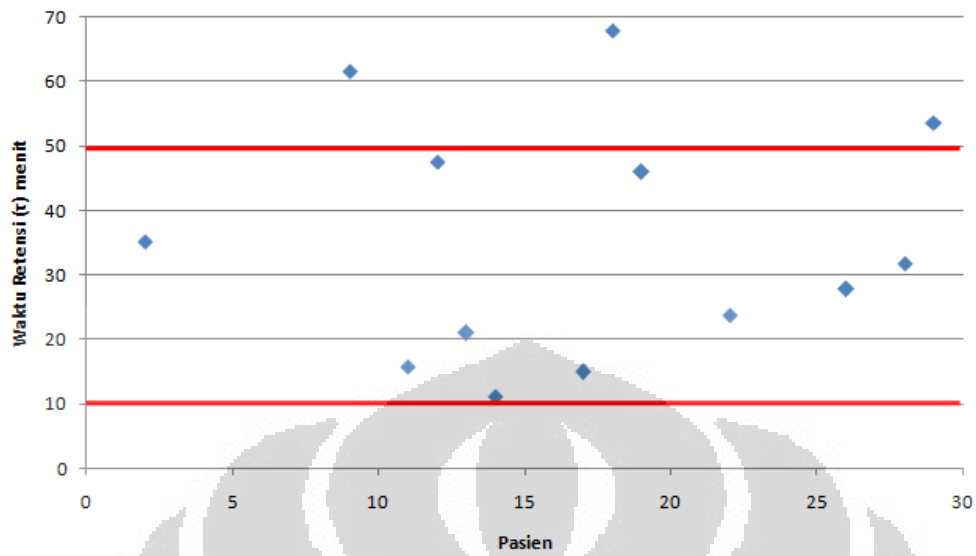
Waktu retensi $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA pada pasien normal didalam organ ginjal kiri (Gambar 4.6), ginjal kanan (Gambar 4.7) dan kandung kemih (Gambar 4.8).



Gambar 4.6. Distribusi Waktu Retensi $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ DTPA Ginjal Kiri Pasien Normal

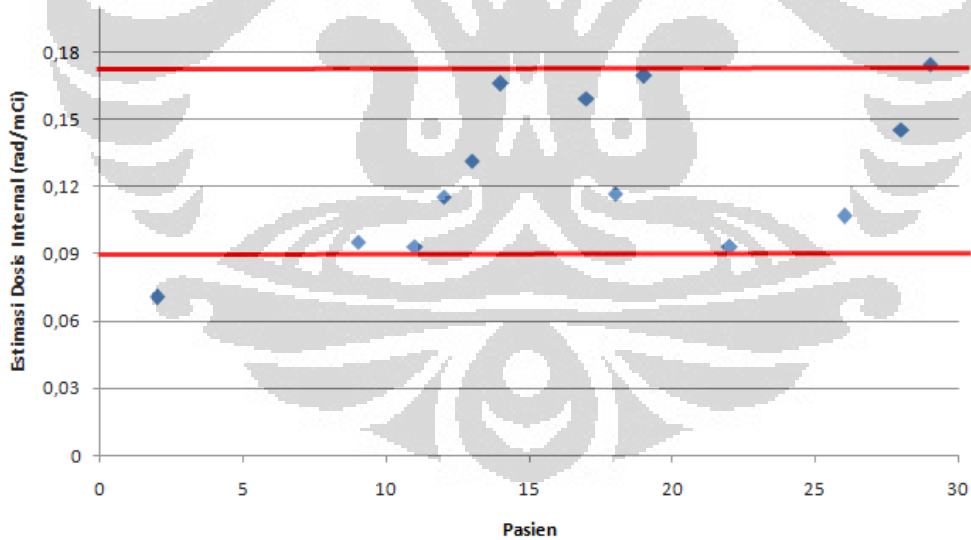


Gambar 4.7. Distribusi Waktu Retensi $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ DTPA Ginjal Kanan Pasien Normal

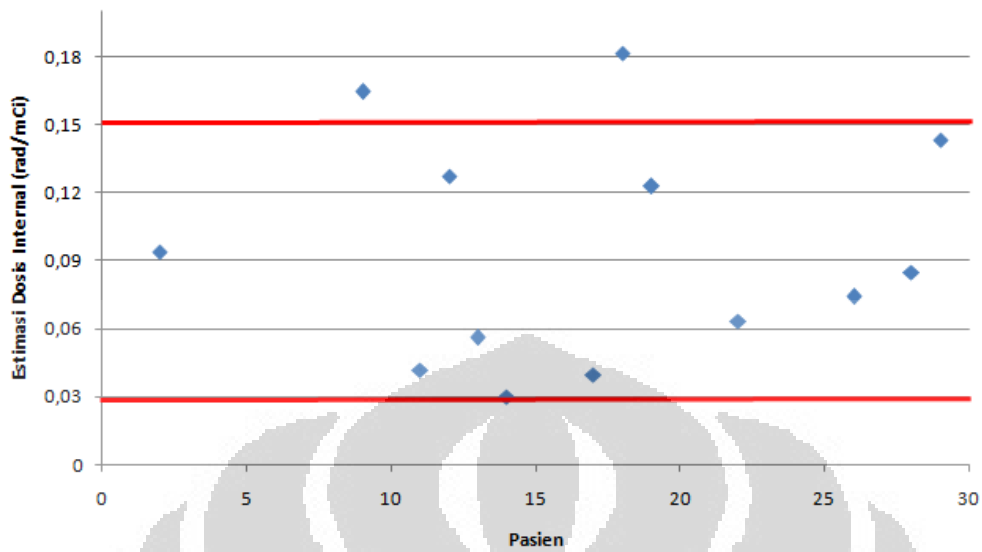


Gambar 4.8. Distribusi Waktu Retensi $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA Kandung Kemih Pasien Normal

Distribusi dosis internal ginjal pasien sehat dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan distribusi dosis internal kandung kemih dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.9. Distribusi Dosis Internal Ginjal Pasien Sehat



Gambar 4.10. Distribusi Dosis Internal Kandung Kemih Pasien Sehat

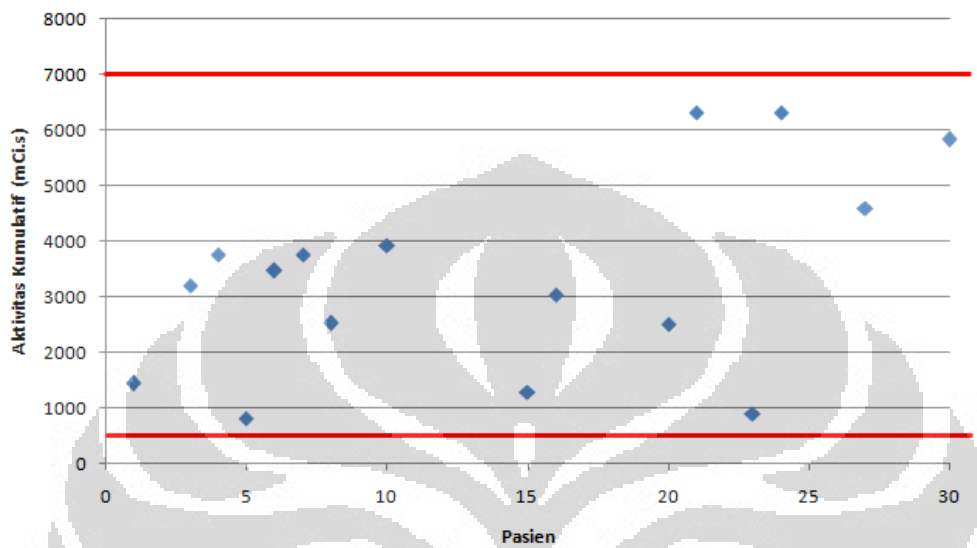
Berdasarkan perhitungan aktivitas kumulatif, waktu retensi dan dosis internal pada pasien sehat ringkasannya dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Aktivitas kumulatif, Waktu Retensi dan Dosis Internal pasien sehat

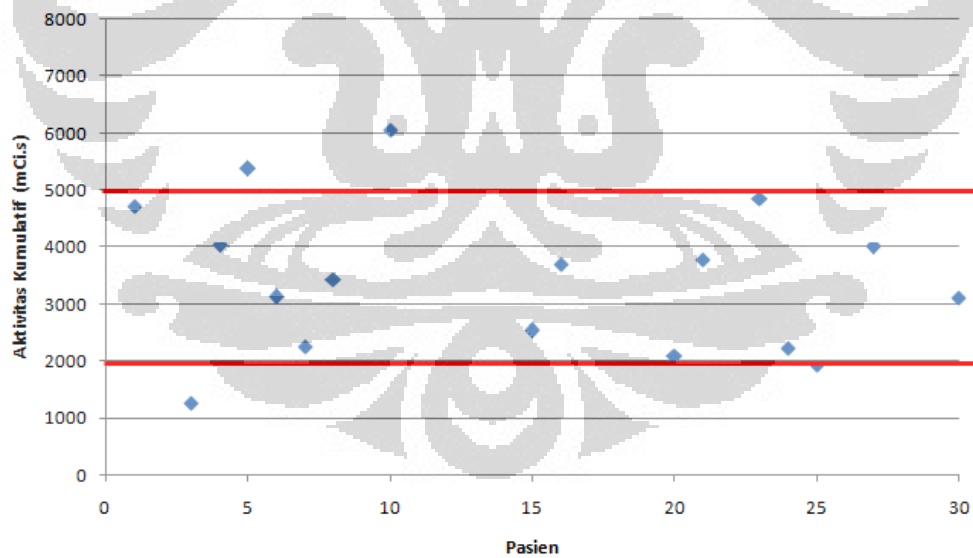
Status Pasien	Organ	Aktivitas Uptake (mCi.s)	Waktu Retensi (menit)	Estimasi Dosis Internal (rad/mCi)
Pasien Sehat	Ginjal Kiri	3000 – 6000	15 – 25	0,09 - 0,17
	Ginjal Kanan	3500 – 6500	11 – 30	
	Kandung Kemih	4000 -13000	10 – 50	0,03 - 0,15

4.1.3.2. Pasien Sakit Ginjal

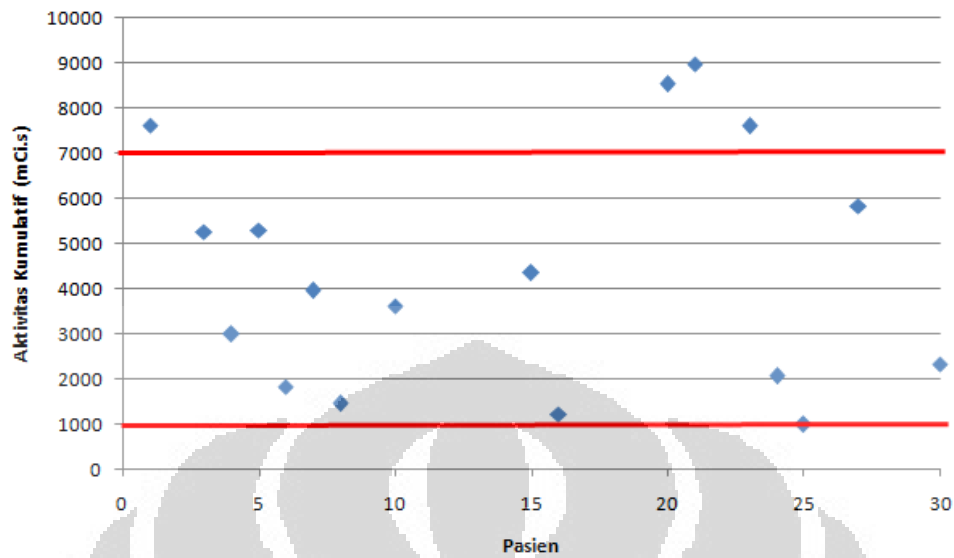
Sedangkan untuk pasien penyakit ginjal rentang aktivitas kumulatif untuk ginjal kiri (Gambar 4.11), ginjal kanan (Gambar 4.12) dan kandung kemih (Gambar 4.13).



Gambar 4.11. Distribusi Aktivitas Kumulatif Ginjal Kiri Pasien Sakit

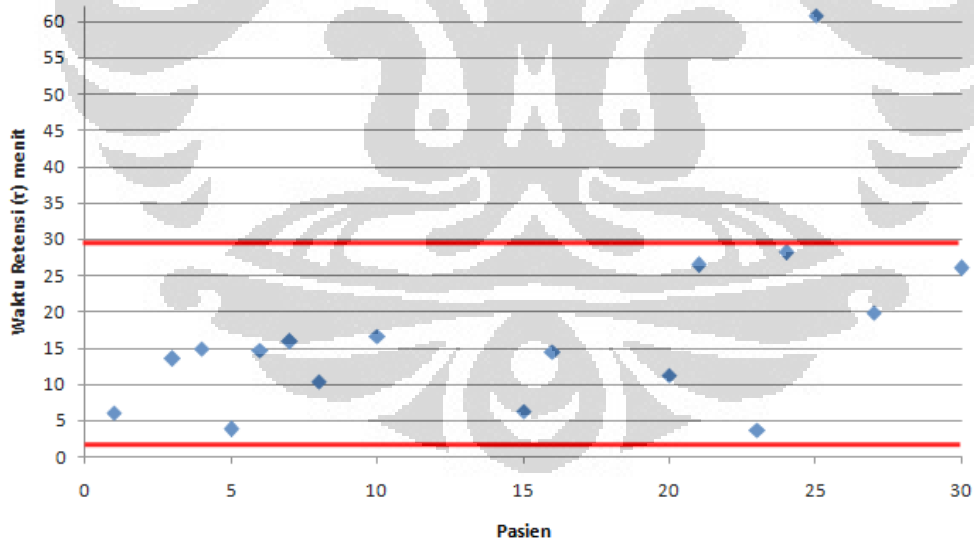


Gambar 4.12 Distribusi Aktivitas Kumulatif Ginjal Kanan Pasien Sakit

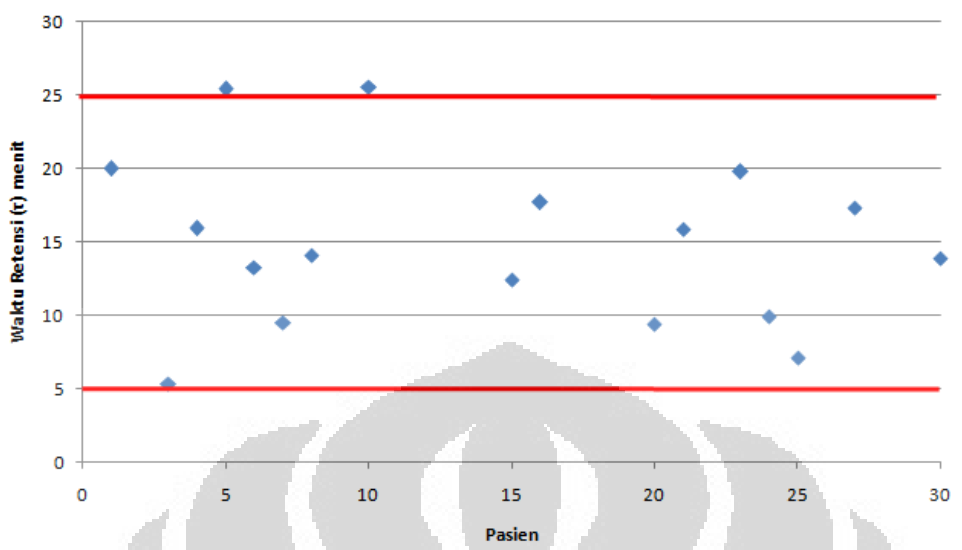


Gambar 4.13. Distribusi Aktivitas Kumulatif Kandung Kemih Pasien Sakit

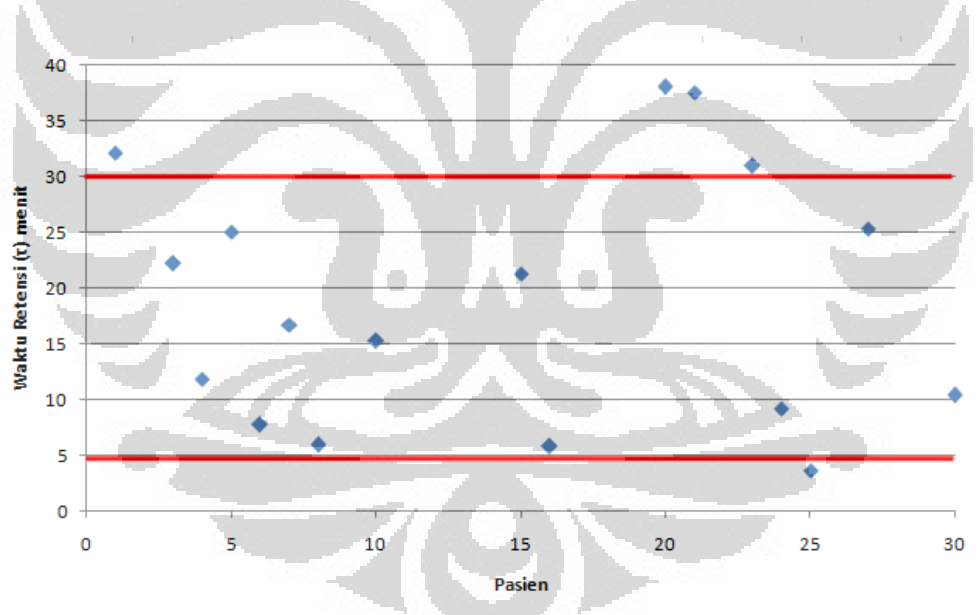
Dan untuk pasien penyakit ginjal, waktu retensi $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ DTPA di ginjal kiri (Gambar 4.14), ginjal kanan (Gambar 4.15) dan kandung kemih (Gambar 4.16).



Gambar 4.14. Distribusi Waktu Retensi $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ DTPA Ginjal Kiri Pasien Sakit

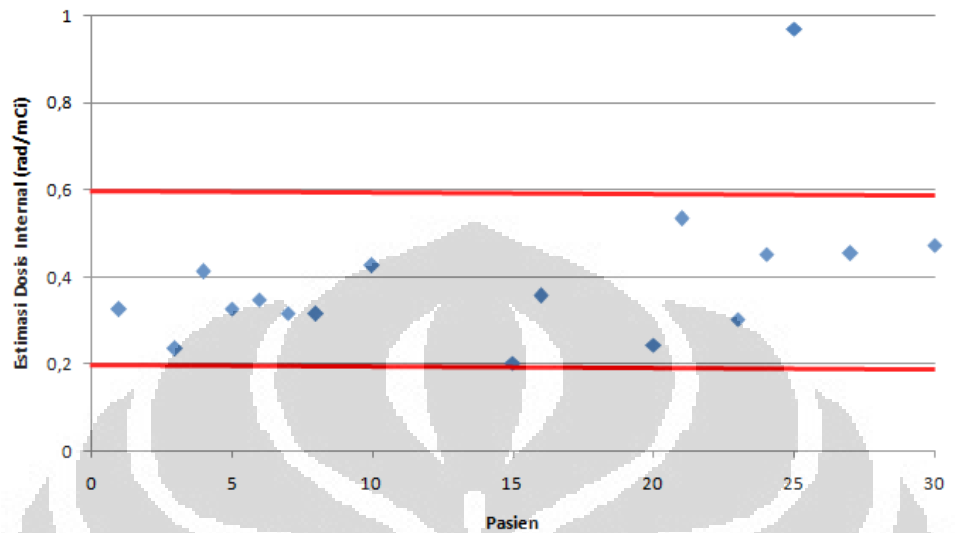


Gambar 4.15. Distribusi Waktu Retensi $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA Ginjal Kanan Pasien Sakit

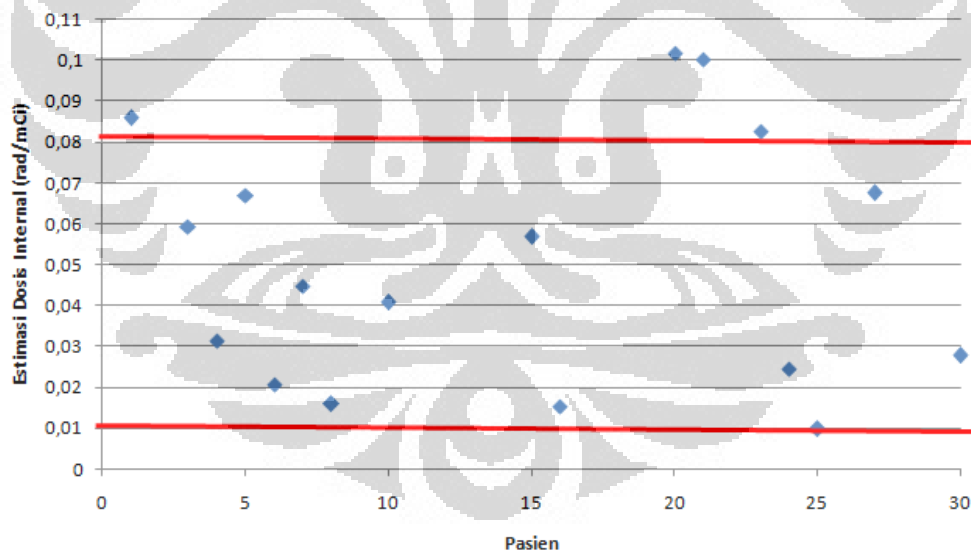


Gambar 4.16. Distribusi Waktu Retensi $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA Kandung Kemih Pasien Sakit

Sedangkan untuk pasien sakit distribusi estimasi dosis internal di ginjal (Gambar 4.17) dan untuk estimasi dosis internal di kandung kemih pada Gambar 4.18.



Gambar 4.17. Distribusi Dosis Internal Ginjal Pasien Sakit



Gambar 4.18. Distribusi Dosis Internal Kandung kemih Pasien Sakit

Dari perhitungan aktivitas kumulatif, waktu retensi dan dosis internal pasien sakit ringkasannya dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Aktivitas kumulatif, Waktu Retensi dan Dosis Internal pasien sakit ginjal

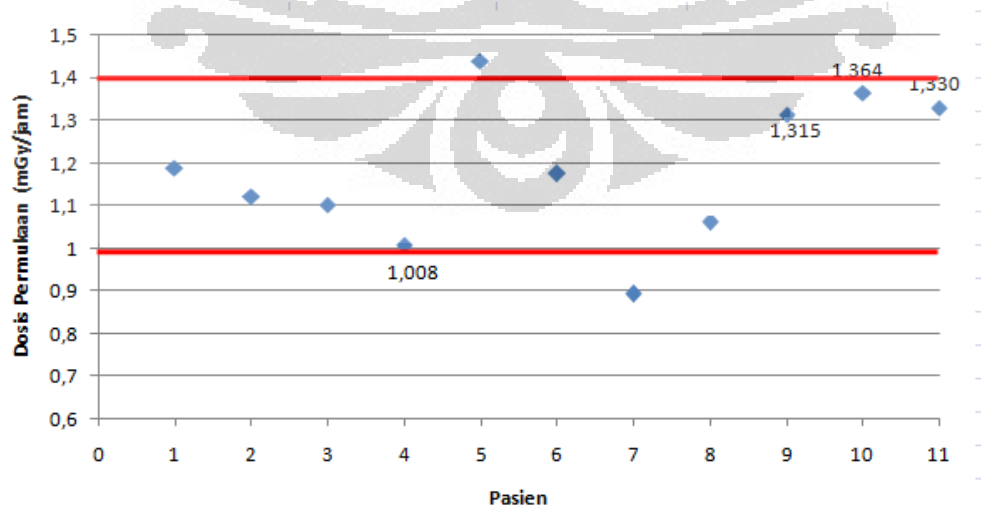
Status Pasien	Organ	Aktivitas Uptake (mCi.s)	Waktu Retensi (menit)	Estimasi Dosis Internal (rad/mCi)
Pasien Sakit	Ginjal Kiri	500 – 7000	2 – 30	0,20 - 0,60
	Ginjal Kanan	2000 – 5000	5 – 25	
	Kandung Kemih	1000 – 7000	5 – 30	0,01 - 0,08

4.1.4. Dosis Permukaan Setelah Pemeriksaan Renografi

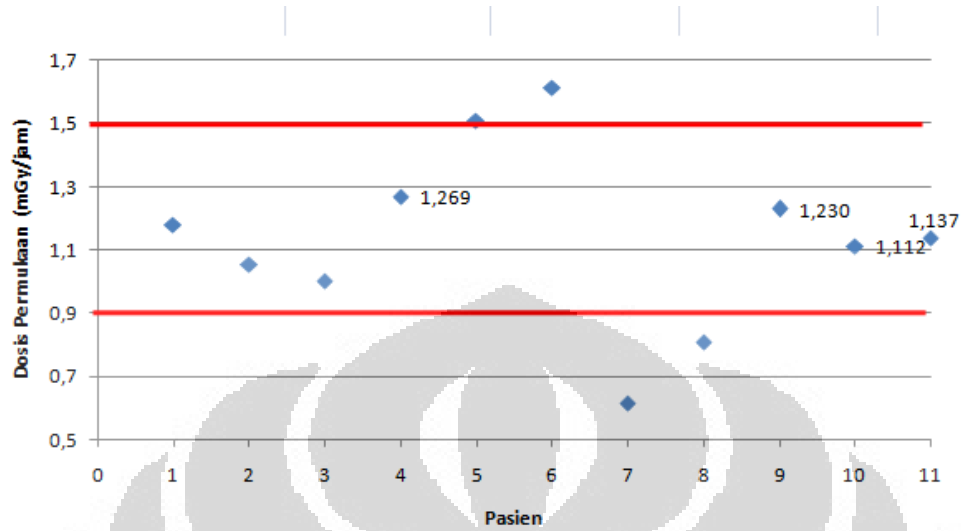
Untuk keperluan proteksi radiasi pada lingkungan hasil pengukuran permukaan kulit pasien sakit dan pasien normal dapat dilihat pada Lampiran 5. Dosis permukaan ini diukur pada 1 jam dan 2 jam setelah prosedur pemeriksaan renografi pada pasien normal dan pasien sakit ginjal.

4.1.4.1. Dosis Permukaan Setelah 1 jam Pemeriksaan Renografi

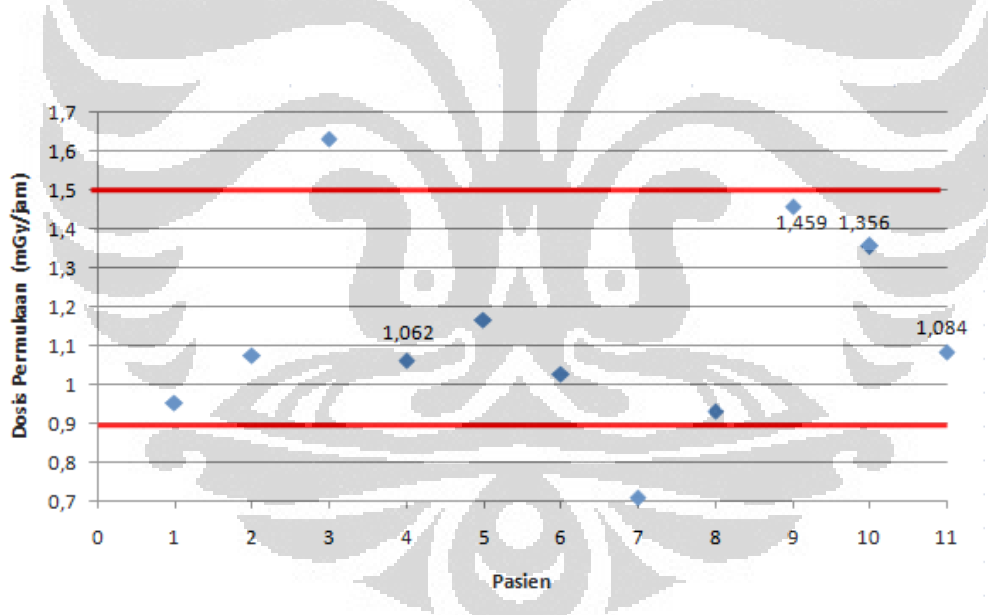
Dosis permukaan setelah 1 jam pemeriksaan untuk ginjal kiri (Gambar 4.19), ginjal kanan (Gambar 4.20) dan kandung kemih (Gambar 4.21), ringkasannya dapat dilihat pada Tabel 4.7.



Gambar 4.19. Distribusi Dosis Permukaan Ginjal Kiri setelah 1 jam pengukuran



Gambar 4.20. Distribusi Dosis Permukaan Ginjal Kanan setelah 1 jam pengukuran



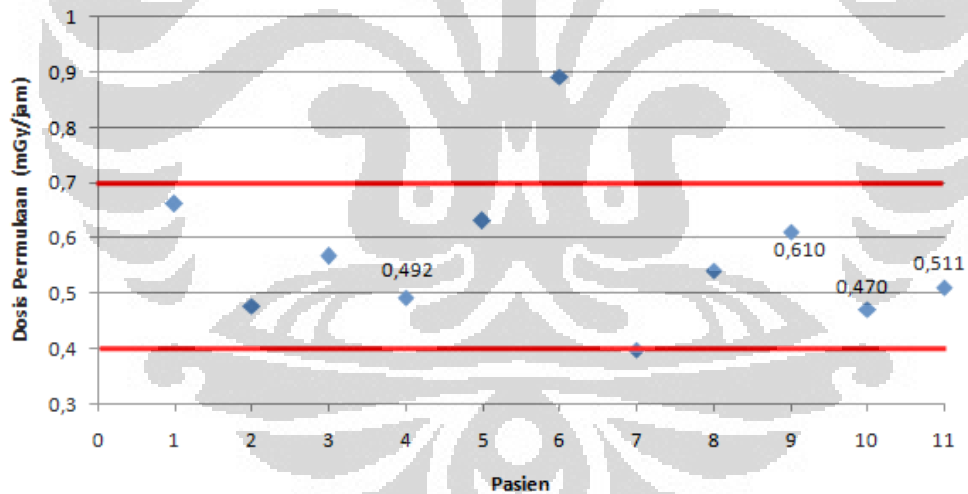
Gambar 4.21. Distribusi Dosis Permukaan Kandung Kemih setelah 1 jam pengukuran

Tabel 4.7. Distribusi Dosis Permukaan setelah 1 jam pemeriksaan

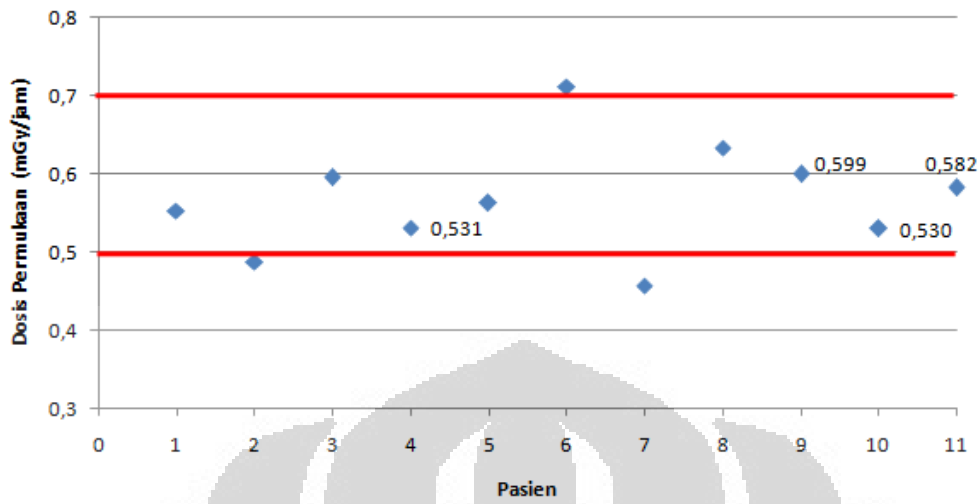
Status Pasien	Organ	Dosis Permukaan setelah 1 jam (mGy/jam)
Pasien Sehat	Ginjal Kiri	1,0 - 1,3
	Ginjal Kanan	1,1 - 1,3
	Kandung Kemih	1,0 - 1,5
Pasien Sakit	Ginjal Kiri	1,0 - 1,4
	Ginjal Kanan	0,9 - 1,5
	Kandung Kemih	0,9 - 1,5

4.1.4.2. Dosis Permukaan Setelah 2 jam Pemeriksaan Renografi

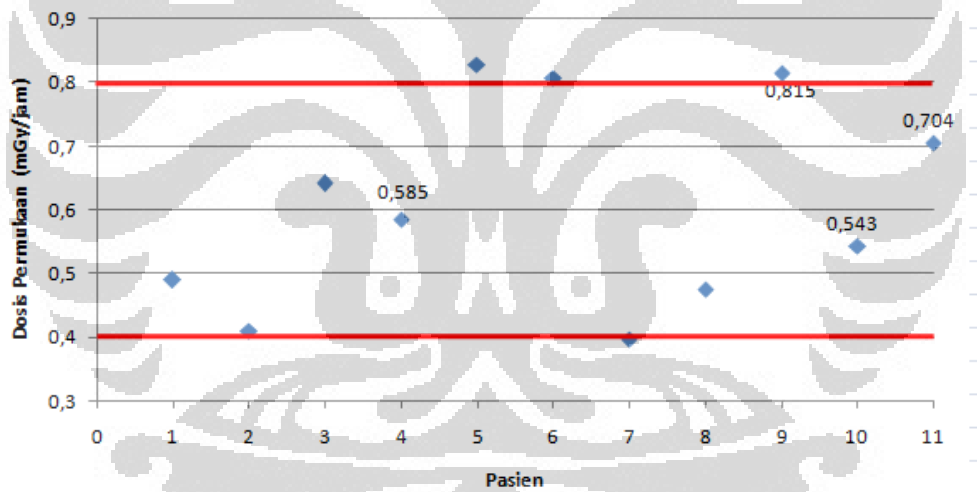
Dosis permukaan setelah 2 jam pemeriksaan pada ginjal kiri (Gambar 4.22), ginjal kanan (Gambar 4.23) dan kandung kemih (Gambar 4.24). Secara ringkasnya dapat dilihat pada Tabel 4.8.



Gambar 4.22. Distribusi Dosis Permukaan Ginjal Kiri setelah 2 jam pengukuran



Gambar 4.23. Distribusi Dosis Permukaan Ginjal Kanan setelah 2 jam pengukuran



Gambar 4.24. Distribusi Dosis Permukaan Kandung Kemih setelah 2 jam pengukuran

Tabel 4.8. Distribusi Dosis Permukaan setelah 2 jam pemeriksaan

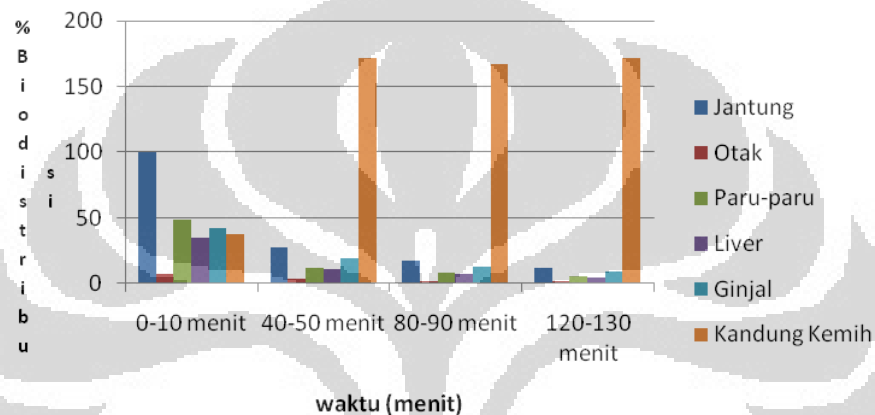
Status Pasien	Organ	Dosis Permukaan setelah 2 jam (mGy/jam)
Pasien Sehat	Ginjal Kiri	0,50 - 0,60
	Ginjal Kanan	0,50 - 0,60
	Kandung Kemih	0,55 - 0,85
Pasien Sakit	Ginjal Kiri	0,50 - 0,70
	Ginjal Kanan	0,40 - 0,70
	Kandung Kemih	0,40 - 0,80

4.2. Pembahasan

Salah satu fungsi ginjal adalah filtrasi darah. Kemampuan filtrasi darah dapat diobservasi dengan metode renografi, dengan sumber radioaktif sebagai perunut (tracer). Pada umumnya untuk pemeriksaan renografi digunakan sumber $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA dengan aktivitas 3 – 5 mCi. Mengingat penggunaan sumber radioaktif berisiko, maka dalam penelitian ini dosis untuk berbagai organ yang berkaitan dengan pemeriksaan ini diteliti.

Dalam penelitian ini, diperoleh informasi bahwa $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA ini terdistribusi pertama kali ke jantung, paru-paru, liver, otak dan reseptor ginjal, aliran demikian sesuai dengan penelitian Shergel (2005). Menurut Mc. Afee, 1979 radiofarmaka $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA masuk ke dalam dinding kapiler darah dan masuk ruang antar sel dalam waktu 4 menit. Lebih jauh dikatakan bahwa $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA bersifat hidrofil dan bermuatan negatif, sehingga radiofarmaka ini cenderung berada dalam ruang antar sel, biasanya berada dalam plasma. Mc. Afee juga menyatakan bahwa salah satu komponen plasma diekskresikan dengan waktu paruh biologis 100 menit dan komponen lainnya diekskresikan dengan waktu paruh biologis 7 hari. Uptake terendah pada otak menyerap $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA paling tinggi pada 0 – 10 menit hanya 1 %. Temuan ini sesuai dengan penelitian Hauser, et al yang menyatakan $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA sulit melewati otak, kecuali pada otak yang mengalami *BBB (Brain Blood Barrier)* atau pada bagian yang terindikasi terjadi vascular dan neoplastic brain.

Darah dari jantung dipompakan ke paru untuk menyerap oksigen, sehingga radiofarmaka $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA akan sampai paru 0-10 menit pertama mencapai 49 %, namun cepat dipompakan ke seluruh tubuh dan setelah 40 – 50 menit berkurang 12 % dan 80 – 90 menit turun lagi menjadi 9 %. Sifat uptake paru yang demikian memungkinkan $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA dijadikan sebagai perunut untuk pemeriksaan paru-paru dengan metode inhalation scintigraphy menggunakan $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA fase aerosol (Agnew, 1991) pemeriksaan ini memerlukan waktu 1 jam.



Gambar 4.25. Presentase $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA Berbagai Organ

Untuk mengetahui uptake sumber dalam ginjal dan kandung kemih yang merepresentasikan fungsinya juga diobservasi. Pada penelitian organ yang diamati hanyalah ginjal dan kandung kemih, sehingga waktu tinggal sumber yang terlihat hanya pada kedua organ tersebut saja, hal ini disebabkan karena dalam pemeriksaan renografi hanya memperhatikan secara dinamik uptake radiofarmaka di kedua organ tersebut saja. Dari penelitian terlihat aktivitas kumulatif ginjal kanan pasien sehat (3500 – 6500 mCi.s) dibandingkan aktivitas kumulatif ginjal kiri (3000 – 6000 mCi.s), hal ini juga terjadi pada aktivitas kumulatif pasien sakit ginjal kanan (2000 – 5000 mCi.s) dan ginjal kiri (500 – 7000 mCi.s). Aktivitas kumulatif kandung kemih pasien sehat (4000 – 13000 mCi.s) lebih tinggi dibandingkan dengan pasien sakit (1000 – 7000mCi.s). Waktu retensi radiofarmaka pada penelitian ini dapat dibandingkan dengan ICRP 53 dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.9 Perbandingan waktu retensi hasil penelitian ini dengan ICRP 53 (1987)

Status Pasien	Organ	Waktu Retensi (menit)	ICRP 53 (1987)
Pasien Sehat	Ginjal Kiri	15 - 25	4,40 menit
	Ginjal Kanan	11 - 30	
	Kandung Kemih	10 - 50	5 menit
Pasien Sakit	Ginjal Kiri	2 - 30	6,80 menit
	Ginjal Kanan	5 - 25	
	Kandung Kemih	5 - 30	26,2 menit

Obyek pengamatan pada penelitian ini adalah pasien pemeriksaan renografi dan pasien tanpa indikasi penyakit ginjal. Sedangkan pada penelitian Bangladeshi [3] hanya dilakukan pada orang normal yang memiliki kriteria ginjal yang sehat, melalui prosedur diagnostik rutin untuk ginjal, melalui cek laboratorium (urea darah / ureum dan creatinine), cek USG (Ultrasonografi) untuk melihat ukuran dan fisiologis ginjal lainnya (M.N. Islam, 2011). Menurut penelitian (Udom, 2011), ukuran ginjal sangat berpengaruh dalam diagnosa penyakit ginjal kronik, ukuran ginjal kurang dari 9 cm menandakan penyakit ginjal, sehingga berdampak pada waktu retensi sumber dalam organ.

Dalam penentuan dosis internal atau dosis serap untuk masing – masing organ target bukan hanya dosis yang didapat dari organ target itu sendiri melainkan dosis yang berasal dari sumber lainnya, selain itu massa organ sumber juga termasuk dalam perhitungan. Dosis internal ginjal pasien sehat berada pada rentang 0,09 – 0,17 rad/mCi, sedangkan pada ginjal pasien sakit ginjal adalah 0,20 – 0,60 rad/mCi, hal ini menyatakan bahwa pada pasien sakit ginjal radiofarmaka terakumulasi dalam organ ginjal. Dosis internal kandung kemih pasien sehat berada pada rentang 0,03 – 0,15 rad/mCi dan dosis internal kandung kemih pasien sakit ginjal berada pada rentang 0,01 – 0,08 rad/mCi berdasarkan hal tersebut terlihat bahwa pada pasien sakit ginjal radiofarmaka masih terakumulasi di ginjal berbeda dengan pasien sehat, radiofarmaka sudah mulai memasuki kandung kemih.

Tabel 4.10. Perbandingan Dosis Internal dengan MIRD No.12, ICRP 53 dan Penelitian Bangladeshi [3]

Status Pasien	Organ	Estimasi Dosis Internal (rad/mCi)	MIRD No.12 (rad/mCi)	ICRP 53 (1987) rad/mCi	Bangladeshi, 2011 (rad/mCi)
Pasien Sehat	Ginjal Kiri	0,09 - 0,17	0,021	0,016	0,016
	Ginjal Kanan				
	Kandung Kemih	0,03 - 0,15	0,280	0,239	
Pasien Sakit	Ginjal Kiri	0,20 - 0,60		0,029	
	Ginjal Kanan				
	Kandung Kemih	0,01 - 0,08		0,081	

Pada penelitian yang dilakukan oleh M.N. Islam (2011), memperlihatkan dosis serap yang cukup jauh dibandingkan dengan penelitian ini, hal ini disebabkan karena pada penelitian M.N. Islam menggunakan plasma darah untuk dianalisa untuk mengetahui waktu retensi radiofarmaka di seluruh tubuh. DTPA tidak dapat bercampur dengan sel darah merah pada kondisi apapun, tidak masuk ke dalam sel karena tidak dapat larut dalam lemak dan bermuatan negatif dan studi ini dilakukan pada organ target pasien normal Bangladesh. Sedangkan pada MIRD No. 12 data kalkulasi dosis internal didapatkan dari fantom *Cristy & Eckerman*, penelitian ICRP-53 data dosis internal diambil dari percobaan pada hewan.

Untuk mengetahui apakah pasien renografi berkontribusi pada paparan bagi masyarakat luas, dosis permukaan setelah pasien menjalani prosedur pemeriksaan diobservasi. Pada penelitian ini terlihat bahwa dosis permukaan antara pasien sehat dan pasien sakit ginjal tidak terlihat perbedaan yang cukup jauh, dosis permukaan mengalami penurunan setelah 2 jam pemeriksaan, namun memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan persyaratan dosis permukaan yang ditetapkan BAPETEN, sehingga sebaiknya pasien renografi tidak berdekatan dengan anak kecil dan ibu hamil.

Tabel 4.11. Perbandingan Dosis Permukaan dengan persyaratan BSS[32] dan BAPETEN[39]

Status Pasien	Organ	Dosis Permukaan setelah 1 jam (mGy/jam)	Dosis Permukaan setelah 2 jam (mGy/jam)	BSS ($\mu\text{Gy}/\text{jam}$)	BAPETEN ($\mu\text{Gy}/\text{jam}$)
Pasien Sehat	Ginjal Kiri	1,0 - 1,3	0,50 - 0,60	0,116	0,116
	Ginjal Kanan	1,1 - 1,3	0,50 - 0,60		
	Kandung Kemih	1,0 - 1,5	0,55 - 0,85		
Pasien Sakit	Ginjal Kiri	1,0 - 1,4	0,50 - 0,70		
	Ginjal Kanan	0,9 - 1,5	0,40 - 0,70		
	Kandung Kemih	0,9 - 1,5	0,40 - 0,80		

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

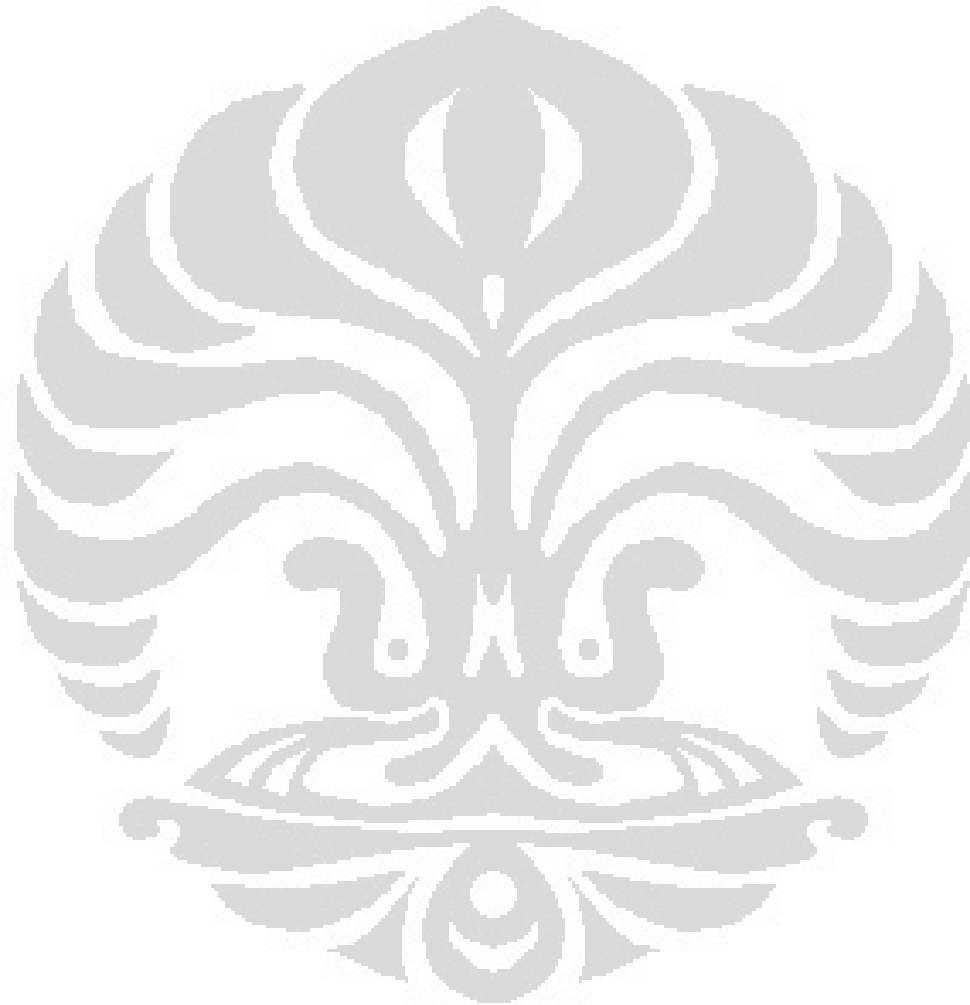
5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Biodistribusi $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA terdistribusi pertama kali ke jantung kemudian liver, paru-paru, ginjal, otak dan kandung kemih. Uptake maksimum umumnya terjadi pada 0 – 10 menit pada hampir semua organ kecuali kandung kemih.
2. Aktivitas radiofarmaka yang diberikan pada pemeriksaan renografi adalah sama berkisar 3 – 5 mCi, tetapi aktivitas akumulasi yang terdapat pada ginjal kanan memiliki kecenderungan yang lebih besar, baik pada pasien normal (3500 - 6500 mCi.s) maupun pasien sakit ginjal (2000 - 5000 mCi.s) sedangkan pada ginjal kiri pasien sehat (3000-6000 mCi.s) dan pasien sakit (500 – 7000 mCi.s).
3. Dosis internal pada organ ginjal pada pasien sehat (0,09 – 0,17 rad/mCi) lebih rendah dibandingkan pasien sakit ginjal (0,20 – 0,60 rad/mCi), sebaliknya pada dosis internal di kandung kemih pasien sehat lebih tinggi dosis internalnya (0,03 – 0,15 rad/mCi) dibandingkan pada pasien sakit ginjal (0,01 – 0,08 rad/mCi)
4. Dosis permukaan setelah 1 jam pemeriksaan renografi lebih besar dibandingkan pada setelah 2 jam dan mengalami penurunan sebesar 50%, hal ini sama terjadi, baik pada pasien normal maupun pasien sakit ginjal.

4.2. Saran

Berdasarkan hasil pengukuran dosis permukaan pasien pemeriksaan renografi memiliki nilai dosis permukaan yang lebih tinggi dibandingkan nilai batas dosis yang dipersyaratkan untuk masyarakat umum, disarankan pada pasien untuk membatasi jarak pada saat berinteraksi dengan anggota keluarga, terutama anak-anak dan ibu hamil.



DAFTAR PUSTAKA

- [1]. AAPM/RSNA Richard E Toohey, Michael G. Stabin, Evelyn E. Watson, *Physics Tutorial for Residents, Internal Radiation Dosimetry: Principles and Applications*, RSNA, 2000.
- [2]. Health Physic Society, Michael Stabin, Jeffrey A Siegel, *Physical Models and Dose Factor for Use in Internal Dose Assesment*, 2003
- [3]. Journal Nuclear Medicine, Alvaro A. Mejia et al, *Estimation of Absorbed Doses in Humans Due to Intravenous Administration of Fluorine-18-Fluorodeoxrglucose in PET Studies*, Japan, 1991.
- [4]. AAPM Report No.52, April 1995, *Quantitation of SPECT Performance*, the American Institute of Physics, New York, 1995.
- [5]. BATAN, Radioisotope Production Centre National Atomic Energy Agency, *MDP unit dose*, Serpong, Indonesia, 1999
- [6]. Herman Cember, *Introduction to Health Physics 2nd Edition*, Pergamon Press Inc, 1983.
- [7]. ICRP Publication No. 60, *1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, Pergamon Press, 1991.
- [8]. ICRP Publication No. 53, *Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals*, Pergamon Press, 1988.
- [9]. ICRP Publication No. 103, *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, 2008.
- [10]. IAEA Human Health Series No.6, *Quality Assurance for SPECT Systems*, IAEA Vienna, 2009.
- [11]. International Atomic Energy Agency. *International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, Safety Series No 115. Vienna, Austria. CR-ROM Edition. 2003.
- [12]. IAEA. *Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy*. Proceeding of An International conference Held in Malaga, Spain, 26-30 March 2001.

- [13]. MIRD Pamphlet No.11, W.S. Snyder, M.R. Ford, G.G. Warner and S.B. Watson, *S, Absorbed Dose per Unit Cumulated Activity for Selected Radionuclides and Organs*, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 1975.
- [14]. MIRD Pamphlet No.13, David A. Weber, P. Todd Makler, Jr, Evelyn E. Watson, Jack L Coffey, *Radiation Absorbed Dose from Technetium 99m Labelled Bone Imaging Agents*, , Newyork, 1989.
- [15]. MIRD Pamphlet No.5 Revised, W. Snyder, Mary R Ford, Gordon G Warner, *Estimates of Spesific Absorbed Fractions for Photon Sources Uniformly Distributed in Various Organs of A Heterogeneous Phantom*, Tenesse, 1978.
- [16]. Rasad S., Kartoleksono, S. dan Ekayuda , I., *Radiologi Diagnostik*, Balai Penerbit FKUI, Jakarta, 1996.
- [17]. Gennaro, A.R. *Remington: The Science and Practice of Pharmacy*, 19th Edition. Mack Publishing Company, Easton, Pennsylvania: 843-865, 1529-1530, 1995.
- [18]. Maisey, M.N., Bitton. K.E., dan Gilday, D.L., *Clinical Nuclear Medicine*, W.B. Saunders Company, Philadelphia, 1985.
- [19]. Rhodes, B.A. and Croft, B.Y., 1978, *Basic of Radiopharmacy*, The CV Mosby Company, Saint Louis.
- [20]. Sugiyono, *Statistika untuk Penelitian*, CV Alfabeta Bandung, 1999
- [21]. ICRP, *Summary of the current ICRP principles for Protection of the Patient in Nuclear Medicine*, Pergamon Press, 1993.
- [22]. Roger, Watson, Siegel etc, *The MIRD Perspective 1999*, Journal Nuclear Medicine 1999, 40:3S-10S,
- [23]. <http://www.nuclearonline.org/PI/BRACCO%20MDP%20doc.pdf>
- [24]. Patrick J. Peller, MD, Vincent B. Ho, MD, Mark J. Kransdorf, MD, *Extraosseous Tc-99m MDP Uptake : A Pathophysiologic Approach*, Radiographic, 1993.
- [25]. Peter Metcalfe, Tomas Kron and Peter Hoban, *The Physics of Radiotherapy X-Rays and Electrons*, Medical Physics Publishing, Vernon Blvd, 2007
- [26]. James E. Martin, *Physics for Radiation Protection*, second edition, Wiley-Vch Verlag GmbH & Co.KGaA, Weinheim, 2006.
- [27]. Alexander Gottschalk, Paul B. Hoffer, E. James Pothcen, *Diagnostic Nuclear Medicine*, volume 1, Williams & Wilkins, 1979.

- [28]. ICRP Publication 30, *Limits for Intakes of Radionuclide by Workers*, Pergamon , Oxford, 1979.
- [29]. Harold Elford Johns, John Robert Cunningham, *The Physics of Radiology*, Fourth Edition, Charles C Thomas Publisher, Springfield Illionis, 1983.
- [30]. James G. Kereiakes, *Biophysical Aspect: Medical Use of Technetium – 99m*, American Association of Physicists in Medicine by the American Institute of Physics, American Institute of Physics Inc, New York, 1992.
- [31]. Braco Diagnostic, Nycomed Amersham, Princeton, 1999.
- [32]. Guyton, A.C, *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran (Text Book Of Medical Physiology)*, Edisi tujuh, Bagian II, pp.59-61, Penerbit Buku Kedokteran, Jakarta, 1984.
- [33]. Izotop, *Summary of Product Characteristic*, translated by the manufacturer based on the original Hungarian document, authorized by the Hungarian National Institute of Pharmacy on 17.12.2009.
- [34]. Dendy, Heaton, *Physics For Diagnostic Radiology*, 2nd Edition, Institute of Physics and Engineering in Medicine.
- [35]. BATAN, Radioisotop Production Centre National Atomic Energy Agency, *DTPA unit dose*, Serpong, Indonesia 1999.
- [36]. AAPM no.18, Donald Frey dkk, *Expanding the Role of Medical Physics in Nuclear Medicine*, American Institute of Physics, Inc, New York, 1991.

GLOSSARIUM

AP (Anterior Posterior)

CCF (Country Rate Conversion Factor)

DTPA (Diethylene Triamine Penta Acetic Acid)

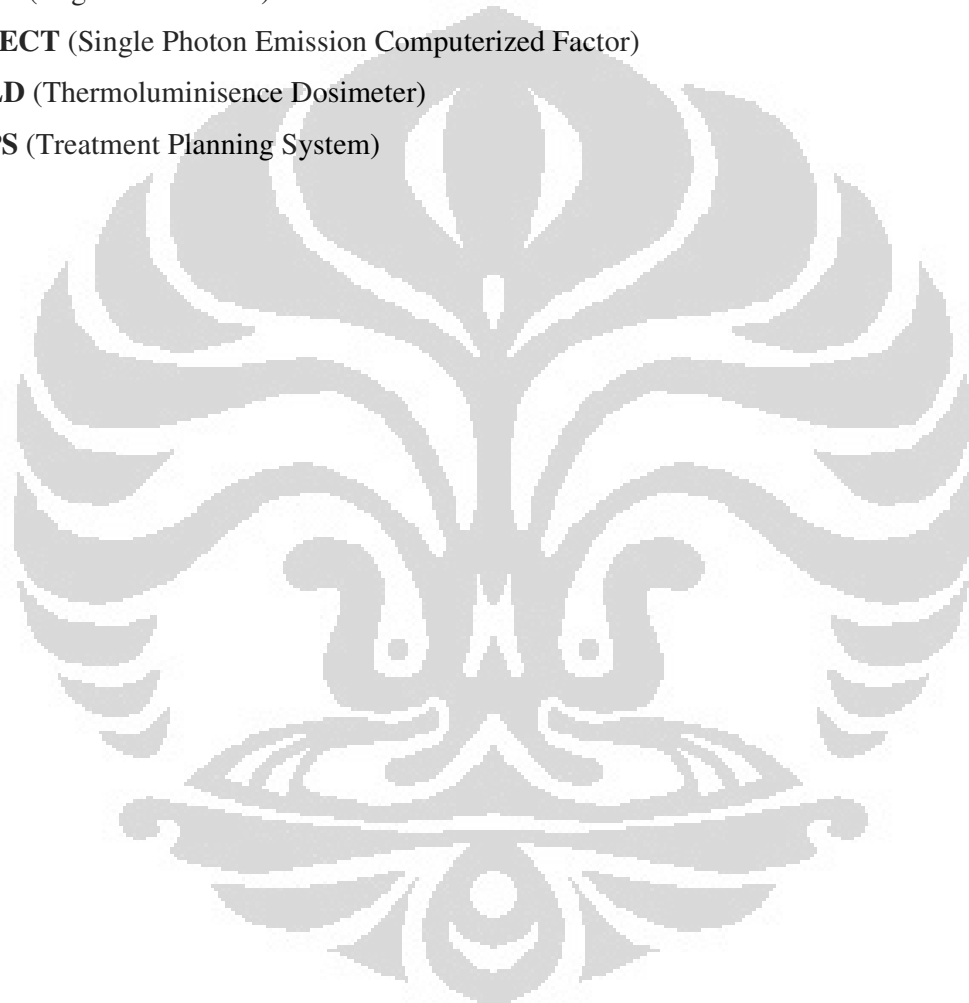
GFR (Glomerulus Filtration Rate)

ROI (Region of interest)

SPECT (Single Photon Emission Computerized Factor)

TLD (Thermoluminescence Dosimeter)

TPS (Treatment Planning System)



Lampiran 1 : Hasil Observasi CT Scan

Tabel 1.1. Kedalaman Otak AP dan PA

No. Pasien	Sagital (cm)		Axial (cm)		Sagital + Axial (cm)	
	AP	PA	AP	PA	AP	PA
1	0,83	0,79	1,26	0,83	1,04	0,81
2	2,35	0,73	0,91	0,97	1,63	0,85
3	1,60	0,76	1,63	0,92	1,61	0,84
4	0,60	0,63	0,80	0,68	0,70	0,66
5	0,96	0,78	1,43	0,86	1,20	0,82
6	0,90	0,77	2,13	1,32	1,51	1,04
7	0,74	0,80	4,28	0,75	2,51	0,78
8	0,87	0,87	0,81	0,53	0,84	0,70
9	1,53	0,64	1,07	0,90	1,30	0,77
10	0,65	0,53	0,95	0,92	0,80	0,73
11	0,90	0,77	1,16	1,05	1,03	0,91
12	1,02	0,69	2,05	2,06	1,53	1,38
13	0,85	0,66	1,30	1,13	1,07	0,90
14	1,07	0,98	1,33	0,78	1,20	0,88
15	1,37	1,08	1,81	2,00	1,59	1,54
16	0,89	0,80	1,58	1,32	1,24	1,06
17	1,44	0,98	0,72	0,55	1,08	0,77
18	1,15	1,02	1,17	0,66	1,16	0,84
19	1,29	1,26	1,31	0,72	1,30	0,99
Rata-rata					1,28	0,91
Standar deviasi					± 0,40	± 0,22

(Lanjutan)

Tabel 1.2. Kedalaman Jantung AP dan PA

No. Pasien	Sagital (cm)		Axial (cm)		Sagital + Axial (cm)	
	AP	PA	AP	PA	AP	PA
1	2,55	6,80	2,37	7,63	2,46	7,21
2	2,91	6,48	2,39	7,08	2,65	6,78
3	4,07	8,20	3,85	7,64	3,96	7,92
4	3,28	8,44	2,82	8,68	3,05	8,56
5	2,57	7,81	2,97	7,62	2,77	7,72
6	3,11	6,93	3,20	6,41	3,16	6,67
7	3,47	10,76	2,75	9,90	3,11	10,33
8	3,07	9,13	2,34	9,06	2,71	9,09
9	4,01	7,78	2,83	7,98	3,42	7,88
10	3,06	7,14	2,28	6,98	2,67	7,06
11	2,38	8,84	2,15	8,08	2,26	8,46
12	1,70	6,28	2,52	7,17	2,11	6,73
13	3,91	9,04	4,37	8,81	4,14	8,93
14	4,12	8,46	3,60	8,33	3,86	8,39
15	4,13	9,68	2,53	7,59	3,33	8,64
16	3,65	8,36	2,79	8,43	3,22	8,40
17	4,23	7,68	3,33	8,02	3,78	7,85
18	3,98	7,66	3,95	7,59	3,97	7,62
19	2,53	8,85	2,78	8,96	2,65	8,91
Rata-rata					3,12	8,06
Standar deviasi					± 0,61	± 0,95

(Lanjutan)

Tabel 1.3. Kedalaman Paru-paru AP dan PA

No. Pasien	Sagital (cm)		Axial (cm)		Sagital + Axial (cm)	
	AP	PA	AP	PA	AP	PA
1	2,63	2,70	2,52	2,75	2,57	2,72
2	2,51	2,78	2,36	2,31	2,44	2,54
3	2,68	3,28	2,54	2,82	2,61	3,05
4	1,38	2,94	1,17	2,17	1,27	2,56
5	2,92	5,13	2,61	2,47	2,76	3,80
6	2,99	2,39	3,13	2,38	3,06	2,39
7	2,95	4,34	3,33	3,43	3,14	3,88
8	1,34	2,99	1,66	2,34	1,50	2,67
9	3,53	3,28	3,66	3,41	3,59	3,35
10	2,61	3,17	2,67	2,35	2,64	2,76
11	2,01	2,97	2,21	2,52	2,11	2,75
12	1,44	2,12	1,60	2,37	1,52	2,24
13	1,57	4,09	3,29	4,45	2,43	4,27
14	2,77	2,56	1,91	3,11	2,34	2,83
15	3,56	2,96	2,31	2,45	2,93	2,70
16	3,30	3,53	3,17	3,46	3,23	3,50
17	2,95	2,56	2,82	1,79	2,88	2,18
18	2,02	3,62	2,77	2,84	2,40	3,23
19	2,13	3,20	3,95	3,02	3,04	3,11
Rata-rata					2,55	2,98
Standar deviasi					± 0,61	± 0,57

(Lanjutan)

Tabel 1.4. Kedalaman Liver AP dan PA

No. Pasien	Sagital (cm)		Axial (cm)		Sagital + Axial (cm)	
	AP	PA	AP	PA	AP	PA
1	2,09	2,63	2,37	2,67	2,23	2,65
2	1,72	3,04	1,98	1,90	1,85	2,47
3	3,67	5,54	3,26	3,48	3,46	4,51
4	3,15	8,51	2,99	2,19	3,07	5,35
5	2,03	3,83	2,01	2,31	2,02	3,07
6	3,47	4,69	3,73	3,63	3,60	4,16
7	1,97	2,83	2,87	2,94	2,42	2,89
8	3,89	7,66	4,24	2,91	4,07	5,29
9	2,83	5,10	2,98	1,96	2,91	3,53
10	2,97	2,85	3,04	3,63	3,01	3,24
11	1,44	2,97	2,06	0,92	1,75	1,94
12	3,04	5,30	3,54	5,44	3,29	5,37
13	2,98	5,67	2,33	1,34	2,65	3,51
14	2,18	9,65	1,87	1,46	2,02	5,55
15	3,30	3,06	2,56	3,39	2,93	3,23
16	3,46	4,74	3,16	2,56	3,31	3,65
17	3,54	4,72	3,54	4,61	3,54	4,67
18	2,67	4,06	3,10	3,10	2,88	3,58
19	3,08	5,03	2,40	4,25	2,74	4,64
20	2,30	3,33	2,29	2,84	2,29	3,09
Rata-rata					2,80	3,82
Standar deviasi					± 0,64	± 1,06

(Lanjutan)

Tabel 1.5. Kedalaman Ginjal AP dan PA

No. Pasien	Sagital (cm)		Axial (cm)		Sagital + Axial (cm)	
	AP	PA	AP	PA	AP	PA
1	10,03	4,20	10,31	3,74	10,17	3,97
2	11,24	3,94	9,76	3,06	10,50	3,50
3	11,80	5,55	12,84	5,49	12,32	5,52
4	12,67	3,15	12,68	3,47	12,68	3,31
5	10,21	3,40	10,48	3,41	10,34	3,41
6	10,32	3,40	10,51	3,14	10,41	3,27
7	12,31	4,07	11,79	3,85	12,05	3,96
8	10,44	1,95	8,54	1,83	9,49	1,89
9	12,79	4,90	11,90	4,87	12,35	4,88
10	13,56	5,82	14,00	5,02	13,78	5,42
11	11,07	4,96	11,29	4,97	11,18	4,97
12	11,07	4,96	11,29	4,97	11,18	4,96
13	11,40	4,87	10,32	4,69	10,86	4,78
14	11,89	4,13	12,45	3,77	12,17	3,95
15	11,58	3,76	11,19	4,52	11,39	4,14
16	11,92	2,65	5,76	3,26	8,84	2,96
17	9,77	4,25	10,01	5,75	9,89	5,00
18	10,27	3,32	8,47	3,05	9,37	3,19
19	10,71	3,17	10,54	2,80	10,62	2,99
Rata-rata					11,03	4,00
Standar deviasi					± 1,28	± 0,98

(Lanjutan)

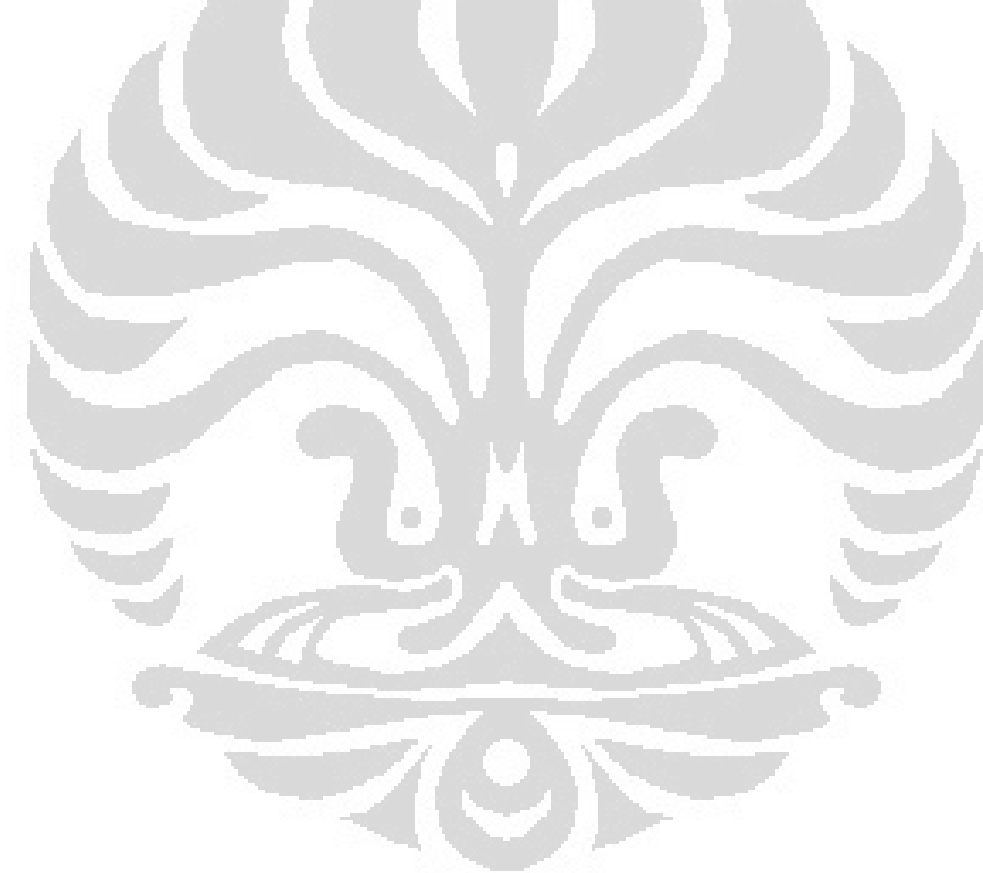
Tabel 1.6. Kedalaman Kandung Kemih AP dan PA

No. Pasien	Sagital (cm)		Axial (cm)		Sagital + Axial (cm)	
	AP	PA	AP	PA	AP	PA
1	2,27	7,17	2,38	7,53	2,33	7,35
2	5,85	9,57	5,89	9,37	5,87	9,47
3	3,01	6,62	3,02	7,11	3,02	6,87
4	4,13	8,16	3,96	10,92	4,05	9,54
5	3,37	7,55	3,01	7,75	3,19	7,65
6	4,91	6,74	4,02	6,17	4,47	6,46
7	3,04	7,53	3,13	7,74	3,09	7,64
8	3,46	8,04	3,50	8,72	3,48	8,38
9	3,67	9,96	3,37	10,59	3,52	10,28
10	5,93	7,68	5,47	8,57	5,70	8,12
11	4,06	9,70	3,60	11,27	3,83	10,48
12	5,76	9,76	5,63	9,94	5,70	9,85
13	4,56	10,54	4,55	10,75	4,55	10,64
14	4,42	9,22	4,78	10,21	4,60	9,71
15	3,69	8,26	4,05	8,03	3,87	8,14
16	5,13	7,70	4,35	7,35	4,74	7,52
17	3,50	7,01	4,19	7,81	3,85	7,41
18	5,16	10,15	4,86	10,28	5,01	10,21
19	4,60	8,16	4,41	7,49	4,51	7,82
Rata-rata					4,18	8,61
Standar deviasi					± 0,98	± 1,34

(Lanjutan)

Tabel 1. 7 Kedalaman Organ dari Antero Posterior (AP) dan Posterior Anterior (PA)

Organ	Kedalaman Organ (cm)	
	AP	PA
Otak	1,28 ± 0,40	0,91 ± 0,22
Jantung	3,12 ± 0,61	8,06 ± 0,95
Paru-paru	2,55 ± 0,61	2,98 ± 0,57
Liver	2,80 ± 0,64	3,82 ± 1,06
Ginjal	11,03 ± 1,28	4,00 ± 0,98
Kandung Kemih	4,18 ± 0,98	8,61 ± 1,34



Lampiran 2 : Hasil Pengukuran Faktor Konversi Laju Cacah menjadi Aktivitas

Tabel 2.1. Data Hasil ROI Kalibrasi Organ Otak

Aktivitas	I		II		III	
	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior
1 mCi (1,10 mCi)	927000	625000	921000	621000	917000	616000
2 mCi (2,07 mCi)	1740000	1170000	1730000	1160000	1720000	1160000
3 mCi (3,18 mCi)	2650000	1790000	2630000	1780000	2610000	1760000
4 mCi (4,07 mCi)	3390000	2310000	3370000	2300000	3340000	2280000
5 mCi (5,17 mCi)	4260000	2930000	4240000	2910000	4210000	2890000

Tabel 2.2. Data Hasil ROI Kalibrasi Organ Jantung

Aktivitas	I		II		III	
	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior
1 mCi (1,15 mCi)	549000	337000	516000	317000	506000	311000
2 mCi (2,05 mCi)	915000	531000	908000	530000	902000	528000
3 mCi (3,18 mCi)	1360000	784000	1350000	778000	1340000	774000
4 mCi (4,10 mCi)	1750000	979000	1730000	978000	1730000	970000
5 mCi (5,13 mCi)	2900000	1210000	2080000	1200000	2070000	1190000

Tabel 2.3. Data Hasil ROI Kalibrasi Organ Paru-paru

Aktivitas	I		II		III	
	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior
1 mCi (1,07 mCi)	661000	568000	658000	564000	654000	560000
2 mCi (2,17 mCi)	1370000	1160000	1350000	1160000	1350000	1150000
3 mCi (3,15 mCi)	2030000	1740000	2010000	1720000	2000000	1710000
4 mCi (4,17 mCi)	2600000	2230000	2590000	2220000	2560000	2200000
5 mCi (5,19 mCi)	3230000	2770000	3210000	2750000	3190000	2730000

(Lanjutan)

Tabel 2.4. Data Hasil ROI Kalibrasi Organ Liver

Aktivitas	I		II		III	
	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior
1 mCi (1,28 mCi)	637000	549000	630000	547000	627000	543000
2 mCi (2,14 mCi)	1230000	1070000	1220000	1060000	1210000	1060000
3 mCi (3,11 mCi)	1790000	1570000	1780000	1560000	1770000	1550000
4 mCi (4,16 mCi)	2430000	2130000	2420000	2110000	2400000	2100000
5 mCi (5,14 mCi)	2930000	2570000	2920000	2560000	2500000	2540000

Tabel 2.5. Data Hasil ROI Kalibrasi Organ Ginjal

Aktivitas	I		II		III	
	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior
1 mCi (1,15 mCi)	337000	549000	317000	516000	311000	506000
2 mCi (2,05 mCi)	531000	915000	530000	908000	528000	902000
3 mCi (3,18 mCi)	784000	1360000	778000	1350000	774000	1340000
4 mCi (4,10 mCi)	979000	1750000	978000	1730000	970000	1730000
5 mCi (95,13 mCi)	1210000	2090000	1200000	2080000	1190000	2070000

Tabel 2.6. Data Hasil ROI Kalibrasi Organ Kandung Kemih

Aktivitas	I		II		III	
	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior	Anterior	Posterior
1 mCi (1,10 mCi)	619000	297000	615000	294000	612000	293000
2 mCi (2,13 mCi)	1110000	505000	1100000	503000	1100000	501000
3 mCi (3,16 mCi)	1600000	713000	1590000	712000	1580000	707000
4 mCi (4,07 mCi)	2020000	903000	2010000	897000	1990000	891000
5 mCi (5,12 mCi)	2520000	1120000	2500000	1110000	2480000	1100000

(Lanjutan)

Tabel 2.7. Hasil Pengukuran Aktivitas Sumber $^{99}\text{Tc}^m$ dengan Fantom Simulasi Organ Otak

Nama Organ	Aktivitas (mCi)			Mean	Count Rate AP (cps) x 10^4			Mean (x 10^4)	Count Rate PA (cps) x 10^4			Mean (x 10^4)	Fk= mCi/cps x 10^{-4}	
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		AP	PA
	Otak	1,10	1,08	1,06	1,08	0,52	0,51	0,51	0,51	0,35	0,35	0,34	0,35	2,11
2,07		2,06	2,05	2,06	0,97	0,96	0,96	0,96	0,65	0,64	0,64	0,65	2,14	3,19
3,18		3,15	3,12	3,15	1,47	1,46	1,45	1,46	0,99	0,99	0,98	0,99	2,16	3,19
4,07		4,06	4,05	4,06	1,88	1,87	1,86	1,87	1,28	1,28	1,27	1,28	2,17	3,18
5,17		5,14	5,11	5,14	2,37	2,36	2,34	2,35	1,63	1,62	1,61	1,62	2,18	3,18
												Mean	2,15	3,17
												SD	0,03	0,02

Keterangan :

Nilai counting didapat setelah dilakukan counting (t) selama 3 menit = 180 detik;

$$\text{Count Rate} = \frac{(\text{counts} - \text{background})}{t}$$

(Lanjutan)

Tabel 2.8. Hasil Pengukuran Aktivitas Sumber $^{99}\text{Tc}^m$ dengan Fantom Simulasi Organ Jantung

Nama Organ	Aktivitas (mCi)			Mean	Count Rate AP (cps) x 10^3			Mean ($\times 10^3$)	Count Rate PA (cps)x 10^3			Mean ($\times 10^3$)	Fk = mCi/cps x 10^{-4}	
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		AP	PA
Jantung	1,05	1,04	1,03	1,04	3,05	2,87	2,81	2,91	1,87	1,76	1,73	1,79	3,57	5,82
	2,08	2,06	2,04	2,06	5,08	5,04	5,01	5,05	2,95	2,94	2,93	2,94	4,08	7,00
	3,09	3,00	2,10	2,73	7,56	7,50	7,44	7,50	4,36	4,32	4,30	4,33	3,64	6,31
	4,03	4,00	3,70	3,91	9,72	9,61	9,61	9,65	5,44	5,43	5,39	5,42	4,05	7,21
	5,15	5,10	5,05	5,10	16,1	11,6	11,5	13,1	6,72	6,67	6,61	6,67	3,91	7,65
												Mean	3,85	6,80
												SD	0,23	0,73

(Lanjutan)

Tabel 2.9. Hasil Pengukuran Aktivitas Sumber $^{99}\text{Tc}^m$ dengan Fantom Simulasi Organ Paru-paru

Nama Organ	Aktivitas (mCi)			Mean	Count Rate AP (cps) $\times 10^4$			Mean	Count Rate PA (cps) $\times 10^3$			Mean ($\times 10^3$)	Fk = mCi/cps ($\times 10^{-4}$)	
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		AP	PA
	Paru-paru	1,07	1,05	1,02	1,05	0,37	0,37	0,36	0,365	3,16	3,13	3,11	3,13	2,86
2,17		2,16	2,15	2,16	0,76	0,75	0,75	0,754	6,44	6,44	6,39	6,43	2,87	3,36
3,15		3,15	3,15	3,15	1,13	1,12	1,11	1,12	9,67	9,56	9,50	9,57	2,82	3,29
4,17		4,16	4,15	4,16	1,44	1,44	1,42	1,44	12,4	12,3	12,2	12,3	2,90	3,38
5,19		5,17	5,15	5,17	1,79	1,78	1,77	1,78	15,4	15,3	15,2	15,3	2,90	3,38
												Mean	2,87	3,35
												SD	0,03	0,04

(Lanjutan)

Tabel 2.10. Hasil Pengukuran Aktivitas Sumber $^{99}\text{Tc}^m$ dengan Fantom Simulasi Organ Liver

Nama Organ	Aktivitas (mCi)			Mean	Count Rate AP (cps) x 10^3			Mean ($\times 10^3$)	Count Rate PA (cps) x 10^3			Mean ($\times 10^3$)	Fk = mCi/cps x 10^{-4}	
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		AP	PA
Liver	1,13	1,10	1,08	1,10	3,54	3,50	3,48	3,51	3,05	3,04	3,02	3,04	3,14	3,66
	2,14	2,12	2,10	2,12	6,83	6,78	6,72	6,78	5,94	5,89	5,89	5,91	3,13	3,59
	3,11	3,10	3,09	3,10	9,94	9,89	9,83	9,89	8,72	8,67	8,61	8,67	3,13	3,58
	4,16	4,15	4,14	4,15	13,5	13,4	13,3	13,4	11,8	11,7	11,7	11,7	3,09	3,53
	5,14	5,12	5,10	5,12	16,3	16,2	14,2	15,6	14,3	14,2	14,1	14,2	3,29	3,60
												Mean	3,16	3,59
												SD	0,08	0,04

(Lanjutan)

Tabel 2.11. Hasil Pengukuran Aktivitas Sumber $^{99}\text{Tc}^m$ dengan Fantom Simulasi Organ Ginjal

Nama Organ	Aktivitas (mCi)			Mean	Count Rate AP (cps)x10 ³			Mean (x10 ³)	Count Rate PA (cps) x 10 ³			Mean (x10 ³)	FK = mCi/cps (x10 ⁻⁴)	
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		AP	PA
	Ginjal	1,15	1,12	1,10	1,12	1,87	1,76	1,73	1,79	3,05	2,87	2,81	2,91	6,29
2,05		2,00	1,90	1,98	2,95	2,94	2,93	2,94	5,08	5,04	5,01	5,05	6,74	3,93
3,18		3,14	3,10	3,14	4,36	4,32	4,30	4,33	7,56	7,50	7,44	7,50	7,26	4,19
4,10		4,08	4,05	4,08	5,44	5,43	5,39	5,42	9,72	9,61	9,61	9,65	7,52	4,23
5,13		5,10	5,08	5,10	6,72	6,67	6,61	6,67	11,6	11,6	11,5	11,6	7,66	4,42
												Mean	7,09	4,12
												SD	0,57	0,23

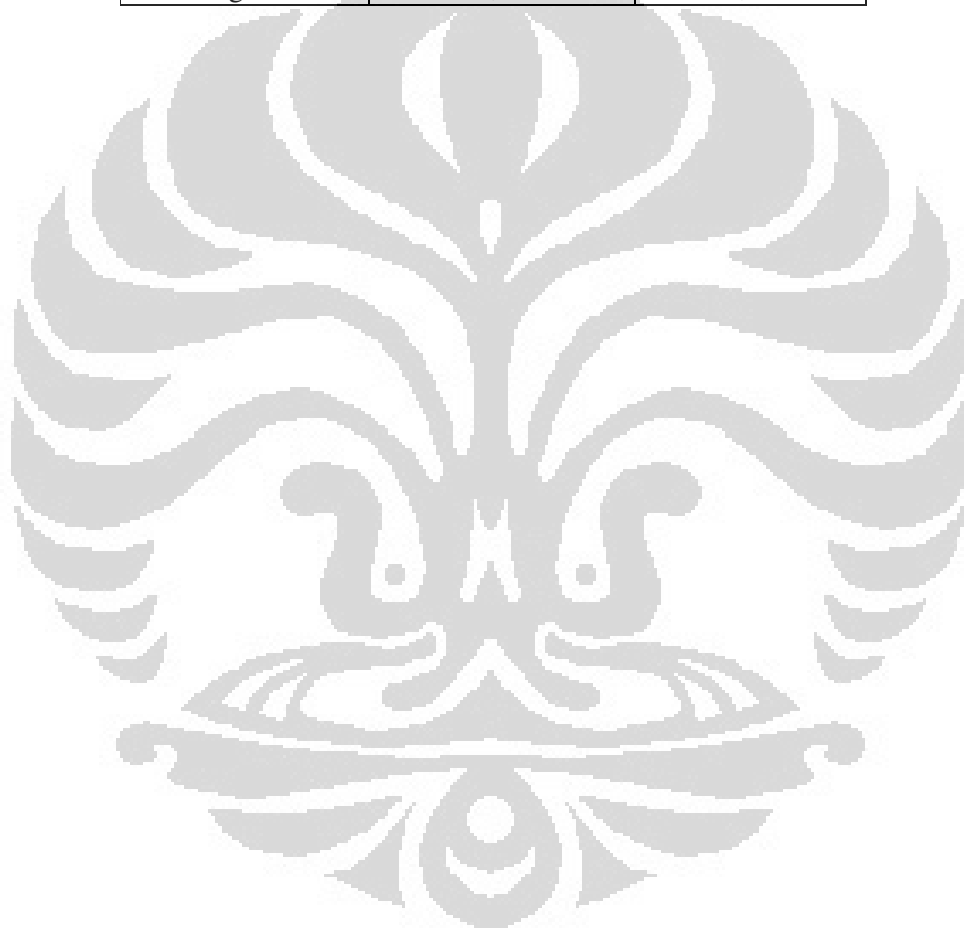
(Lanjutan)

Tabel 2.12. Hasil Pengukuran Aktivitas Sumber $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ dengan Fantom Simulasi Organ Kandung Kemih

Nama Organ	Aktivitas (mCi)			Mean	Count Rate AP (cps) x 10^3			Mean ($\times 10^3$)	Count Rate PA (cps) x 10^3			Mean ($\times 10^3$)	FK = mCi/cps x 10^{-4}	
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		AP	PA
Kandung Kemih	1,10	1,09	1,08	1,09	3,44	3,42	3,40	3,42	1,65	1,63	1,63	1,64	3,19	6,66
	2,13	2,11	2,09	2,11	6,17	6,11	6,11	6,13	2,81	2,79	2,78	2,79	3,44	7,55
	3,16	3,15	3,14	3,15	8,89	8,83	8,78	8,83	3,96	3,96	3,93	3,95	3,57	7,98
	4,07	4,05	4,03	4,05	11,2	11,2	11,1	11,1	5,02	4,98	4,95	4,98	3,63	8,13
	5,12	5,10	5,09	5,10	14,0	13,9	13,8	13,9	6,22	6,17	6,11	6,17	3,67	8,28
												Mean	3,50	7,72
												SD	0,19	0,65

Tabel 2.13. Faktor konversi Laju Cacah menjadi Satuan Aktivitas

Organ	Faktor Konversi (mCi/cps) x 10 ⁻⁴	
	AP	PA
Otak	2,15	3,17
Jantung	3,85	6,80
Paru-paru	2,87	3,35
Liver	3,16	3,59
Ginjal	7,09	4,12
Kandung Kemih	3,50	7,72



Lampiran 3 : Data dan Perhitungan Biodistribusi

Tabel 3.1. Aktivitas $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA (Diethylene Triamine Pentacetic Acid) untuk Pasien Laki-laki Sehat

No. Pasien	Usia (tahun)	Aktivitas Tc-99m persiapan (mCi)	Aktivitas Tc-99m sisa dalam syringe (mCi)	Aktivitas Tc-99m masuk ke dalam tubuh (mCi)
1	23	4,13	0,424	3,71
2	27	4,40	0,452	3,95
3	18	4,40	0,458	3,94
4	27	4,09	0,205	3,89
5	26	4,32	0,354	3,97
6	20	4,36	0,404	3,96
7	17	4,13	0,253	3,88
8	23	4,20	0,078	4,12
9	21	4,30	0,220	4,08
10	23	3,62	0,125	3,50

Keterangan :

$$A = \sqrt{(I_{AP} \times CCF_{AP})(I_{PA} \times CCF_{PA})}$$

Activity Percentage: $\%A = A_t / A_0$

Tabel 3.2. Data Hasil ROI Biodistribusi Pasien Laki-laki Sehat untuk Organ Otak

Pasien	Waktu (menit)			Waktu (menit)			Waktu (menit)			Waktu (menit)		
	0-10			40-50			80-90			120-130		
	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)
1	19125	14754	0,024	10599	7960	0,013	6978	5166	0,009	4.719,00	3671	0,006
2	19225	15815	0,025	10823	7616	0,013	5838	4512	0,007	4.200,00	3290	0,005
3	27092	20892	0,035	14888	11254	0,019	7928	6121	0,010	5.856,00	4313	0,007
4	19885	15356	0,025	11433	7690	0,014	7287	5590	0,009	5.086,00	3718	0,006
5	34579	26141	0,044	15526	11321	0,019	10292	7460	0,013	6.781,00	4937	0,008
6	36405	26216	0,045	18919	13425	0,023	7882	9502	0,013	7.837,00	5834	0,010
7	25163	18876	0,032	13179	9708	0,016	7223	5200	0,009	4.706,00	3467	0,006
8	30502	25516	0,041	13071	11224	0,018	9513	8373	0,013	5.820,00	5084	0,008
9	28196	21694	0,036	11210	8391	0,014	8432	6429	0,011	5.843,00	3986	0,007
10	28570	21368	0,036	13659	9397	0,016	8572	6017	0,010	7.547,00	4702	0,009

Tabel 3.2.1. Data Aktivitas Tiap Pasien pada Waktu Tertentu Organ Otak

Waktu (menit)	Pasien 1	Pasien 2	Pasien 3	Pasien 4	Pasien 5	Pasien 6	Pasien 7	Pasien 8	Pasien 9	Pasien 10	Rata-rata	SD
0-10	0,024	0,025	0,035	0,025	0,044	0,045	0,032	0,041	0,036	0,036	0,034	0,01
40-50	0,013	0,013	0,019	0,014	0,019	0,023	0,016	0,018	0,014	0,016	0,017	0,00
80-90	0,009	0,007	0,010	0,009	0,013	0,013	0,009	0,013	0,011	0,010	0,010	0,00
120-130	0,006	0,005	0,007	0,006	0,008	0,010	0,006	0,008	0,007	0,009	0,007	0,00

Keterangan : CCF Otak AP = $2,15 \times 10^{-4}$ mCi/cps; CCF Otak PA = $3,17 \times 10^{-4}$ mCi/cps; Data Aktivitas Background = 0,312 mCi

(Lanjutan)

Tabel 3.2.2. Presentase Aktivitas $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA di organ otak

Pasien	Presentase Aktivitas (interval time)			
	0-10 (menit)	40-50 (menit)	80-90 (menit)	120-130 (menit)
1	0,007	0,004	0,003	0,002
2	0,007	0,004	0,002	0,001
3	0,010	0,005	0,003	0,002
4	0,007	0,004	0,003	0,002
5	0,012	0,005	0,003	0,002
6	0,012	0,006	0,003	0,003
7	0,009	0,005	0,002	0,002
8	0,011	0,005	0,003	0,002
9	0,010	0,004	0,003	0,002
10	0,011	0,005	0,003	0,003
Rata-rata	0,010 ±	0,005 ±	0,003 ±	0,002 ±
SD	0,002	0,001	0,000	0,000

Tabel 3.3. Data Hasil ROI Biodistribusi Pasien Laki-laki Sehat untuk Organ Jantung

Pasien	Waktu (menit)			Waktu (menit)			Waktu (menit)			Waktu (menit)		
	0-10			40-50			80-90			120-130		
	AP	PA	A(mCi)	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)
1	209148	106427	0,424	54411	37502	0,128	31611	22046	0,075	23158	16913	0,056
2	277176	146033	0,572	55970	36886	0,129	32505	23533	0,079	24575	17551	0,059
3	229149	125114	0,481	66691	43959	0,154	38510	26345	0,091	38519	17076	0,073
4	297237	160767	0,621	76770	51231	0,178	36113	36616	0,103	22907	24004	0,067
5	263204	123704	0,513	46975	37665	0,120	29606	26126	0,079	20626	18452	0,055
6	225899	119182	0,466	59949	43211	0,145	40874	30840	0,101	25309	23698	0,070
7	202745	96187	0,397	46484	32321	0,110	25290	19243	0,063	15727	13511	0,041
8	301211	167994	0,639	61487	45046	0,150	45234	35656	0,114	26730	23292	0,071
9	237671	126378	0,493	49020	36395	0,120	38341	29446	0,096	22332	18269	0,057
10	223638	119007	0,464	50740	37287	0,124	32056	25853	0,082	23986	20723	0,063

Tabel 3.3.1. Data Aktivitas Tiap Pasien pada Waktu Tertentu Organ Jantung

Waktu	Pasien 1	Pasien 2	Pasien 3	Pasien 4	Pasien 5	Pasien 6	Pasien 7	Pasien 8	Pasien 9	Pasien 10	Rata-Rata	SD
0-10	0,424	0,572	0,481	0,621	0,513	0,466	0,397	0,639	0,493	0,464	0,507	0,08
40-50	0,128	0,129	0,154	0,178	0,120	0,145	0,110	0,150	0,120	0,124	0,136	0,02
80-90	0,075	0,079	0,091	0,103	0,079	0,101	0,063	0,114	0,096	0,082	0,088	0,02
120-130	0,056	0,059	0,073	0,067	0,055	0,070	0,041	0,071	0,057	0,063	0,061	0,01

Keterangan : CCF Jantung AP = $3,85 \times 10^{-4}$ mCi/cps; CCF Jantung PA = $6,80 \times 10^{-4}$ mCi/cps; Data Aktivitas Background = 0,312 mCi

Tabel 3.3.2. Presentase Aktivitas $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA di organ jantung

Pasien	Presentase Aktivitas (interval time)			
	0-10 (menit)	40-50 (menit)	80-90 (menit)	120-130 (menit)
1	0,125	0,038	0,022	0,017
2	0,156	0,035	0,021	0,016
3	0,133	0,042	0,025	0,020
4	0,174	0,050	0,029	0,019
5	0,140	0,033	0,022	0,015
6	0,128	0,040	0,028	0,019
7	0,119	0,031	0,018	0,012
8	0,104	0,039	0,030	0,019
9	0,170	0,032	0,025	0,015
10	0,155	0,039	0,026	0,020
Rata-rata	0,140	0,038	0,025	0,017
	±	±	±	±
SD	0,023	0,006	0,004	0,003

(Lanjutan)

Tabel 3.4. Data Hasil ROI Biodistribusi Pasien Laki-laki Sehat untuk Organ Paru-paru

Pasien	Waktu (menit)			Waktu (menit)			Waktu (menit)			Waktu (menit)		
	0-10			40-50			80-90			120-130		
	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)
1	199581	84657	0,224	40547	31499	0,062	24569	19512	0,038	18967	15627	0,030
2	257200	124716	0,308	41608	34478	0,065	23898	19235	0,037	18285	15537	0,029
3	192528	114581	0,256	44826	38728	0,072	26889	23100	0,043	24812	16105	0,034
4	199046	103978	0,248	49510	45482	0,082	35630	32135	0,058	15764	21820	0,032
5	225968	97780	0,256	31080	33120	0,055	20928	22355	0,037	14160	15904	0,026
6	182573	124121	0,259	39680	39108	0,068	28350	30347	0,051	16030	15145	0,027
7	188301	109255	0,247	37409	38003	0,065	19638	19472	0,034	11656	12599	0,021
8	190029	94118	0,230	31650	29211	0,052	23749	22338	0,040	15488	14813	0,026
9	170582	91717	0,215	33980	29081	0,054	24397	22209	0,040	14603	14342	0,025
10	153424	87942	0,200	27694	27765	0,048	17697	17213	0,030	14568	14475	0,025

Tabel 3.4.1. Data Aktivitas Tiap Pasien pada Waktu Tertentu Organ Paru-paru

Waktu	Pasien 1	Pasien 2	Pasien 3	Pasien 4	Pasien 5	Pasien 6	Pasien 7	Pasien 8	Pasien 9	Pasien 10	Rata- rata	SD
0-10	0,224	0,308	0,256	0,248	0,256	0,259	0,247	0,230	0,215	0,200	0,244	0,03
40-50	0,062	0,065	0,072	0,082	0,055	0,068	0,065	0,052	0,054	0,048	0,062	0,01
80-90	0,038	0,037	0,043	0,058	0,037	0,051	0,034	0,040	0,040	0,030	0,041	0,01
120-130	0,030	0,029	0,034	0,032	0,026	0,027	0,021	0,026	0,025	0,025	0,027	0,00

Keterangan : CCF Paru-paru AP = $2,87 \times 10^{-4}$ mCi/cps; CCF Paru-paru PA = $3,35 \times 10^{-4}$ mCi/cps; Data Aktivitas Background = 0,312 mCi

(Lanjutan)

Tabel 3.4.2. Presentase Aktivitas $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA di Organ Paru-paru

Pasien	Presentase Aktivitas (interval time)			
	0-10 (menit)	40-50 (menit)	80-90 (menit)	120-130 (menit)
1	0,066	0,018	0,011	0,009
2	0,084	0,018	0,010	0,008
3	0,070	0,020	0,011	0,009
4	0,069	0,023	0,015	0,009
5	0,070	0,015	0,009	0,007
6	0,071	0,019	0,012	0,007
7	0,069	0,018	0,009	0,006
8	0,060	0,014	0,010	0,007
9	0,057	0,014	0,010	0,007
10	0,063	0,015	0,009	0,008
Rata-rata	0,068	0,017	0,011	0,008
	±	±	±	±
SD	0,007	0,003	0,002	0,001

(Lanjutan)

Tabel 3.5. Data Hasil ROI Biodistribusi Pasien Laki-laki sehat untuk Organ Liver

Pasien	Waktu (menit)			Waktu (menit)			Waktu (menit)			Waktu (menit)		
	0-10			40-50			80-90			120-130		
	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)
1	167856	111014	0,255	52612	35352	0,081	33422	23314	0,052	25082	17530	0,039
2	160860	111870	0,251	39915	31450	0,066	24281	19623	0,041	18531	14675	0,031
3	123979	99225	0,208	45314	35773	0,075	26989	21508	0,045	26856	16007	0,039
4	109940	74579	0,169	41063	32686	0,069	25288	23364	0,045	16599	15932	0,030
5	56841	44461	0,094	16392	13830	0,028	11833	10430	0,021	8401	7599	0,015
6	84127	60973	0,134	28700	24780	0,050	19499	18760	0,036	13018	11203	0,023
7	91228	69051	0,149	28599	22170	0,047	14696	11670	0,025	10105	8331	0,017
8	106889	71854	0,164	29411	22528	0,048	21550	17239	0,036	13390	10995	0,023
9	100958	67359	0,154	28038	20730	0,045	20631	17149	0,035	12502	9766	0,021
10	107469	73477	0,166	30012	24226	0,050	18330	15392	0,031	14558	12655	0,025

Tabel 3.5.1. Data Aktivitas Tiap Pasien pada Waktu Tertentu Organ Liver

Waktu	Pasien 1	Pasien 2	Pasien 3	Pasien 4	Pasien 5	Pasien 6	Pasien 7	Pasien 8	Pasien 9	Pasien 10	Rata-rata	SD
0-10	0,255	0,251	0,208	0,169	0,094	0,134	0,149	0,164	0,154	0,166	0,174	0,05
40-50	0,081	0,066	0,075	0,069	0,028	0,050	0,047	0,048	0,045	0,050	0,056	0,02
80-90	0,052	0,041	0,045	0,045	0,021	0,036	0,025	0,036	0,035	0,031	0,037	0,01
120-130	0,039	0,031	0,039	0,030	0,015	0,023	0,017	0,023	0,021	0,025	0,026	0,01

Keterangan : CCF Liver AP = $3,16 \times 10^{-4}$ mCi/cps; CCF Liver PA = $3,59 \times 10^{-4}$ mCi/cps; Data Aktivitas Background = 0,312 mCi

Tabel 3.5.2. Presentase Aktivitas $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA di Organ Liver

Pasien	Presentase Aktivitas (interval time)			
	0-10 (menit)	40-50 (menit)	80-90 (menit)	120-130 (menit)
1	0,075	0,024	0,015	0,012
2	0,069	0,018	0,011	0,008
3	0,057	0,021	0,012	0,011
4	0,047	0,019	0,013	0,009
5	0,026	0,008	0,006	0,004
6	0,037	0,014	0,010	0,006
7	0,042	0,012	0,007	0,005
8	0,043	0,013	0,009	0,006
9	0,041	0,012	0,009	0,005
10	0,052	0,016	0,010	0,008
Rata-rata	0,049	0,016	0,010	0,007
	±	±	±	±
SD	0,015	0,005	0,003	0,002

Tabel 3.6. Data Hasil ROI Biodistribusi Pasien Laki-laki Sehat untuk Organ Ginjal

Pasien	Waktu (menit)			Waktu (menit)			Waktu (menit)			Waktu (menit)		
	0-10			40-50			80-90			120-130		
	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)
1	24459	86034	0,138	36615	31612	0,102	20646	16439	0,055	16233	14422	0,046
2	53958	123263	0,245	38375	36110	0,112	21293	18260	0,059	15842	16494	0,049
3	58230	110704	0,241	39101	33797	0,109	25141	22823	0,072	21558	13778	0,052
4	45761	99408	0,203	42021	37466	0,119	23682	25512	0,074	23404	16650	0,059
5	35123	111402	0,188	38261	11020	0,062	23059	23887	0,070	16415	17179	0,050
6	87245	114296	0,300	41547	34768	0,114	29962	25965	0,084	16649	16781	0,050
7	51923	88009	0,203	33602	28470	0,093	17615	17308	0,052	11159	10966	0,033
8	46813	95921	0,201	35331	30399	0,098	26322	22232	0,073	15972	14468	0,046
9	51037	81930	0,194	29713	26042	0,084	23980	19484	0,065	14955	12782	0,042
10	53888	82528	0,200	26441	23483	0,075	16250	14615	0,046	14266	12661	0,040

Tabel 3.6.1. Data Aktivitas Tiap Pasien pada Waktu Tertentu Organ Ginjal

Waktu	Pasien 1	Pasien 2	Pasien 3	Pasien 4	Pasien 5	Pasien 6	Pasien 7	Pasien 8	Pasien 9	Pasien 10	Rata- rata	SD
0-10	0,138	0,245	0,241	0,203	0,188	0,300	0,203	0,201	0,194	0,200	0,211	0,04
40-50	0,102	0,112	0,109	0,119	0,062	0,114	0,093	0,098	0,084	0,075	0,097	0,02
80-90	0,055	0,059	0,072	0,074	0,070	0,084	0,052	0,073	0,065	0,046	0,065	0,01
120-130	0,046	0,049	0,052	0,059	0,050	0,050	0,033	0,046	0,042	0,040	0,047	0,01

Keterangan : CCF ginjal AP = $7,09 \times 10^{-4}$ mCi/cps; CCF Ginjal PA = $4,12 \times 10^{-4}$ mCi/cps; Data Aktivitas Background = 0,312 mCi

Tabel 3.6.2. Presentase Aktivitas $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA di Organ Ginjal

Pasien	Presentase Aktivitas (interval time)			
	0-10 (menit)	40-50 (menit)	80-90 (menit)	120-130 (menit)
1	0,041	0,030	0,016	0,014
2	0,067	0,031	0,016	0,013
3	0,066	0,030	0,020	0,014
4	0,057	0,033	0,021	0,017
5	0,051	0,017	0,019	0,014
6	0,082	0,031	0,023	0,014
7	0,057	0,026	0,015	0,009
8	0,053	0,026	0,019	0,012
9	0,052	0,022	0,017	0,011
10	0,063	0,024	0,015	0,012
Rata-rata	0,059	0,027	0,018	0,013
±	±	±	±	±
SD	0,011	0,005	0,003	0,002

(Lanjutan)

Tabel 3.7. Data Hasil ROI Biodistribusi Pasien Laki-laki Sehat untuk Organ Kandung Kemih

Pasien	Waktu (menit)			Waktu (menit)			Waktu (menit)			Waktu (menit)		
	0-10			40-50			80-90			120-130		
	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)	AP	PA	A (mCi)
1	143169	95794	0,338	457530	171183	0,808	632807	196775	1,019	677918	237457	1,159
2	116683	49647	0,105	638029	229622	1,105	239502	83923	0,409	347346	119807	0,589
3	54694	25788	0,108	370213	154497	0,691	438188	171575	0,792	470962	184088	0,850
4	81424	65483	0,211	389430	180308	0,765	446826	232737	0,931	45699	24194	0,096
5	172295	39792	0,239	562310	161922	0,871	632639	184003	0,985	624865	178507	0,964
6	16620	11423	0,040	640124	201340	1,037	776553	254847	1,285	889484	329740	1,564
7	77859	24416	0,126	481019	155399	0,790	40094	11943	0,063	140191	37890	0,210
8	81679	64098	0,209	451930	219678	0,910	576600	219172	1,027	585876	228515	1,057
9	236894	105127	0,456	508988	232485	0,993	689877	256742	1,215	771925	322001	1,440
10	47235	23621	0,096	370691	141029	0,660	373387	157541	0,700	382555	164444	0,724

Tabel 3.3.1. Data Aktivitas Tiap Pasien pada Waktu Tertentu Organ Kandung Kemih

Waktu (menit)	Pasien 1	Pasien 2	Pasien 3	Pasien 4	Pasien 5	Pasien 6	Pasien 7	Pasien 8	Pasien 9	Pasien 10	Rata-rata	SD
0-10	0,338	0,105	0,108	0,211	0,239	0,040	0,126	0,209	0,456	0,096	0,193	0,13
40-50	0,808	1,105	0,691	0,765	0,871	1,037	0,790	0,910	0,993	0,660	0,863	0,15
80-90	1,019	0,409	0,792	0,931	0,985	1,285	0,063	1,027	1,215	0,700	0,843	0,37
120-130	1,159	0,589	0,850	0,096	0,964	1,564	0,210	1,057	1,440	0,724	0,865	0,48

Keterangan: CCF Kandung kemih AP = $3,50 \times 10^{-4}$ mCi/cps; CCF Kandung Kemih PA = $7,72 \times 10^{-4}$ mCi/cps; Data Aktivitas Background = 0,312 mCi

(Lanjutan)

Tabel 3.7.2. Presentase Aktivitas $^{99}\text{Tc}^m$ DTPA di Organ Kandung kemih

Pasien	Presentase Aktivitas (interval time)			
	0-10 (menit)	40-50 (menit)	80-90 (menit)	120-130 (menit)
1	0,100	0,238	0,300	0,341
2	0,029	0,302	0,112	0,161
3	0,030	0,190	0,218	0,234
4	0,059	0,214	0,261	0,027
5	0,065	0,238	0,270	0,264
6	0,011	0,285	0,353	0,429
7	0,035	0,221	0,018	0,059
8	0,055	0,239	0,269	0,277
9	0,121	0,264	0,323	0,382
10	0,030	0,207	0,220	0,228
Rata-rata	0,053	0,240	0,234	0,240
±	±	±	±	±
SD	0,035	0,035	0,101	0,130

Keterangan :

Kuning -> menandakan pasien mengalami 'urinate'

(Lanjutan)

Tabel 3.8 Presentase Aktivitas $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ DTPA (*Diethylene Triamine Pentacetic Acid*)

Organ	Presentase Aktivitas (interval time)			
	0-10 (menit)	40-50 (menit)	80-90 (menit)	120-130 (menit)
Jantung	0,140 ± 0,023	0,038 ± 0,006	0,025 ± 0,004	0,017 ± 0,003
Otak	0,010 ± 0,002	0,005 ± 0,001	0,003 ± 0,000	0,002 ± 0,000
Paru-paru	0,068 ± 0,007	0,017 ± 0,003	0,011 ± 0,002	0,008 ± 0,001
Liver	0,049 ± 0,015	0,016 ± 0,005	0,010 ± 0,003	0,007 ± 0,002
Ginjal	0,059 ± 0,011	0,027 ± 0,005	0,018 ± 0,003	0,013 ± 0,002
Kandung Kemih	0,053 ± 0,035	0,240 ± 0,035	0,234 ± 0,101	0,240 ± 0,130

Tabel 3.9 Presentase Biodistribusi $^{99}\text{Tc}^{\text{m}}$ DTPA (*Diethylene Triamine Pentacetic Acid*)
(dengan membandingkan dengan organ jantung)

Organ	Presentase Aktivitas (interval time)			
	0-10 (menit)	40-50 (menit)	80-90 (menit)	120-130 (menit)
Jantung	100,00	27,14	17,86	12,14
Otak	7,14	3,57	2,14	1,43
Paru-paru	48,57	12,14	7,86	5,71
Liver	35,00	11,43	7,14	5,00
Ginjal	42,14	19,29	12,86	9,29
Kandung Kemih	37,86	171,43	167,14	171,43

Lampiran 4. Data dan Hasil Perhitungan Dosis Internal

Tabel 4.1. Data Pasien Renogram untuk Dosis Internal

No. Pasien	Jenis Kelamin	Usia	Status
1	Perempuan	47	Kista ginjal kiri
2	Laki-laki	33	Normal
3	Laki-laki	52	Batu ginjal kanan (dihancurkan)
4	Perempuan	72	Obstruksi total ginjal kanan dan obstruksi parsial ginjal kiri
5	Laki-laki	40	Non functional ginjal kiri
6	Laki-laki	62	Chronic Kidney disease (CKD)
7	Perempuan	75	Obstruksi ginjal kanan
8	Laki-laki	72	Nefropathy, DM
9	Laki-laki	29	Normal (calon donor ginjal)
10	Perempuan	45	hidronefrosis ginjal kiri
11	Laki-laki	60	Normal
12	Laki-laki	32	Normal
13	Laki-laki	23	Normal
14	Laki-laki	27	Normal
15	Laki-laki	69	Chronic kidney disease
16	Laki-laki	54	Chronic kidney disease
17	Laki-laki	23	Normal (calon donor)
18	Laki-laki	25	Normal
19	Laki-laki	19	Normal
20	Perempuan	52	Kista ginjal kiri
21	Laki-laki	34	Non functional ginjal kanan
22	Laki-laki	56	Normal
23	Perempuan	43	Ginjal kiri, nephrectomi
24	Laki-laki	52	accute on CKD
25	Laki-laki	60	Hidronefrosis ginjal kanan
26	Perempuan	66	Normal (Pasca radiotherapi)
27	Perempuan	43	Disfungsi ginjal kanan
28	Perempuan	26	Normal
29	Perempuan	19	Normal
30	Laki-laki	38	disfungsi ginjal kanan

(Lanjutan)

Tabel 4.2. Data Hasil ROI Pasien Renogram untuk Organ Ginjal Kiri

No. Pasien	Waktu (menit)		Waktu (menit)		Waktu (menit)		Waktu (menit)	
	30 detik		2 menit (120 detik)		15 menit (900 detik)		20 menit (1200 detik)	
	Ginjal Kiri	Aktivitas (mCi)	Ginjal Kiri	Aktivitas (mCi)	Ginjal Kiri	Aktivitas (mCi)	Ginjal Kiri	Aktivitas (mCi)
1	3483	0,048	20200	0,069	154223	0,071	125947	0,043
2	2125	0,029	26374	0,091	172339	0,079	199357	0,068
3	5739	0,079	31841	0,109	221388	0,101	286111	0,098
4	1862	0,026	19762	0,068	241161	0,110	340269	0,117
5	2361	0,032	11624	0,040	72955	0,033	71167	0,024
6	4567	0,063	36223	0,124	237282	0,109	310063	0,106
7	6750	0,093	30729	0,106	254098	0,116	337274	0,116
8	165	0,002	15055	0,052	151075	0,069	228410	0,078
9	5299	0,073	36150	0,124	161819	0,074	286302	0,098
10	1443	0,020	10070	0,035	107330	0,049	180594	0,062
11	3880	0,053	27717	0,095	302135	0,138	353557	0,121
12	4357	0,060	41182	0,141	196028	0,090	424216	0,146
13	6131	0,084	44659	0,153	387147	0,177	482683	0,166
14	5443	0,075	39982	0,137	234530	0,107	433528	0,149
15	1773	0,024	14817	0,051	102279	0,047	114311	0,039
16	1436	0,020	13023	0,045	176268	0,081	276061	0,095
17	4349	0,060	33865	0,116	299290	0,137	508682	0,175
18	5865	0,081	40328	0,138	271008	0,124	454878	0,156
19	6618	0,091	44717	0,154	331303	0,152	582264	0,200
20	1927	0,026	25603	0,088	170030	0,078	223980	0,077
21	5814	0,080	42777	0,147	447837	0,205	569733	0,196
22	4576	0,063	27841	0,096	182250	0,083	264472	0,091
23	1125	0,015	5910	0,020	60722	0,028	80446	0,028
24	964	0,013	24479	0,084	376864	0,173	573807	0,197
25	6872	0,094	73409	0,252	1284989	0,588	1483269	0,509
26	2289	0,031	29250	0,100	256246	0,117	366559	0,126
27	7705	0,106	31990	0,110	297616	0,136	413826	0,142
28	7495	0,103	40818	0,140	332410	0,152	514444	0,177
29	11631	0,160	53448	0,184	357359	0,164	574718	0,197
30	4914	0,067	297444	1,021	308948	0,141	479754	0,165

Tabel 4.3. Tabel Data hasil ROI Pasien Renogram untuk Ginjal Kanan

No. Pasien	Waktu							
	30 detik		2 menit (120 detik)		15 menit (900 detik)		20 menit (1200 detik)	
	Ginjal Kanan	Aktivitas (mCi)	Ginjal Kanan	Aktivitas (mCi)	Ginjal Kanan	Aktivitas (mCi)	Ginjal Kanan	Aktivitas (mCi)
1	8790	0,121	50429	0,173	326593	0,387	409533	0,141
2	2005	0,028	22751	0,078	201612	0,304	256726	0,088
3	1835	0,025	12040	0,041	89995	0,203	103828	0,036
4	1384	0,019	14464	0,050	221567	0,318	355832	0,122
5	7011	0,096	39344	0,135	314796	0,380	472249	0,162
6	3963	0,054	30731	0,106	203937	0,306	268500	0,092
7	3076	0,042	17411	0,060	153195	0,265	191600	0,066
8	153	0,002	22208	0,076	188367	0,294	299503	0,103
9	3846	0,053	29244	0,100	147676	0,260	247976	0,085
10	5417	0,074	45420	0,156	307133	0,375	536045	0,184
11	4280	0,059	24281	0,083	237261	0,330	313399	0,108
12	3108	0,043	31565	0,108	241820	0,333	438898	0,151
13	5486	0,075	37184	0,128	355154	0,403	451428	0,155
14	3587	0,049	36318	0,125	352480	0,402	660172	0,227
15	2486	0,034	26979	0,093	154644	0,266	216298	0,074
16	2610	0,036	20930	0,072	244303	0,334	322590	0,111
17	3412	0,047	27992	0,096	352879	0,402	570550	0,196
18	3893	0,053	34751	0,119	223896	0,320	365048	0,125
19	6238	0,086	52089	0,179	304277	0,373	566779	0,195
20	1884	0,026	25273	0,087	171276	0,280	175445	0,060
21	1252	0,017	18108	0,062	212531	0,312	332218	0,114
22	3852	0,053	27714	0,095	221961	0,319	311140	0,107
23	5506	0,076	33039	0,113	325802	0,386	424812	0,146
24	238	0,003	11974	0,041	133890	0,248	191517	0,066
25	260	0,004	8694	0,030	70831	0,180	167885	0,058
26	1938	0,027	28040	0,096	232892	0,327	351669	0,121
27	5836	0,080	26893	0,092	269312	0,351	349103	0,120
28	7459	0,102	37009	0,127	344421	0,397	534736	0,184
29	9191	0,126	46943	0,161	379303	0,417	605987	0,208
30	2741	0,038	22556	0,077	166417	0,276	271192	0,093

(Lanjutan)

Tabel 4.4. Tabel Data hasil ROI Pasien Renogram untuk Kandung Kemih

No. Pasien	30 detik		2 menit (120 detik)		15 menit (900 detik)		20 menit (1200 detik)	
	Kandung Kemih	Aktivitas (mCi)	Kandung Kemih	Aktivitas (mCi)	Kandung Kemih	Aktivitas (mCi)	Kandung Kemih	Aktivitas (mCi)
1	363	0,009	5726	0,037	228264	0,196	371441	0,239
2	186	0,005	3159	0,020	192226	0,165	404657	0,260
3	484	0,012	5060	0,033	159755	0,137	256358	0,165
4	113	0,003	8645	0,056	62275	0,053	140183	0,090
5	351	0,009	6956	0,045	110542	0,095	259740	0,167
6	295	0,008	4488	0,029	67711	0,058	88044	0,057
7	413	0,011	2605	0,017	94264	0,081	193720	0,125
8	19	0,000	3658	0,024	47295	0,041	70061	0,045
9	430	0,011	6721	0,043	281763	0,242	607553	0,391
10	769	0,020	12558	0,081	74254	0,064	175933	0,113
11	466	0,012	5031	0,032	74318	0,064	197164	0,127
12	235	0,006	4810	0,031	277127	0,238	620321	0,399
13	470	0,012	5371	0,035	98639	0,085	261722	0,168
14	383	0,010	11495	0,074	72918	0,063	125860	0,081
15	262	0,007	4891	0,031	105106	0,090	212824	0,137
16	327	0,008	4621	0,030	17488	0,015	58833	0,038
17	544	0,014	12109	0,078	87262	0,075	173344	0,112
18	646	0,017	5111	0,033	396271	0,340	833547	0,536
19	407	0,010	3885	0,025	266342	0,228	541998	0,349
20	123	0,003	8552	0,055	232804	0,200	416630	0,268
21	383	0,010	3037	0,020	237193	0,203	439635	0,283
22	247	0,006	5539	0,036	85141	0,073	260259	0,167
23	231	0,006	1762	0,011	244789	0,210	371555	0,239
24	45	0,001	4304	0,028	59136	0,051	100172	0,064
25	150	0,004	3898	0,025	58677	0,050	46649	0,030
26	88	0,002	2660	0,017	154955	0,133	326873	0,210
27	456	0,012	4207	0,027	120197	0,103	286678	0,184
28	493	0,013	6474	0,042	149948	0,129	399759	0,257
29	2195	0,056	11182	0,072	222702	0,191	632768	0,407
30	270	0,007	2340	0,015	46163	0,040	115600	0,074

(Lanjutan)

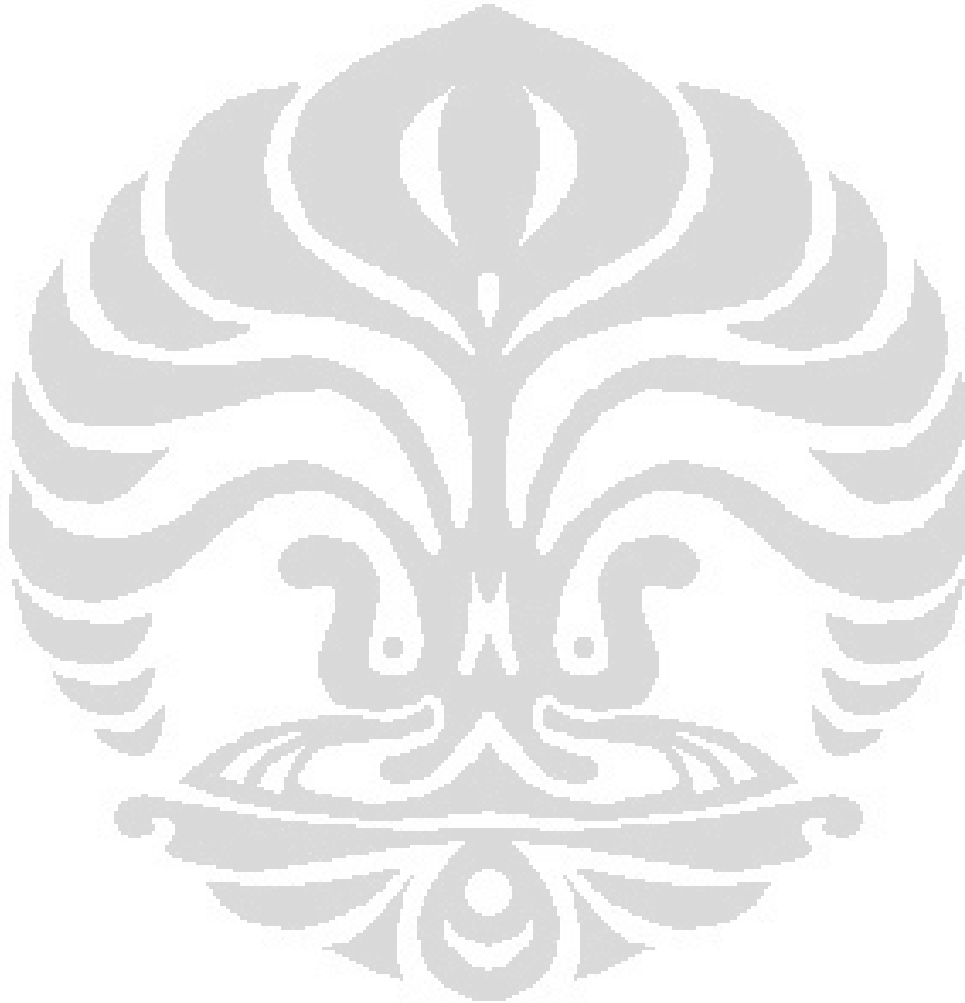
Perhitungan aktivitas kumulatif (\tilde{A}) mempergunakan ‘Trapezoidal Rule for Numerical Integration’

(James G. Kereiakes, 1992) :
$$\tilde{A}_n = \frac{1}{2} [A_j + (A_j + 1)] [(t_j + 1) - t_j] + 1.443 A_n T_p$$

A_j = aktivitas (μCi) pada saat t_j ;

A_n = aktivitas (μCi) pada saat pengukuran terakhir (t_n);

T_p = waktu paruh fisika $^{99}\text{Tc}^m$ (6,02 jam)



Tabel 4.5. Aktivitas Kumulatif pada Organ Sumber

No. Pasien	A injeksi (mCi)	Ginjal Kiri		Ginjal Kanan		Kandung Kemih	
		A kumulatif (mCi.menit)	τ (menit)	A kumulatif (mCi.menit)	τ (menit)	A kumulatif (mCi.menit)	τ (menit)
1	3,94	23,90	6,06	78,74	19,97	126,82	32,16
2	3,91	37,33	9,55	49,66	12,71	137,49	35,18
3	3,95	53,25	13,49	20,96	5,31	87,61	22,20
4	4,22	62,63	14,83	67,27	15,93	49,80	11,79
5	3,53	13,45	3,81	89,53	25,39	88,45	25,09
6	3,94	57,76	14,67	52,06	13,22	30,37	7,71
7	3,94	62,52	15,87	37,45	9,51	65,91	16,73
8	4,06	42,05	10,36	57,20	14,09	24,12	5,94
9	3,36	53,17	15,85	47,89	14,27	206,50	61,55
10	3,96	65,55	16,55	101,10	25,53	60,40	15,25
11	4,27	65,55	15,36	60,11	14,08	67,05	15,71
12	4,43	78,17	17,66	82,84	18,72	210,62	47,59
13	4,24	89,60	21,16	85,96	20,30	88,92	21,00
14	3,89	79,96	20,58	123,27	31,73	43,53	11,21
15	3,41	21,41	6,28	42,20	12,39	72,55	21,29
16	3,49	50,62	14,51	61,69	17,68	20,16	5,78
17	3,99	93,50	23,44	106,96	26,81	59,61	14,94
18	4,17	83,96	20,14	69,61	16,70	283,13	67,93
19	4,01	107,17	26,76	106,81	26,67	184,21	46,00
20	3,74	41,70	11,16	34,97	9,36	142,18	38,07
21	3,98	105,38	26,46	63,10	15,84	149,59	37,56
22	3,72	49,07	13,21	59,71	16,07	88,33	23,77
23	4,09	14,86	3,63	80,89	19,76	126,74	30,96
24	3,74	105,18	28,16	37,09	9,93	34,35	9,20
25	4,50	273,62	60,83	32,09	7,13	16,38	3,64
26	4,00	67,72	16,93	67,05	16,77	111,07	27,77
27	3,85	76,45	19,86	66,80	17,35	97,40	25,30
28	4,27	94,91	22,21	100,80	23,59	135,70	31,76
29	4,00	106,23	26,54	114,08	28,50	214,74	53,64
30	3,74	97,19	26,01	51,98	13,91	38,76	10,38

(Lanjutan)

Dosis internal organ (mGy) dihitung dengan menggunakan metode MIRD, berdasarkan dosis absorpsi per aktivitas kumulatif, dengan harga S didapat MIRD Pamphlet 11 (1975).

$$\bar{D}(r_k \leftarrow r_h) = \bar{A}_h \sum S(r_k \leftarrow r_h)$$

Tabel 4.9. Dosis Internal Organ Target

No. Pasien	Ginjal		Kandung Kemih	
	Total Dosis (rad)	rad/mCi	Total Dosis (rad)	rad/mCi
1	0,325	0,083	0,339	0,086
2	0,028	0,071	0,367	0,094
3	0,235	0,060	0,234	0,059
4	0,412	0,098	0,133	0,032
5	0,327	0,093	0,236	0,067
6	0,348	0,088	0,081	0,021
7	0,317	0,080	0,176	0,045
8	0,315	0,078	0,064	0,016
9	0,320	0,096	0,552	0,164
10	0,426	0,107	0,161	0,041
11	0,398	0,093	0,179	0,042
12	0,511	0,115	0,563	0,127
13	0,557	0,131	0,238	0,056
14	0,644	0,166	0,116	0,030
15	0,202	0,059	0,194	0,057
16	0,356	0,102	0,054	0,015
17	0,636	0,159	0,159	0,040
18	0,487	0,117	0,756	0,181
19	0,679	0,169	0,492	0,123
20	0,243	0,065	0,380	0,102
21	0,534	0,134	0,400	0,100
23	0,304	0,074	0,339	0,083
24	0,451	0,121	0,092	0,025
25	0,969	0,216	0,044	0,010
26	0,427	0,107	0,297	0,074
27	0,454	0,118	0,260	0,068
28	0,427	0,107	0,297	0,074
29	0,699	0,175	0,574	0,143
30	0,473	0,127	0,104	0,028

Lampiran 5 Pengukuran Dosis Permukaan

Tabel 5.1 Data Pasien Renogram untuk Dosis Permukaan

Pasien	Jenis Kelamin	Umur (tahun)	Status
1	Perempuan	47	Post Ekstraksi, Kista Amiloidosis ginjal kiri
2	Laki-Laki	65	Creatine : 1,7; uretine 43
3	Laki-Laki	52	Batu ginjal disebelah kanan dihancurkan (laser)
4	Laki-Laki	40	CKF
5	Laki-Laki	62	CKD + DM,post IVRP oz HP dan Hippoaktif Bladder
6	Perempuan	75	Sehabis operasi pengangkatan batu ginjal
7	Laki-Laki	23	Calon Donor Ginjal (Normal)
8	Laki-Laki	49	CKD (Chronic Kidney Disease)
9	Laki-Laki	25	Volunteer (normal)
10	Laki-Laki	19	Volunteer (normal)
11	Laki-Laki	56	Volunteer (normal)

(Lanjutan)

Tabel 5.2. Data Aktivitas Tc-99m DTPA Pasien Renogram untuk Dosis Eksternal

Pasien	Dosis Persiapan (mCi)	Dosis sisa di syringe (mCi)	Dosis masuk tubuh (mCi)
1	4,05	0,107	3,943
2	4,10	0,424	3,676
3	4,19	0,243	3,947
4	3,94	0,414	3,526
5	4,37	0,433	3,937
6	4,28	0,34	3,94
7	4,54	0,551	3,989
8	5,20	0,135	5,065
9	4,30	0,132	4,168
10	4,14	0,135	4,005
11	4,35	0,634	3,716

Tabel 5.3. Faktor Konversi TLD

Energy	140 keV
HVL	10,2 mmCu
mAs	0,5 mA; 74 detik
Dosis	2,2 mGy
	(3 x pengukuran)

Kelompok	Korelasi TLD (mGy/nC) x 10 ⁻²
1	5,60
2	5,80
3	6,60

(Lanjutan)

Tabel 5.4. Data Hasil pembacaan TLD untuk Ginjal Kiri

No. Pasien	Ginjal Kiri (setelah 1 jam pemeriksaan renogram)					Ginjal Kiri (setelah 2 jam pemeriksaan renogram)				
	1 (nC)	2 (nC)	3 (nC)	Rata-rata	mGy/jam	1 (nC)	2 (nC)	3 (nC)	Rata-rata	mGy/jam
1	18,241	23,524	21,915	21,227	1,190	29,473	21,942	19,495	23,637	0,662
2	27,886	11,758	20,381	20,008	1,120	14,712	19,895	16,616	17,074	0,478
3	20,797	17,006	21,289	19,697	1,100	16,980	24,684	19,083	20,249	0,567
4	17,230	20,448	16,310	17,996	1,010	18,014	17,822	16,873	17,570	0,492
5	17,651	27,996	28,824	24,824	1,440	17,792	27,763	19,706	21,754	0,631
6	32,149	18,715	9,902	20,255	1,170	36,038	26,475	29,774	30,762	0,892
7	17,340	14,210	14,610	15,387	0,892	13,440	14,150	13,510	13,700	0,397
8	11,940	21,500	21,430	18,290	1,060	14,820	20,480	20,690	18,663	0,541
9	18,760	21,200	19,800	19,920	1,310	17,570	20,480	17,440	18,497	0,610
10	19,200	19,180	23,630	20,670	1,360	12,460	14,280	15,990	14,243	0,470
11	16,110	20,890	23,470	20,157	1,330	16,400	15,370	14,700	15,490	0,511

(Lanjutan)

Tabel 5.5 Data Hasil Pembacaan TLD untuk Ginjal Kanan

No. Pasien	Ginjal Kanan (setelah 1 jam pemeriksaan renogram)					Ginjal Kanan (setelah 2 jam pemeriksaan renogram)				
	1 (nC)	2 (nC)	3 (nC)	Rata-rata	mGy/jam	1 (nC)	2 (nC)	3 (nC)	Rata-rata	mGy/jam
1	21,399	23,407	18,444	21,083	1,180	19,492	20,391	19,418	19,767	0,553
2	16,026	23,389	17,030	18,815	1,050	15,543	19,420	17,300	17,421	0,488
3	19,098	15,712	18,913	17,908	1,000	21,251	28,695	13,848	21,265	0,595
4	29,798	18,876	19,333	22,669	1,270	21,345	18,996	16,582	18,974	0,531
5	20,176	31,381	26,511	26,023	1,510	24,626	14,962	18,646	19,411	0,563
6	13,601	37,164	32,690	27,818	1,610	18,721	16,305	38,629	24,552	0,712
7	9,446	10,370	12,090	10,635	0,617	15,200	13,550	18,590	15,780	0,458
8	12,940	13,260	15,560	13,920	0,807	34,250	16,780	14,520	21,850	0,634
9	13,250	21,620	21,020	18,630	1,230	20,160	15,430	18,900	18,163	0,599
10	17,850	21,900	10,790	16,847	1,110	18,210	14,050	15,910	16,057	0,530
11	14,430	21,150	16,110	17,230	1,140	14,830	20,600	17,490	17,640	0,582

(Lanjutan)

Tabel 5.6 Data Hasil Pembacaan TLD untuk Kandung Kemih

No. Pasien	Kandung Kemih (Setelah 1 jam Pemeriksaan Renogram)					Kandung Kemih (setelah 2 jam Pemeriksaan Renogram)				
	1 (nC)	2 (nC)	3 (nC)	Rata-rata	mGy/jam	1 (nC)	2 (nC)	3 (nC)	Rata-rata	mGy/jam
1	17,550	16,271	17,299	17,040	0,954	18,341	18,220	15,910	17,490	0,490
2	15,853	24,233	17,508	19,198	1,080	17,545	4,945	21,373	14,621	0,409
3	20,292	26,285	40,891	29,156	1,630	13,979	28,904	25,812	22,898	0,641
4	15,901	25,131	15,863	18,965	1,060	17,681	19,826	25,222	20,910	0,585
5	19,543	24,059	16,664	20,089	1,170	33,270	30,307	22,008	28,528	0,827
6	19,129	23,528	10,478	17,712	1,030	40,181	20,940	22,326	27,816	0,807
7	10,760	12,930	12,960	12,217	0,709	11,880	16,430	12,760	13,690	0,397
8	18,390	15,180	14,660	16,077	0,932	16,620	14,750	17,750	16,373	0,475
9	29,320	16,730	20,260	22,103	1,460	18,900	34,390	20,810	24,700	0,815
10	22,400	18,560	20,660	20,540	1,360	16,910	17,040	15,410	16,453	0,543
11	14,100	19,230	15,940	16,423	1,080	20,570	16,730	26,740	21,347	0,704

(Lanjutan)

Tabel 5.7. Perhitungan Dosis Permukaan Ginjal Kiri, Ginjal kanan dan Kandung Kemih

No. Pasien	Ginjal Kanan		Ginjal Kiri		Kandung Kemih	
	1 jam (mGy/jam)	2 jam (mGy/jam)	1 jam (mGy/jam)	2 jam (mGy/jam)	1 jam (mGy/jam)	2 jam (mGy/jam)
1	1,181	0,553	1,189	0,662	0,954	0,490
2	1,054	0,488	1,120	0,478	1,075	0,409
3	1,003	0,595	1,103	0,567	1,633	0,641
4	1,269	0,531	1,008	0,492	1,062	0,585
5	1,509	0,563	1,440	0,631	1,165	0,827
6	1,613	0,712	1,175	0,892	1,027	0,807
7	0,617	0,458	0,892	0,397	0,709	0,397
8	0,807	0,634	1,061	0,541	0,932	0,475
9	1,230	0,599	1,315	0,610	1,459	0,815
10	1,112	0,530	1,364	0,470	1,356	0,543
11	1,137	0,582	1,330	0,511	1,084	0,704

