



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Unand.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Unand.

**PENENTUAN SISA RADIOFARMAKA DAN PAPARAN RADIASI  
Tc<sup>m</sup> MDP (Technetium-99 metastable Methylene Di  
Phosphonat) PASCA INJEKSI PADA PASIEN KANKER PROSTAT  
(STUDI KASUS PADA RUMAH SAKIT PUSAT PERTAMINA  
JAKARTA)**

**SKRIPSI**



**HAJJATUN KHAIRAH  
07 135 079**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS ANDALAS  
PADANG 2011**

# بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## "Terima Kasih yang Terdalam" Penulis Ucapan Kepada :



*My Everything... ALLAH Swt*

*Alhamdulillahilahi robbil alamin....*

*Terima kasih ya ALLAH... Atas rahmat dan hidayah serta nikmat yang Engkau berikan... Dan sampaikan salawat beriring salam dari hamba untuk Rasulullah Saw atas usaha beliau dalam menyampaikan kebenaran...*



*My Lovely... Ayah, Mama, Akh, Ayu dan Piphie*

*Makasih ayah, makasih mama, atas kasih sayang, do'a, support, kesabaran, perjuangan dan semuanya yang akhirnya... Atun bisa raih gelar sarjana seperti sekarang ini...*

*Sungguh... At bangga punya orang tua yang luar biasa seperti ayah dan mama...*

*I Love You ☺*

*Buat Akh, makasih ya dek atas semangat dan do'anya... Luv U my brother...*

*Buat Ayu, Ayu syg rajin-rajin belajar ya... mmmuah...*

*Buat Piphie, Mbak selalu rindu adek dan itu jadi motivasi mbak selama ini... Thank's Phie*



*My Special friend's*

*\*Ncuz : thank's hun udah setia menjadi teman tidur Aun selama ini... hope persahabatan kita langgeng selama2nya ☺ \*Dhea : Bingung gw mau mulai dari mana, lu dah banyak buat hari-hari gw sama lu penuh warna. Hahai. Eh, apapun yg terjadi jgn dihapus ya foto2 n video lipsing kita. Hehehe \*Eceh : Hm... Aun nggak mau tau, eceh harus tetep sama kak bro terus ya syk... hehe. Pokoknya thanks deh utk banyak bantuannya selama nee, mksh utk abstractnya, walopun nggak jadi Aun pake krn banyak perubahan lagi. Ign dilupain ya perjuangan kita nyari tempat jahit kebaya yg bagus n terjangkau, kak Tilin gitu lho. Hehehe... \*Oos : Mas baby qu... mksh ya buat semuanya. Nggak akan pernah aun lupain*

Febersamaan kita berdua di kota itu. Wkffffkff. @ \*Yuk Chiep & Leksi : Mksih ya untuk  
dan banyak lagi. Tapi tetap aja borosnya At nggak ilang2. hiks... \*Santi & Mba Sufi : At  
selalu ingat gimana kalian yg berbesar hati ngefiat temen sekamar duluan wisuda, Hehehe.  
Saluut dahhh. Mksih ya mba Sufi utf kemaja putih keberuntungannya, Santi... kuenya  
cantik, Mksih ya udah banyak bantuin At. Hihiii ☺ \*Andi & Julia : mksih udah jadi  
saudara terbaik selama di padang ini. \*Eva : hm... langgeng ya sama Andy, Jhaahii.  
\*Febryanto : thankz udah bantuin ngantar Aun malam2 ke rumah dosen PA. hehehe. Dwi  
mksih ya izinnya. Cepetan nyusul ya... \*Rinda, Yuli, Della, Maia, Echa : makasih udah  
jadi malafkat cantik Aun, yg selalu setia ngedengerin Aun nangis2 nggak jelas. Hehehe.  
Luph U. \*Didi alam arewa : hihiii.. thx ya sobh. \*Semua penghuni BS fsihga tercinta :  
wo aguz, vov, dmi, aci, elvi, indah, bang david, frans mada, Jay, alim dan semuanya yg  
nggak muat kalo ditulis satu persatu. Hehehe. Mksih ya utf kebersamaannya, kalian semua  
special dihati Aun... \*Semua penghuni reguler fsihga 07 : Jheny, Aso, Rima, Aci, Rini,  
Yani, Geby, Yefri, Jhambi dan lain-lain yg juga susah kalo disebutin satu persatu, hehehe...  
thankz iahhh. Semoga persahabatan diantara kita tetap terjalin ampe kapanpun. Amin

My Soul Anggun shaddeh

Jm... malafkat tercantik itu adalah Anggun, sahabat suka dan dukga itu adalah anggun,  
mau jauh atau dekat yg setia itu adalah anggun, yang selalu tau yg terbaik utf urusan  
cinta aun adlh anggun. Hehehe. Pokoknya anggun dan anggun deh... aun nggak tau mau  
bilang apa lagi, anggun terlalu banyak mengutarakan aun dalam tiap masalah-masalah aun.  
Makasih ya sayank.. kiss... kiss... kiss... ☺ Tentunya trimakasih aun juga untuk semua  
d shaddeeb lainnya... Dina, Arel, Escod, Ayu, Rini, Uda n Anum... semoga glamour selalu  
dan selalu glamour. Hehehe. luv u all

Sedarah Bepe gu tercinta

Kagak tercantik Teh Icha, adik tersayangku Ziyah, adik tersayangku Gafih, sobekku  
satunya Araf dan adik termudaku Writ. Makasih banyakya... moga selamanya kita  
tetap bisa seperti saudara. Jaga terus kekompakn bp 034 ya ~ -



### *My Favorit Senior*

*Kak Tiara Marsainy, S.Si (tempat nanya2 terbaik soal pelajaran, hifi... ohya, mksh ya kak abstractnya... maaf minta tolongnya dadakan), Uda Mufti Esofita (yg selalu ngasih semangat dan motivasi), Da T'andi Suandana (yg asyik kalo di ajak curhat, huaaa... lucu n selalu ramah), Kak Rizka Lonna (yg selalu baik dan baik sm Atun), da Adi Sastra, S.Si (sukse terus ya da) dan buat uni2-uda2 semuanya dari angkatan 2004-2006.*



### *My Lovely Junior*

*Fis'08 (Anggi adikku, walopun kk nggak di unand lagi, kapan2 kita pulang kampung bareng lagi ya. Feri, Eko, Aci, Fivi, Ica, Tri, Elsa n semuanya yg susah kalo disebutin satu2) \*Fis 09 (Ziyah tentunya, citra, kiki, rima dan banyak lagi... kakak lagi lupa hehehe) \*fis 010 (semua yg pernah ngerasain kata2 nggak enak dari kakak waktu pembinaan, maaf ya saiank)*



### *Kak Jo*

*Berat banget kak, menjalani semuanya tanpa kakak.. tapi alhamdulillah adek bisa. Makasih untuk kebahagiaan dan kepedihan selama ini ya... makasih untuk 5th 96ln yang indah, makasih juga untuk 10 bulan yang perih. Semoga kesuksesan dan kebahagiaan dalam cinta akan jadi milik adek juga... Amin !*

*Akhir kata...*

*Terimakasih yang dalam untuk semuanya... ☺*

*Wassalam*



*Hajjatun Khairah, S.Si*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur bagi Allah Rabb alam semesta yang atas rahmat dan karunia-NYA penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan tugas akhir yang berjudul “Penentuan Sisa Radiofarmaka dan Paparan Radiasi  $Tc^{99m}$  MDP (*Methylene Di Phosponat*) Pasca Injeksi Pada Pasien Kanker Prostat Di Rumah Sakit Pusat Pertamina Jakarta”. Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana sains program S1 Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas.

Penulis mengucapkan terima kasih untuk semua pihak yang telah ikut membimbing, membantu dan memberikan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya yaitu kepada :

1. Ibu Dian Milvita, M.Si sebagai pembimbing utama yang telah memberikan banyak ilmu, saran, motivasi dan bimbingan selama penyelesaian skripsi.
2. Dr. Fadil Nazir, SpKN sebagai pembimbing lapangan pertama yang telah memberi banyak saran, arahan serta kemudahan-kemudahan selama pengambilan data, pengolahan data hingga penulisan skripsi.
3. Dr. Chafied Varuna, SpKN sebagai pembimbing lapangan kedua yang telah memberi saran, batuan serta kemudahan selama proses pengambilan data di RSPP.

4. Dosen-dosen penguji, Ibu Dr. Dian Fitriyani, Bapak Ardian Putra M,Si, Ibu Meqorry Yusfi M,Si, yang telah memberikan banyak ilmu, saran dan masukan.
5. Ibu dan Bapak di bidang dosimetri BATAN ; Bu Helfi, Bu Dyah, Bu Yati, Bu Nunung, Pak Hasnel, Pak Heru, Pak Eka, Pak Joni, atas saran serta bimbingannya.
6. Mas Duta, Pak Tetra, Pak Erwin, Mbak Yanti, Mas OB yang telah banyak membantu pada saat pengambilan data di RSPP.
7. Ketua dan Koordinator *basic science* jurusan Fisika Fmipa Unand Bpk Arif Budiman M.Si dan Bpk Afdal M.Si, seluruh dosen dan karyawan jurusan Fisika Fmipa Unand yang telah memberikan pendidikan dan motivasi selama ini.
8. Serta semua pihak yang telah ikut memberikan banyak bantuan, semoga Allah membalas dengan pahala dan surga. Amin

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari sepenuhnya bahwa masih banyak terdapat kekurangan, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhir kata penulis berharap, semoga apa yang terdapat dalam skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak. Amin.

Padang, April 2011

Penulis

**PENENTUAN SISA RADIOFARMAKA DAN PAPARAN RADIASI  
Tc<sup>99m</sup> MDP (*Technetium-99metastable Methylene Di Phospinat*)  
PASCA INJEKSI PADA PASIEN KANKER PROSTAT  
(STUDY CASE AT RUMAH SAKIT PUSAT PERTAMINA JAKARTA)**

**ABSTRAK**

Penelitian tentang penentuan sisa radiofarmaka dan paparan radiasi Tc<sup>99m</sup> MDP pasca injeksi pada pasien kanker prostat telah dilakukan di Rumah Sakit Pusat Pertamina Jakarta. Tujuan dari penelitian adalah (1) menentukan sisa radiofarmaka Tc<sup>99m</sup> MDP, (2) menentukan akumulasi radiofarmaka dan paparan radiasi interna pada jantung, tulang paha dan kandung kemih. Data diambil dari 10 orang pasien dengan mengolah hasil pemeriksaan dari Program *Region of Interest* (ROI) dan hasil cacahan TLD-100. Pengukuran dilakukan pada tulang paha dengan referensi jantung dan kandung kemih. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sisa radiofarmaka Tc<sup>99m</sup> MDP yang tertinggal di dalam tubuh pasien masih cukup tinggi yaitu sebesar  $(8,44 \pm 2,27362)$  mCi dengan rentang 7,18 mCi (5,94-13,12) mCi. Rerata akumulasi radiofarmaka Tc<sup>99m</sup> MDP pada tulang paha adalah  $(0,30 \pm 0,016)$  mCi dengan rentang 0,05 mCi (0,01-0,06) mCi, sedangkan rerata paparan radiasi interna pada tulang paha adalah  $(0,2030 \pm 0,1134)$  mSv dengan rentang 0,40 mSv (0,09-0,49) mSv.

**Kata kunci :** Sisa radiofarmaka, kedokteran nuklir, kamera gamma, pemeriksaan tulang, Tc<sup>99m</sup> MDP, TLD-100, akumulasi, paparan radiasi.

**THE DETERMINATION OF POST INJECTION  $Tc^{99m}$  MDP (Technetium-99 metastable *Methylene Di Phosphonat*) RESIDUAL RADIOPHARMACEUTICAL AND RADIATION EXPOSURE IN PROSTATE CANCER PATIENT (STUDY CASE AT RUMAH SAKIT PUSAT PERTAMINA JAKARTA)**

**Abstract**

The research about the determination of post injection  $Tc^{99m}$  MDP residual radiopharmaceutical and radiation exposure in prostate cancer patient has been carried out in Rumah Sakit Pusat Pertamina Jakarta. The purposes of this research are (1) to determine  $Tc^{99m}$  MDP residual radiopharmaceutical and (2) to determine radiopharmaceutical accumulation and internal radiation exposure in the heart, femur and bladder. The data were taken from 10 patients by processing Region of Interest (ROI) examination result and TLD-100 count result. The measurement was done in femur with heart and bladder as reference. The result showed that  $Tc^{99m}$  MDP residual pharmaceutical in patient's body was still high enough. It was  $(8,44 \pm 2,27362)$  mCi with range 7,18 mCi (5,94-13,12) mCi. The  $Tc^{99m}$  MDP radiopharmaceutical average accumulation in femur was  $(0,30 \pm 0,016)$  with range 0,05 mCi (0,01-0,06) mCi. The average of internal radiation exposure in femur was  $(0,2030 \pm 0,1134)$  mSv with range 0,40 mSv (0,09-0,49) mSv.

**Keywords :** Residual radiopharmaceutical, nuclear medicine, gamma camera, bone scan,  $Tc^{99m}$  MDP, TLD-100, accumulation, radiation exposure

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	i
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	ii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	viii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	ix
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	x
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Tujuan Penelitian .....	3
1.3 Manfaat penelitian .....	4
1.4 Batasan Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Landasan Teori .....	6
2.2.1 Radioaktivitas .....	6
2.2.2 Waktu paro .....	8
2.2.3 Nilai batas dosis .....	9
2.2.4 Ilmu Kedokteran Nuklir .....	10
2.2.5 Radiofarmaka .....	12
2.2.6 <i>Dose Calibrator</i> .....	13
2.2.7 $Tc^{99m}$ MDP .....	14
2.2.8 Kamera Gamma .....	16
2.2.9 TLD ( <i>Thermoluminesence Dosimetre</i> ) .....	20
2.2.10 Anatomi dan Fisiologi Kelenjar Prostat .....	23
2.2.11 Kanker Prostat .....	25

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Alat dan Bahan .....	26
3.1.1 Alat .....	26
3.1.2 Bahan .....	29
3.2 Diagram Alir Penelitian .....	31
3.3 Metode Penelitian .....	32
3.3.1 Metode Peletakan TLD-100 .....	32
3.3.2 Metode Pemeriksaan Tulang .....	33
3.3.3 Metode Penilaian ROI .....	35
3.3.4 Metode Penilaian TLD-100 .....	35
3.3.5 Metode Analisis .....	36

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Sisa Radiofarmaka $Tc^{99m}$ MDP Pasca Injeksi Pada Pasien Kanker Prostat dan Korelasina terhadap Dosis Injeksi .....	38
4.1.1 Sisa Radiofarmaka $Tc^{99m}$ MDP Pasca Injeksi Pada Pasien Kanker Prostat .....	38
4.1.2 Korelai Antara Sisa Radiofarmaka dan Dosis Injeksi .....	40
4.2 Akumulasi Radiofarmaka $Tc^{99m}$ MDP Menggunakan ROI dan Paparan Radiasi Interna Menggunakan TLD-100 .....	41
4.2.1 Akumulasi Radiofarmaka $Tc^{99m}$ MDP .....	41
4.2.2 Paparan Radiasi Interna .....	45
4.2.3 Perbandingan Akumulasi Radiofarmaka dari ROI dan Paparan Radiasi dari TLD-100 Pada Tulang Paha. ....	47

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	50
5.2 Saran .....	50

<b>DAFTAR KEPUSTAKAAN .....</b>	<b>52</b>
---------------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>.....</b>
-----------------------	--------------

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pemeriksaan yang dapat dilakukan di kedokteran nuklir .....	11
Gambar 2.2	Kit MDP dalam bentuk serbuk .....	16
Gambar 2.3	Skema prinsip dasar perangkat kamera gamma .....	18
Gambar 2.4	Prinsip kerja kamera gamma .....	19
Gambar 2.5	Proses terjadinya peristiwa termoluminesensi pada fosfor ....	22
Gambar 2.6	Letak prostat di dalam tubuh .....	24
Gambar 2.7	Penyakit kanker prostat .....	25
Gambar 3.1	Kamera gamma .....	27
Gambar 3.2	TLD-100 .....	27
Gambar 3.3	Alat baca TLD (TLD Reader) .....	28
Gambar 3.4	<i>Dose calibrator</i> .....	28
Gambar 3.5	Tabung gas nitrogen .....	29
Gambar 3.6	Tc <sup>99m</sup> di dalam jarum suntik .....	29
Gambar 3.7	Kit radiofarmaka MDP .....	30
Gambar 3.8	Diagram alir penelitian .....	31
Gambar 3.9	Posisi tempat peletakan TLD-100 .....	32
Gambar 3.10	Penyuntikan secara intravena pada pasien .....	34
Gambar 3.11	Pemeriksaan tulang dengan kamera gamma .....	34
Gambar 4.1	Korelasi antara dosis injeksi dengan sisa radiofarmaka .....	41
Gambar 4.2	<i>Trend</i> akumulasi radiofarmaka masing-masing organ target..	43
Gambar 4.3	<i>Trend</i> paparan radiasi masing-masing organ target.....	46
Gambar 4.4	Perbandingan antara paparan radiasi dan akumulasi radiofarmaka Tc <sup>99m</sup> MDP pada tulang paha .....	48

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Data awal pasien kanker prostat .....	37
Tabel 4.2 Dosis Injeksi, lama pemeriksaan dan sisa radiofarmaka yang tertinggal di dalam tubuh pasien .....	38
Tabel 4.3 Akumulasi radiofarmaka $Tc^{99m}$ MDP pada tulang paha, jantung dan kandung kemih .....	42
Tabel 4.4 Hasil Paparan Radiasi Interna Menggunakan TLD-100 .....	45



## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. Data Pasien Kanker Prostat (1 & 2)
- Lampiran 2. Hasil Diagnosis Dokter Di Instalasi Kedokteran Nuklir RSPP
- Lampiran 3. Data Pasien Kanker Prostat Dari ROI
- Lampiran 4. Data Perhitungan TLD-100
- Lampiran 5. Perbandingan Antara Sinar- $\alpha$ , Sinar- $\beta$  Dan Sinar- $\gamma$
- Lampiran 6. Beberapa Radiofarmaka Produksi PPTN/BATAN Untuk Kedokteran Nuklir
- Lampiran 7. Tabel Pedoman Untuk Memberika Interpretasi Terhadap Koefisien Korelasi
- Lampiran 8. *Guidance Levels of Activity*
- Lampiran 9. Tabel Isotop Teknesium
- Lampiran 10. Daftar Istilah
- Lampiran 11. Dokumentasi Penelitian



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan energi nuklir di bidang kedokteran telah memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap manusia dalam mengatasi masalah-masalah kesehatan. Aktivitas pemanfaatan teknik nuklir di bidang kedokteran meliputi radiodiagnostik, radioterapi dan kedokteran nuklir. Radiodiagnostik menggunakan sumber radiasi tertutup untuk penunjang diagnosis, radioterapi juga menggunakan sumber radiasi tertutup yang khusus digunakan untuk terapi, sedangkan kedokteran nuklir menggunakan sumber radiasi terbuka untuk penunjang diagnosis secara *in-vivo* dengan bantuan kamera gamma maupun PET (*Positron Emission Tomography*), *in-vitro* menggunakan sampel cairan tubuh seperti darah dan urin yang direaksikan dengan sumber radiasi terbuka, menggunakan RIA (*Radio immuno Assay*) atau IRMA (*Immuno Radio Metric Assay*), serta terapi radiasi interna. Seluruh kegiatan tersebut memerlukan staf yang mempunyai kompetensi khusus termasuk seorang fisikawan medis.

Diagnostik secara *in-vivo* di bidang kedokteran nuklir bertujuan untuk mendiagnosis fungsional maupun patologis dari berbagai penyakit, termasuk penyakit kanker. Kanker merupakan tumor ganas yang terbentuk karena pertumbuhan sel-sel yang berlebihan. salah satu jenis kanker pada pria adalah kanker prostat. Kanker prostat merupakan penyakit kanker yang berkembang di kelenjar prostat dalam sistem reproduksi laki-laki. Dari jurnal *American Cancer*

*Society* dinyatakan bahwa kanker prostat merupakan kanker yang paling umum didapat dan menjadi penyebab kedua kematian akibat kanker pada laki-laki di dunia setelah kanker paru, sedangkan di Indonesia kanker prostat merupakan penyebab kematian ketiga pada laki-laki setelah kanker nasofaring dan kanker paru (<http://kesehatan.kompascom/read/2010/07/14/04331622/Isotop.Yodium.Ata.si.Kanker.Prostat>).

Kegiatan penunjang diagnostik secara *in-vivo* menggunakan radioisotop sebagai sumber radiasi terbuka dan kit farmaka sebagai zat untuk mencapai organ target, setelah dicampur dikenal sebagai radiofarmaka. Radiofarmaka adalah obat yang mengandung radioisotop atau zat radioaktif. Salah satu jenis radioisotop yang sering digunakan adalah  $Tc^{99m}$  (*Teknesium-99 metastabil*) yang memancarkan sinar gamma dan memiliki waktu paro relatif pendek yaitu 6 jam.  $Tc^{99m}$  digunakan sebagai perunut (*tracer*) yang dicampur dengan kit farmaka jenis MDP (*methylene di phosphonat*) untuk membawa *tracer* ke organ target yang diinginkan yaitu tulang di seluruh tubuh. Radiofarmaka membutuhkan waktu 2 sampai 3 jam pasca injeksi untuk berikatan dengan sel *blast* (sel muda) pada tulang, setelah itu dilakukan *whole body bone scan* (*scan tulang seluruh tubuh*) untuk melihat keadaan seluruh tulang dari pasien kanker, yang pada akhirnya akan diperoleh data yang menunjukkan apakah kanker sudah bermetastasis ke tulang atau tidak.

Zat radioaktif seperti  $Tc^{99m}$  MDP memang memberikan manfaat yang cukup besar, namun dapat juga memberikan kerugian. Hal ini dikarenakan  $Tc^{99m}$  merupakan unsur radioaktif yang dapat menyebabkan perubahan fisika, kimiawi

dan biologi pada jaringan atau organ. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui sisa radiofarmaka  $Tc^{99m}$  MDP pada pasien kanker prostat dengan melihat penyebaran kanker ke bagian tulang di tubuh, terutama pada titik pengukuran yang telah ditentukan, yaitu tulang paha dengan referensi jantung dan kandung kemih. Tulang paha merupakan salah satu bagian tulang yang memiliki banyak sel *blast* (sel muda) dan letaknya tidak jauh dari kelenjar prostat. Selain sisa radiofarmaka, dapat juga diketahui akumulasi radiofarmaka dan paparan radiasi interna, sehingga diharapkan dapat meminimalisir kemungkinan bahaya radiasi yang akan ditimbulkan dari proses pemeriksaan, khususnya terhadap paparan terapi radiasi interna dari pasien kanker prostat stadium lanjut.

## **1.2 Tujuan dan Manfaat**

### **1.2.1 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menentukan sisa radiofarmaka  $Tc^{99m}$  MDP pada pasien kanker prostat.
2. Menentukan akumulasi radiofarmaka dan paparan radiasi interna pada tulang paha dengan referensi jantung dan kandung kemih dari pasien kanker prostat.

### 1.2.2 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini antara ini :

1. Untuk pasien, dapat menerima saran dalam meminimalisir paparan radiasi akibat pemeriksaan, seperti meminum air dalam jumlah yang banyak.
2. Untuk dokter, dapat memperkirakan seberapa besar radiofarmaka yang tersisa pada tulang pasca penyuntikan sehingga dapat memberi saran kepada pasien untuk mengurangi sisa radiofarmaka tersebut.
3. Untuk masyarakat umum, dapat mengetahui informasi tentang kedokteran nuklir secara umum.

### 1.3 Batasan Masalah

Penelitian dibatasi pada penentuan sisa radiofarmaka  $Tc^{99m}$  dengan kit MDP pasca injeksi dan paparan radiasi interna pada pasien kanker prostat, menggunakan perangkat instrumentasi nuklir kamera gamma jenis *Dual Head*, TLD-100 dan TLD-reader, serta menggunakan data hasil dari program ROI pada kamera gamma dan TLD-reader. Titik fokus pemantauan adalah tulang paha kanan bagian atas dengan referensi jantung dan kandung kemih. Penelitian dilaksanakan di Instalasi Kedokteran Nuklir Rumah Sakit Pusat Pertamina Jakarta, dengan jumlah pasien yang diteliti yaitu 10 orang sesuai dengan batas minimal yang dibolehkan secara statistik. Pengolahan data dilakukan di Badan Tenaga Nuklir Nasional Jakarta.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian yang berjudul “Penentuan Akumulasi Radioaktifitas  $Tc^{99m}$  Methyl Di Phosphonat Pada Beberapa Titik Fokus Pada Tubuh Menggunakan TLD-100” telah dilakukan oleh Mailinatri pada tahun 2009 di RSUP Dr M Djamil di Kota Padang. Penelitian ini menggunakan kamera gamma *single head* dengan titik pengukuran tulang dada, tulang panggul kanan dan kandung kemih serta menentukan paparan radiasi interna menggunakan TLD-100. Hasil penelitian menunjukkan bahwa paparan radiasi yang diterima pada tulang dada, tulang panggul kanan dan kandung kemih masih di bawah NBD (Nilai Batas Dosis) yang telah ditetapkan ICRP (*International Commission Radiological Protection*) dan rerata sisa aktivitas radioisotop yang masih tertinggal di dalam tubuh setelah selesainya pemeriksaan masih cukup tinggi yaitu  $\pm 12,77$  mCi dari total dosis  $\pm 15$  mCi yang disuntikan *intra vena* pada pasien, sedangkan yang sampai pada kandung kemih adalah  $\pm 1,04$  mCi.

Pada penelitian ini dilakukan penentuan sisa radiofarmaka dan paparan radiasi  $Tc^{99m}$  MDP pasca injeksi pada pasien kanker prostat. Jumlah sampel yang digunakan adalah 10 orang pasien dengan kasus khusus yaitu penderita kanker prostat. Penelitian ini menggunakan kamera gamma *dual head* (dua kamera) merek *Skylight ADAC Phillips* dan TLD-100. Data diolah dengan program ROI pada kamera gamma, program statistic 6.0 dan spss 15.0. Titik fokus pemantauan

untuk pengambilan data adalah bagian tulang paha dengan referensi jantung dan kandung kemih yang diharapkan dapat mewakili besar paparan radiasi interna pada organ lain di tubuh pasien. Penelitian dilaksanakan di Instalasi Kedokteran Nuklir Rumah Sakit Pusat Pertamina Jakarta dengan sampel 10 pasien kanker prostat dalam rentang waktu 1 bulan.

Perbedaan antara penelitian Mailinatri dan penelitian ini terletak pada tujuan penelitian, model kamera gamma yang digunakan, titik pengukuran, kasus yang diderita pasien dan lokasi penelitian.

## **2.2 Landasan Teori**

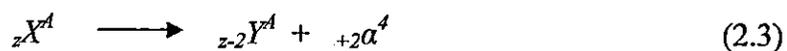
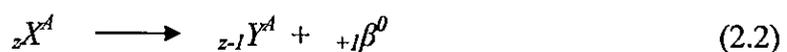
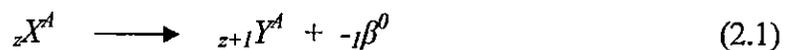
### **2.2.1 Radioaktivitas**

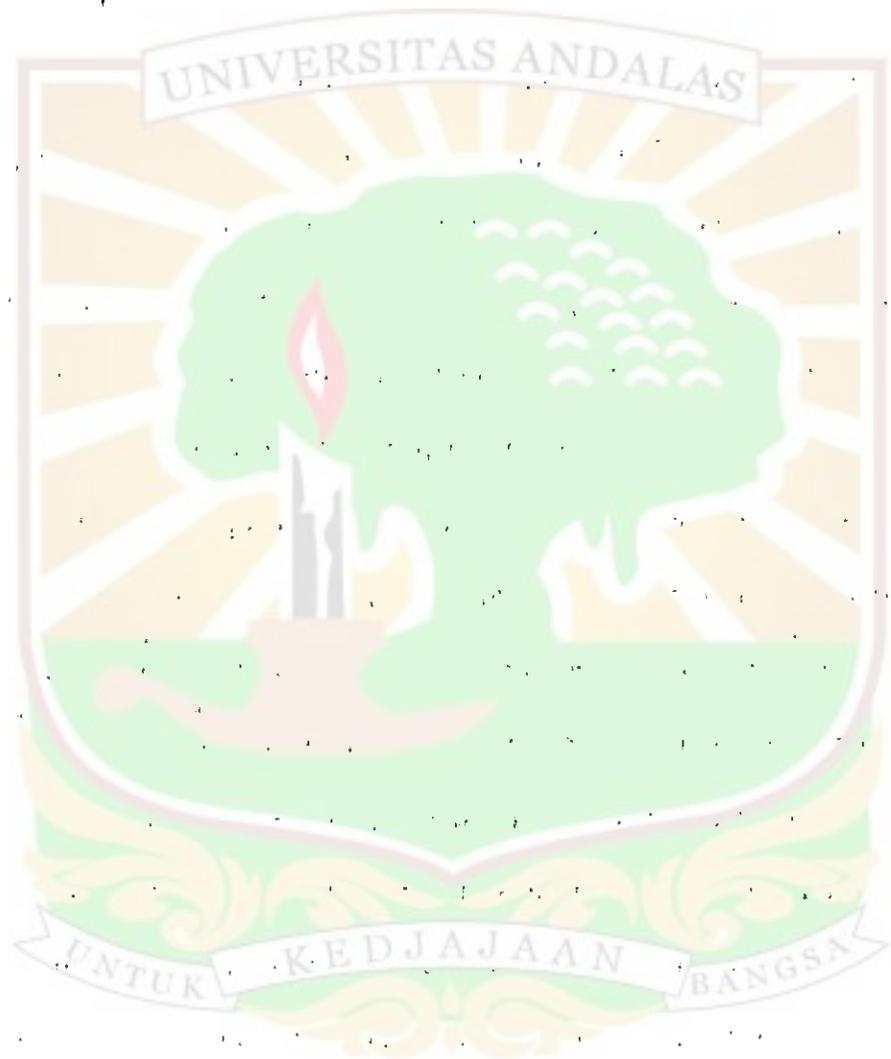
Manusia mengetahui gejala radioaktivitas berawal dari penemuan unsur uranium oleh ilmuwan Perancis Antoine Henri Becquerel pada tahun 1896, unsur tersebut menunjukkan gejala aneh dan belum pernah diketahui sebelumnya. Pada saat itu Becquerel sedang mempelajari sifat-sifat fosforisensi dan fluoresensi bahan-bahan tertentu. Gejala pancaran radiasi secara spontan dari uranium tersebut oleh Becquerel disebut gejala adioaktivitas, sedangkan bahan yang dapat menunjukkan gejala radioaktivitas disebut bahan radioaktif. Jadi radioaktivitas merupakan peluruhan spontan isotop tak stabil menjadi isotop lain yang disertai pancaran radiasi.

Berdasarkan asalnya, radioaktivitas dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu radioaktivitas alam dan radioaktivitas buatan. Radioaktivitas alam ada yang berasal dari bumi dan luar bumi. Radioaktivitas buatan berasal dari pancaran

radionuklida buatan manusia. Peristiwa radioaktivitas berkaitan erat dengan kestabilan inti suatu atom. Inti atom stabil tidak menunjukkan gejala radioaktivitas, sebaliknya inti atom yang tidak stabil dapat menunjukkan gejala radioaktivitas. Kestabilan inti atom ditandai dengan jumlah proton dan neutron di dalam inti atom tersebut. Untuk atom-atom ringan, jika nilai perbandingan antara jumlah proton dan neutron sama dengan satu ( $n/p = 1$ ), maka inti atom tersebut bersifat stabil. Jika nilai  $n/p$  tidak sama dengan satu ( $n/p < 1$  dan  $n/p > 1$ ), maka ada kemungkinan atom tersebut tidak stabil. Untuk mencapai kestabilan maka inti atom tersebut melakukan peluruhan dengan memancarkan radiasi berupa partikel atau sinar radioaktif hingga dicapai suatu keadaan inti baru yang stabil. Inti-inti berat dengan nomor atom tinggi, dimana nilai  $n/p$  lebih besar dari 1,6 ( $n/p > 1,6$ ), maka peluruhan inti-inti jenis ini akan selalu disertai pemancaran radiasi alfa.

Unsur yang mampu memancarkan radiasi kebanyakan adalah unsur-unsur berat, terutama adalah unsur yang memiliki nomor massa ( $A$ ) lebih besar dari 200. Jenis radiasi yang dipancarkan oleh inti radioaktif dipengaruhi oleh nilai  $n/p$  dalam intinya. Jenis radiasi yang dipancarkan biasanya adalah partikel beta negatif ( $_{-1}\beta^0$ ) ditunjukkan pada persamaan (2.1), partikel beta positif ( $_{+1}\beta^0$ ) ditunjukkan pada persamaan (2.2) dan partikel alfa ( $_{+2}\alpha^4$ ) atau inti Helium ( $_{+2}\text{He}^4$ ) ditunjukkan pada persamaan (2.3).





Pemancaran gamma terjadi pada inti atom yang berada dalam keadaan tereksitasi atau kembali ke keadaan dasar. Atom yang memancarkan sinar gamma tidak akan mengalami pengurangan nomor atom ataupun nomor massa tetapi hanya mengalami perubahan energi, ditunjukkan pada persamaan (2.4). Atom yang tereksitasi terjadi pada atom yang memancarkan partikel- $\alpha$  atau partikel- $\beta$  untuk mencapai tingkat energi dasar atau keadaan stabil. Oleh sebab itu, perubahan inti yang menghasilkan partikel- $\alpha$  ataupun partikel- $\beta$  biasanya diikuti dengan pancaran sinar- $\gamma$ .

Secara umum aktivitas radioaktif dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan 2.5 dan hubungan aktivitas dengan konstanta peluruhan ditunjukkan pada persamaan 2.6.

$$A = - \frac{dN}{dt} \quad (2.5)$$

$$A = \lambda N \quad (2.6)$$

dimana :  $N$  adalah inti atom yang meluruh

$A$  adalah aktivitas radioaktif (dps, Bq, Ci)

$t$  adalah waktu (s)

$\lambda$  adalah konstanta peluruhan zat radioaktif

### 2.2.2 Waktu Paro

Waktu paro ( $t_{1/2}$ ) didefinisikan sebagai selang waktu yang dibutuhkan agar aktivitas suatu radioaktif menjadi separuhnya. Setiap radionuklida mempunyai

waktu paro yang unik dan tetap. Nilai waktu paro suatu radionuklida dapat ditentukan dengan persamaan 2.7.

$$t^{1/2} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (2.7)$$

Konsep waktu paro ini sangat bermanfaat untuk menghitung aktivitas suatu radionuklida. Bila selang waktunya sama dengan satu kali  $t^{1/2}$  maka aktivitasnya tinggal 0,5, sedangkan jika dua kali  $t^{1/2}$  maka aktivitasnya tinggal 0,25 dan seterusnya.

### 2.2.3 Nilai Batas Dosis

Setiap dosis radiasi berapapun kecilnya akan menyebabkan terjadinya kelainan pada materi yang menerima dosis tersebut tanpa memperhatikan panjang waktu pemberian dosis, karena tidak adanya dosis ambang ini maka masalah utama dalam pengawasan keselamatan radiasi adalah dalam penentuan batas dosis sedemikian rupa sehingga efek yang akan ditimbulkannya masih dapat ditenggang baik oleh personal maupun masyarakat. Oleh sebab itu, setiap kemungkinan penerimaan dosis oleh pekerja radiasi maupun anggota masyarakat yang bukan pekerja radiasi harus diusahakan serendah mungkin. Hal ini bertujuan agar efek biologis akibat radiasi tidak terjadi atau bila harus terjadi maka masih di bawah dosis ambang, sehingga dalam pelaksanaannya diperlukan prosedur penggunaan yang tepat.

Menurut *International Commission Radiation Protection* (ICRP) untuk orang dewasa sehat, dosis yang menyebabkan kematian pada 50% populasi yang terpapar radiasi seluruh tubuh dalam waktu 60 hari (*Lethal Dose 50/60*) berkisar antara 2,5 Gray sampai 5 Gray, dengan dosis radiasi rata-rata sekitar 3,5 Gray (350 rad). Dengan demikian, seseorang diharapkan tidak akan mengalami kematian setelah terpapar radiasi seluruh tubuh dengan dosis radiasi di bawah 1 Gray (100 rad) selama individu tersebut tidak dalam kondisi sakit sebelum terkena paparan radiasi.

Bila dosis yang diterima antara (6 sampai 10) Gray, kebanyakan individu akan mengalami kematian, kecuali bila segera mendapat penanganan medis yang tepat untuk mencegah terjadinya infeksi dan pendarahan. Untuk dosis di atas 10 Gray, kematian akan terjadi meskipun telah dilakukan usaha seperti transplantasi sumsum tulang dari donor yang sesuai. Sedangkan NBD untuk penyinaran lokal yaitu hanya pada bagian-bagian khusus dari tubuh, seperti pada organ tubuh tertentu adalah 500 mSv/tahun untuk pekerja radiasi dan 4,8 mSv/tahun untuk masyarakat umum (Akhadi, 2000)

#### **2.2.4 Ilmu Kedokteran Nuklir**

Ilmu kedokteran nuklir adalah cabang ilmu kedokteran yang menggunakan sumber radiasi terbuka berasal dari disintegrasi inti radionuklida buatan, untuk mempelajari perubahan fisiologi, patofisiologi anatomi, biokimia, seluler maupun metabolik yang dapat digunakan untuk tujuan diagnostik, terapi radiasi interna dan penelitian kedokteran. Pada kedokteran nuklir, radioisotop dapat dimasukkan

ke dalam tubuh pasien (penunjang diagnostik secara *in-vivo*) baik dalam bentuk *imaging* (pencitraan) maupun *non imaging* (*non* pencitraan), sedangkan penunjang diagnostik secara *in-vitro* menggunakan bahan biologis seperti darah, urin dan lain sebagainya, yang direaksikan dengan sumber radiasi terbuka.

Pemeriksaan penunjang diagnostik di kedokteran nuklir meliputi organ-organ di dalam tubuh seperti otak, kelenjar gondok, jantung, hati, saluran pencernaan, infeksi pembuluh darah, paru-paru, limfa, radang tulang, tumor, ginjal dan lain sebagainya, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Pemeriksaan yang dapat dilakukan di kedokteran nuklir  
(Sumber : Nazir, 2008)

### 2.2.5 Radiofarmaka

Radiofarmaka adalah zat farmaka yang mengandung atom radioaktif dalam strukturnya dan telah memenuhi persyaratan khusus sehingga aman diberikan ke tubuh manusia untuk keperluan diagnosis suatu penyakit. Dengan semakin berkembangnya aplikasi zat radioaktif maupun radiofarmaka di bidang kedokteran nuklir, maka alat bantu elektronik yang dapat digunakan untuk mendeteksi radiofarmaka tersebut semakin dibutuhkan baik untuk pemantauan dosis.

Dalam perkembangan di dunia kedokteran, khususnya kedokteran nuklir, penggunaan radiofarmaka semakin meningkat dan penggunaan sediaan ini merupakan penunjang untuk diagnosis secara *in vivo* dan *in vitro* maupun pengobatan secara radiasi interna dengan sumber terbuka. Beberapa persyaratan yang harus dipunyai oleh suatu radiofarmaka antara lain:

1. Toksisitasnya rendah.
2. Pembuatan dan penggunaannya mudah.
3. Memiliki kelebihan terhadap spesifik untuk penyakit tertentu atau dapat terakumulasi pada organ tertentu.
4. Untuk visualisasi dari hasil pencitraan (teknik diagnostik secara *in-vivo imaging*) sebaiknya dalam bentuk pemancar sinar  $\gamma$  (gamma) murni dengan energi 100 sampai 400 keV.
5. Tingkat bahaya paparan radiasi pada manusia dan juga lingkungan harus rendah.
6. Diharapkan harga relatif murah saat ini dan di masa akan datang.

### 2.2.6 *Dose Calibrator*

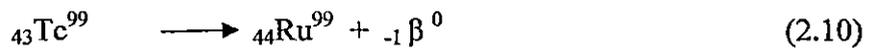
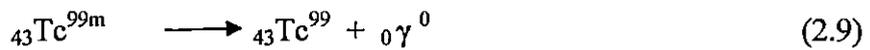
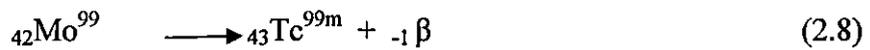
Alat yang paling umum diperlukan untuk pengukuran radiasi di bidang kedokteran nuklir salah satunya adalah *dose calibrator*. *Dose calibrator* merupakan salah satu jenis alat ukur radiasi yang menggunakan detektor kamar pengion yang berbentuk silinder dengan dinding bagian luar dan dalam yang berfungsi sebagai katoda dan silinder yang konsentris di antara dinding silinder sebagai anoda. Di dalam silinder tersebut biasanya diisi gas argon atau nitrogen.

Secara teoritis, radiasi yang dipancarkan oleh isotop yang dimasukkan ke dalam sumur *Dose Calibrator* akan mengionkan molekul gas yang ada di dalam kamar pengion sehingga membentuk ion positif serta elektron. Akibat pengaruh medan listrik, ion positif akan terkumpul pada katoda dan elektron akan terkumpul pada anoda. Pengumpulan partikel-partikel elektron tersebut menghasilkan arus ionisasi yang dapat diukur dengan alat bantu elektronik. Untuk setiap radioisotop dengan aktivitas sama, akan menghasilkan tingkat ionisasi yang berbeda-beda, bergantung kepada materi dinding detektor, ketebalan dinding detektor, jenis gas yang diisi, volume dan tekanan gas. Besar tanggapan *Dose Calibrator* merupakan fungsi khusus yang bergantung pada sifat fisik dan volume sumber radiasi. Jenis wadah sampel serta posisi sumber relatif di dalam sumur kamar pengion akan mempengaruhi besar tanggapan *Dose Calibrator*.

### 2.2.7 $Tc^{99m}$ MDP (*Technetium-99 metastable methylene di phosphonat*)

Teknesium adalah unsur radioaktif yang mengandung metal memiliki nomor atom 43 dan nomor massa 99. Dalam daftar susunan unsur kimia berkala, teknesium terletak di golongan VIIB periode 5 antara rhenium dan mangan.  $Tc^{99m}$  merupakan suatu radiofarmaka buatan yang paling banyak digunakan untuk tujuan penunjang diagnosis di kedokteran nuklir. Hal ini disebabkan  $Tc^{99m}$  memiliki waktu paro pendek yaitu 6 jam,  $Tc^{99m}$  mempunyai sifat fisika dan kimia yang sangat ideal untuk tujuan pencitraan (*imaging*) dengan kamera gamma karena  $Tc^{99m}$  memancarkan sinar gamma murni dengan energi foton yang rendah yaitu 140 KeV. Selain itu,  $Tc^{99m}$  dapat bereaksi dengan bermacam-macam senyawa farmaka secara stabil, tidak beracun, murah dan mudah penyediaannya. Keuntungan lain penggunaan  $Tc^{99m}$  adalah karena  $Tc^{99m}$  dapat dipisahkan dari radionuklida induknya yaitu  $Mo^{99}$  melalui kolom alumina ( $Al_2O_3$ ) dengan bantuan NaCl 0,9% di dalam suatu generator radionuklida yang dapat dilakukan di rumah sakit atau tempat tertentu lainnya.

Molibdenum-99 merupakan induk luruh dari  $Tc^{99m}$ , kemudian  $Mo^{99}$  meluruh menjadi  $Tc^{99m}$  disertai dengan pemancaran partikel beta negatif ( $_{-1}\beta^0$ ) ditunjukkan pada persamaan (2.8),  $Tc^{99m}$  meluruh menjadi  $Tc^{99}$  yang disertai dengan pemancaran sinar gamma ditunjukkan pada persamaan (2.9), dan pada akhirnya mencapai keadaan stabil dalam bentuk  $Ru^{99}$  dengan melepaskan partikel beta negatif ( $_{-1}\beta^0$ ) ditunjukkan pada persamaan (2.10).



Untuk dapat mencapai organ target tulang,  $\text{Tc}^{99m}$  ditambahkan kit farmaka jenis MDP. Diperlukan waktu 2 sampai 3 jam setelah penyuntikan, radiofarmaka MDP akan diserap oleh tulang dan dapat terlihat pada saat *scan* tulang. Dalam bidang kedokteran nuklir, MDP digunakan untuk penunjang diagnostik yaitu antara lain untuk menentukan stadium pada kasus kanker yang telah bermetastasis ke tulang (*staging*), adanya fraktur atau patah tulang, *osteomyelitis* atau infeksi tulang, tumor primer tulang, *osteoarthritis* atau *rheumatic* tulang dan dapat juga digunakan untuk menentukan adanya suatu *cellulitis* atau infeksi pada jaringan bawah kulit. Ikatan antara MDP dengan  $\text{Tc}^{99m}$  secara kimia merupakan ikatan kovalen.

Kit adalah bahan farmaka non radiasi yang akan dicampur dengan radioisotop menjadi radiofarmaka sebagai alat untuk mencapai target organ tertentu, contohnya : MDP untuk tulang, DTPA (*Diethylene Triamine Pentaacetic Acid*) untuk ginjal dan cairan otak, MAG3 (*Mercatoacetyltriglycine*) untuk ginjal, MIBI (*Methoxy Isobutyl Isonitrile*) untuk jantung dan tumor jaringan lunak, Tetrofosmin untuk jantung, dan lain sebagainya. Contoh kit MDP yang masih dalam bentuk serbuk ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kit MDP dalam bentuk serbuk

### 2.2.8 Kamera Gamma

Dalam pencitraan kedokteran nuklir peralatan utama yang digunakan pada umumnya adalah kamera gamma. Kamera gamma adalah kumpulan dari beberapa detektor yang dikembangkan oleh Hal Anger pada tahun 1958 untuk pencitraan dalam menilai studi fungsional, patofisiologi anatomi, *selluler* maupun metabolik dari organ tubuh sehingga dapat mengamati organ tersebut dalam keadaan hidup secara keseluruhan dalam waktu yang bersamaan.

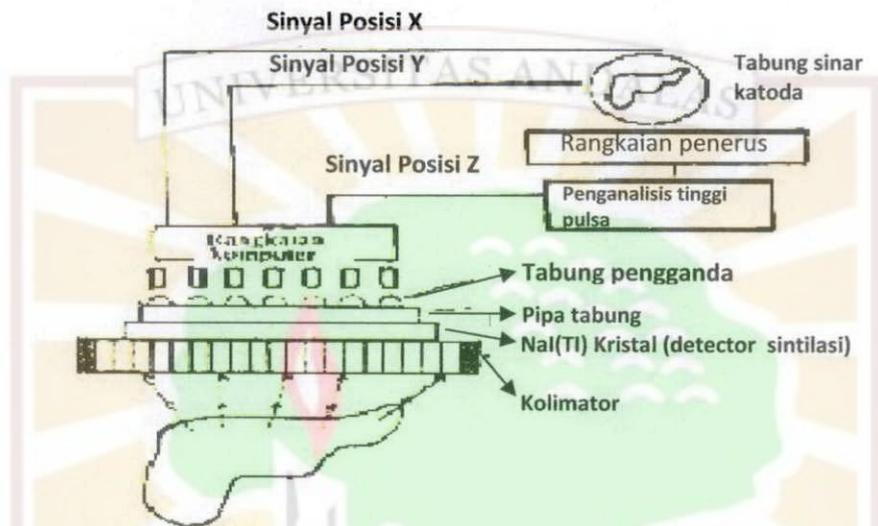
Terdapat berbagai model kamera gamma dari berbagai pabrik pembuatan, dengan spesifikasi tersendiri, mulai dari kamera tunggal (*single head*), kamera ganda (*double head*), maupun tiga kamera (*triple head*).

## Prinsip Dasar Pemeriksaan

Pemeriksaan menggunakan kamera gamma memerlukan radioisotop, yang di dalam organ, radioisotop tersebut akan memancarkan foton sinar gamma ke segala arah dan sebagian dapat ditangkap oleh kristal detektor sintilasi NaI(Tl) melalui lubang kolimator. Akibat radiasi, kristal ini akan berpendar menghasilkan foton cahaya. Foton cahaya diubah menjadi sinyal listrik oleh tabung *photomultiplier* dan sinyal listrik keluarannya kemudian diperkuat dengan perangkat penguat. Setelah melalui penguat, pulsa-pulsa yang dihasilkan tadi dikirim secara simultan ke rangkaian pulsa aritmatik yaitu jalur X, Y dan Z. Jalur X dan Y berisikan informasi posisi yang proposional dengan ukuran amplitudo pulsa. Jalur X akan memproses posisi X pada sistem koordinat dari sumber radioisotop pada organ tubuh, demikian juga untuk jalur Y akan memproses posisi Y pada sistem koordinat sumber sampel radioisotop, sedangkan jalur Z merupakan jumlah energi yang secara proposional mewakili total energi tertentu yang dihasilkan dari interaksi dalam kristal. Kejadian pembentukan sinyal X, Y, Z ini berlangsung secara berulang-ulang dan memperhatikan fungsi organ dalam dua dimensi (2D) monitor. Proses selanjutnya yang dialami oleh sinyal X dan Y oleh proses normalisasi. Dalam proses ini diadakan koreksi terhadap sinyal X dan Y, yaitu dengan membagi kedua sinyal tersebut dengan sinyal Z oleh suatu sirkuit pengoreksi, sehingga dengan demikian informasi posisi tidak tergantung pada energi.

Sinyal Z diteruskan ke suatu perangkat penganalisis pulsa yang disebut *pulse heigth analyzer window* yang berfungsi untuk memilih pulsa yang

diinginkan, pemilihan akan diteruskan ke perangkat *analog to digital converter* yang mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital pada pemrosesan data. Skema prinsip dasar perangkat kamera gamma ditunjukkan pada Gambar 2.3.



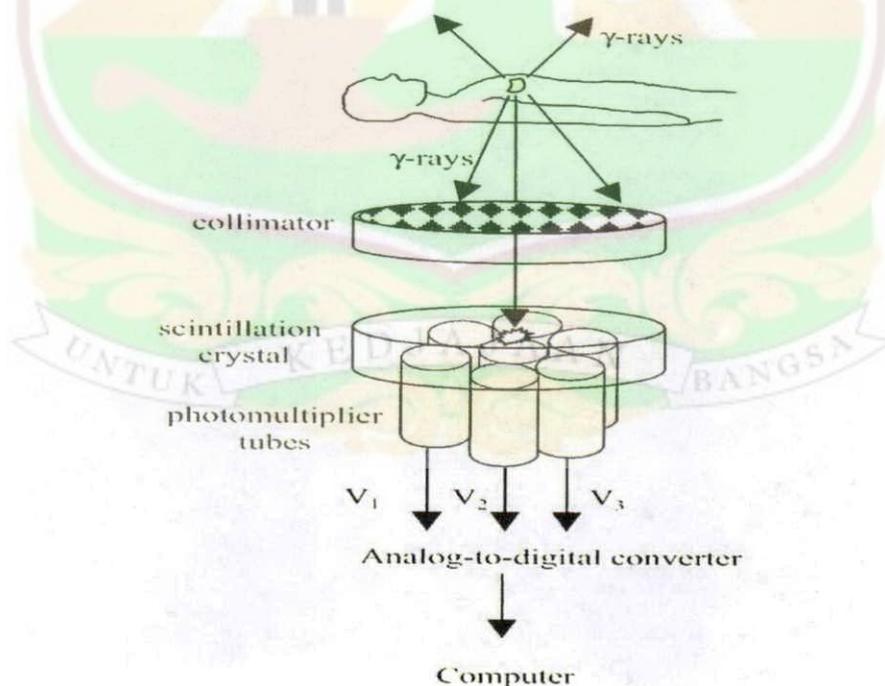
Gambar 2.3 Skema prinsip dasar perangkat kamera gamma  
(Sumber : Rumbino, 2008)

Bagian pemrosesan data dapat berupa seperangkat komputer yang bisa digunakan untuk merekam dan mengolah citra sehingga dihasilkan citra yg kualitasnya telah ditingkatkan, sehingga lebih mudah diinterpretasikan. Setelah sinyal-sinyal diolah oleh bagian data prosesor maka sinyal tersebut dapat tampil dilayar CRT, LCD maupun LED.

Pemberian radioisotop yang dimasukkan ke dalam tubuh pasien dapat diberikan melalui oral (mulut), inhalasi (dihirupkan) dan injeksi (suntikkan) bergantung pada jenis pemeriksaan yang diperlukan, dengan menggunakan farmaka untuk organ target tertentu yang diikat dengan perunut sehingga masuk ke organ yang dituju kemudian dilakukanlah *scan* tulang.

Gambar yang diperoleh dari hasil pencitraan dengan kamera gamma merupakan fungsi dinamik dari suatu organ yang hidup, seperti jantung dengan aliran darahnya dan otak dengan aliran glukosanya dan sebagainya. Dengan pencitraan nuklir dapat dilakukan studi aliran darah pada otak, jantung, paru-paru, fungsi ginjal, kelainan seperti tumor dan abses pada hati, aliran udara di kedua lobus paru-paru, aliran cairan kelenjar empedu, fungsi kelenjar gondok, aliran kelenjar limfa, perkembangan penyakit kanker dengan pemeriksaan metastasisnya pada tulang dan lain sebagainya.

Secara singkat, prinsip kerja kamera gamma dapat pula ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Prinsip Kerja Kamera Gamma  
(Sumber : Nazir, 2008)

### **2.2.9 Thermoluminescence Dosimetre (TLD)**

Untuk keperluan memantau adanya radiasi pengion, manusia harus mengandalkan pengamatan terhadap fenomena-fenomena yang timbul sebagai hasil interaksi antara radiasi pengion dengan materi. Hal ini disebabkan karena manusia tidak memiliki indera khusus yang peka terhadap radiasi pengion, sehingga keberadaan radiasi itu tidak dapat diketahui secara langsung oleh sistem panca indera manusia. Dosimeter termoluminesensi (TLD) merupakan alat yang rutin untuk keperluan pemantauan dosis perorangan pekerja radiasi terhadap paparan radiasi eksternal termasuk radiasi yang keluar dari kulit akibat pemberian radiasi internal.

Penggunaan TLD ini dapat memberikan kemudahan dalam pengoperasian, evaluasi dosis yang dapat dilakukan lebih cepat dari pada dosimeter lainnya, sehingga mampu memantau radiasi dengan rentang dosis lebih rendah sampai dosis yang lebih tinggi dan dapat dipakai ulang namun tidak peka terhadap faktor-faktor lingkungan. Akan tetapi kelemahan pada TLD ini adalah tidak bisa dilakukan pembacaan ulang apabila ditemukan hal-hal yang meragukan karena data dosis langsung hilang setelah proses pembacaan.

Peristiwa penyerapan energi yang diikuti dengan pemancaran cahaya disebut luminisensi. Ada dua peristiwa luminisensi yaitu fluoresensi dan fosforesensi. Fluoresensi adalah pancaran cahaya spontan, dimana pancaran ini akan berakhir jika proses eksitasi yang terjadi pada bahan berakhir, sedangkan fosforesensi merupakan pancaran cahaya berakhir beberapa saat setelah proses

eksitasi berakhir. Adakalanya proses fosforesensi ini baru terjadi jika suatu bahan mendapat energi panas dari luar.

Peristiwa luminisensi dengan bantuan energi panas dari luar ini disebut termoluminisensi. Proses termoluminisensi didefinisikan sebagai suatu pancaran cahaya dari suatu benda padat sebagai akibat proses eksitasi yang disebabkan oleh radiasi pengion.

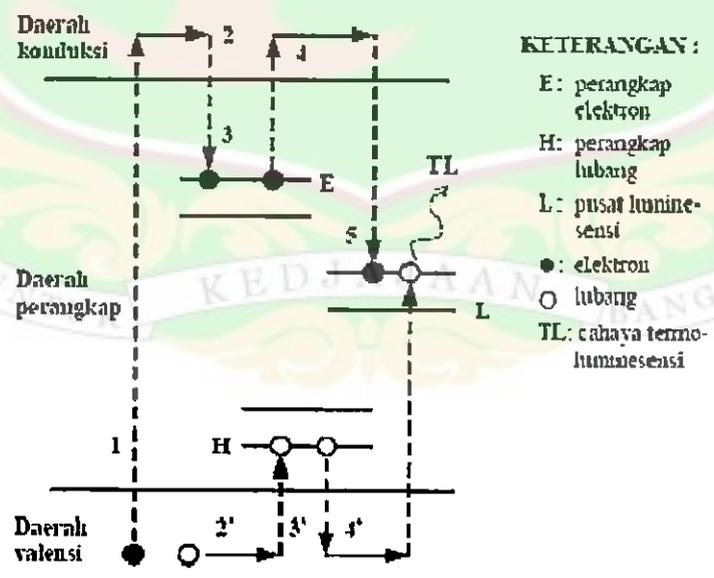
Sebagaimana diketahui bahwa beberapa materi mempunyai kesanggupan untuk menyimpan energi dari radiasi pengion yang diterimanya. Jika materi tersebut mendapat rangsangan berupa energi panas yang cukup maka akan dipancarkan cahaya tampak dengan intensitas sebanding dengan energi total yang sebelumnya diserap oleh materi tersebut. Materi yang mempunyai sifat demikian itu disebut fosfor.

### **Prinsip Kerja Termoluminesensi**

Interaksi antara radiasi pengion dengan fosfor dapat terjadi melalui proses fotolistrik, hamburan Compton, produksi pasangan serta ionisasi langsung. Peristiwa tersebut dapat menimbulkan ionisasi pada materi sehingga dihasilkan pasangan ion berupa elektron bebas bermuatan negatif dan ion positif berupa atom atau molekul yang kekurangan elektron atau lubang.

Elektron bebas yang telah menyerap energi radiasi memiliki energi yang cukup sehingga dapat melompat dari pita valensi menuju pita konduksi (langkah 1). Dalam pita konduksi ini elektron bergerak bebas (langkah 2), sehingga akhirnya terperangkap oleh pusat muatan positif atau perangkap elektron

(langkah 3). Loncatan elektron ke pita konduksi akan meninggalkan lubang bermuatan positif yang dapat bergerak bebas di dalam pita valensi (langkah 2'). Lubang bebas ini pada akhirnya juga terperangkap di dalam pusat muatan negatif atau perangkap lubang (langkah 3'). Pada perangkap yang stabil elektron maupun lubang akan tetap terperangkap karena tidak mampu melepaskan diri untuk keluar dari perangkap-perangkap tersebut. Elektron yang terperangkap baru dapat keluar apabila mendapatkan energi yang cukup untuk melepaskan diri dari ikatan perangkap (langkah 4 dan 4'). Cara yang paling umum untuk melepaskan elektron tersebut adalah dengan memberi pemanasan dari luar. Elektron dan lubang yang terlepas dari perangkap ini selanjutnya akan melakukan penggabungan dengan pasangannya semula dipusat luminesensi (Akhadi, 2000). Proses terjadinya peristiwa termoluminesensi pada fosfor ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.5 Proses terjadinya peristiwa termoluminesensi pada fosfor  
 (Sumber : Akhadi, 2000)

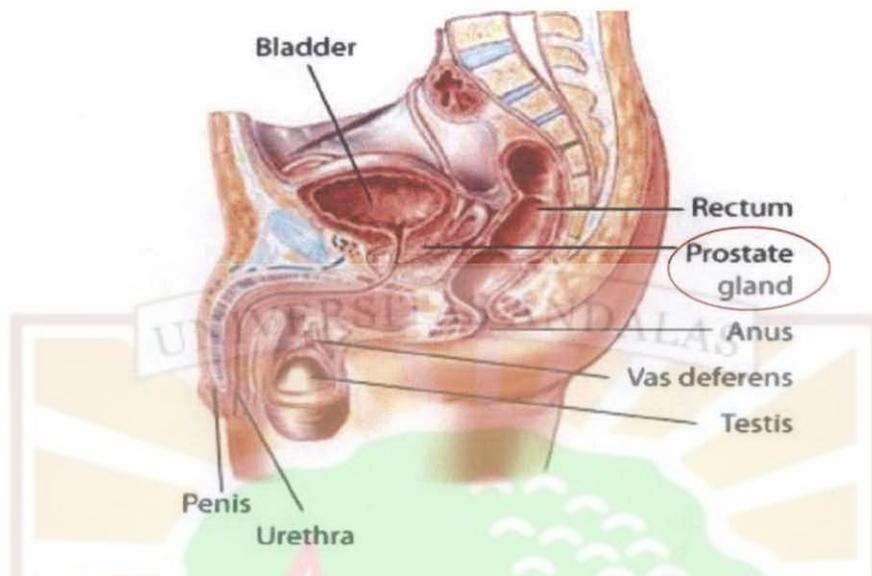
## 2.2.10 Anatomi dan Fisiologi Kelenjar Prostat

### 1. Anatomi Kelenjar Prostat

Kelenjar prostat adalah salah satu organ genitalia interna pria yang terletak di inferior dari kandung kemih. Prostat berbentuk seperti piramid terbalik dan merupakan organ kelenjar *fibromuskuler* yang mengelilingi *urethrae pars prostatica*. Bila mengalami pembesaran organ ini menekan *urethrae pars prostatica* dan menyebabkan terhambatnya aliran urin keluar.

Berat normal kelenjar prostat adalah 18 sampai 20 gram, di dalamnya terdapat *urethrae pars posterior* yang panjangnya 2,5 cm. Jaringan penyangga prostat di bagian depan adalah *ligamentum puboprostaticum* dan di sebelah inferior oleh *diafragma urogenital*. Prostat di bagian belakang ditembus oleh duktus *ejakulatorius* yang berjalan *oblique* sampai menembus *verumontanum* pada dasar *urethrae pars prostatica*.

Prostat terdiri dari 30 sampai 50 kelenjar *tubule alveolur* bercabang yang mengeluarkan sekretnya kedalam *urethrae pars prostatica* pada saat ejakulasi. Prostat dibungkus oleh kapsul *fibro elastik* yang banyak mengandung otot polos, *epithel pseudo* kompleks atau selapis silindris sampai *kuboid* rendah, tergantung sekresi kelenjar, *lamina basalis* tipis, di bawahnya terdapat jaringan ikat dan otot polos. Letak prostat di tubuh manusia ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.6 Letak prostat di dalam tubuh  
(Sumber : <http://nurse.rusari.com>)

## 2. Fisiologi Kelenjar Prostat

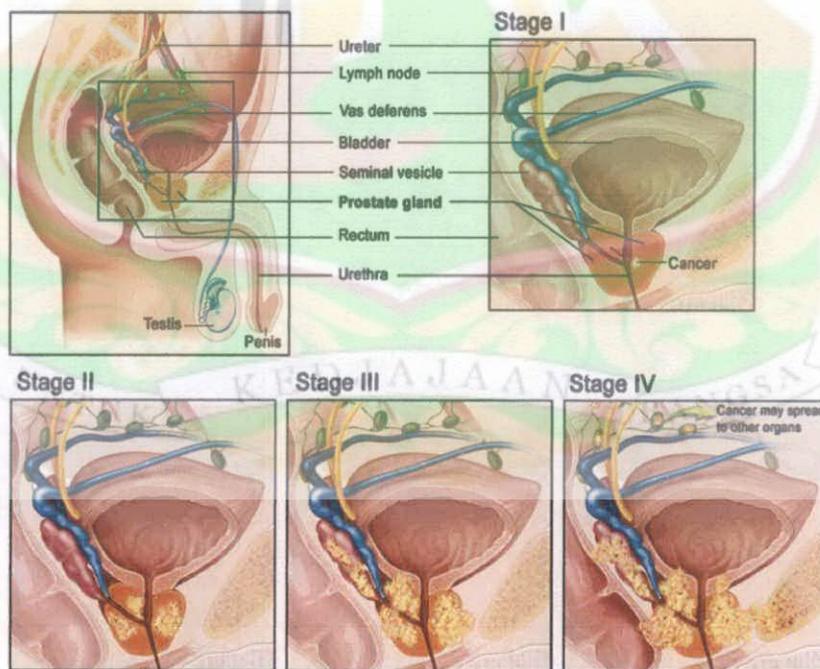
Kelenjar prostat dikelilingi oleh otot polos yang berkontraksi dan selama ejakulasi kelenjar prostat akan mengeluarkan cairan. Fungsi pasti dari cairan belum diketahui, namun cairan tersebut berperan sebagai medium pembawa sperma.

Sekret kelenjar prostat adalah cairan seperti susu yang bersama-sama sekret dari vesikula seminalis merupakan komponen utama dari cairan semen. Semen berisi sejumlah asam sitrat sehingga pH-nya sedikit asam. Selain itu dapat ditemukan enzim yang bekerja sebagai *fibrinolisin* yang kuat, *fosfatase* asam, enzim-enzim lain dan lipid. Sekret prostat dikeluarkan selama ejakulasi melalui kontraksi otot polos. Kelenjar prostat juga menghasilkan cairan dan plasma seminalis, dengan perbandingan cairan prostat (13-32) % dan cairan vesikula

seminalis 46-80 % pada waktu ejakulasi. Kelenjar prostat dibawah pengaruh *Androgen Bodies* dan dapat dihentikan dengan pemberian *stilbestrol*.

### 2.2.11 Kanker Prostat

Kanker prostat adalah penyakit kanker yang berkembang di kelenjar prostat. Hal ini terjadi ketika sel prostat mengalami mutasi (perubahan bentuk) dan mulai berkembang di luar kendali. Sel kanker ini dapat menyebar secara metastasis (penyebaran jauh dari sumbernya) dari prostat ke bagian tubuh lainnya, terutama tulang dan *lymph node*. Prostat memegang peranan penting dalam produksi cairan ejakulasi. Kelenjar prostat normal dan kelenjar prostat yang terkena kanker serta stadiumnya, ditunjukkan pada Gambar 2.10.



National Cancer Institute

Gambar 2.7 Penyakit kanker prostat  
(Sumber : <http://www.jurug.com/?s:kanker+prostat>)

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Instalasi Kedokteran Nuklir RSPP Jakarta dalam rentang waktu mulai tanggal 27 Januari 2011 s/d 23 Februari 2011, dengan mengumpulkan sampel dari pasien kanker prostat yang menjalani pemeriksaan tulang. Jumlah sampel pasien yaitu sepuluh orang. Pembacaan hasil TLD-100 dan pengolahan data dilakukan di Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi BATAN Jakarta.

#### 3.1 Alat dan Bahan

##### 3.1.1 Alat

1. Kamera gamma

Kamera gamma *dual head* tipe *skylight* merk *Philips* merupakan alat pencitraan untuk pemeriksaan berbagai macam fungsi organ tubuh pada pasien yang dalam penelitian ini untuk pemeriksian *scan* tulang, ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kamera gamma *Dual Head* merk SKYLIGHT ADAC Philips

2. TLD-100

TLD-100 LiF (*lithium fluorida*) buatan Harshaw berbentuk chip dengan ukuran  $(3,1 \times 3,1 \times 0,9) \text{ mm}^3$ . TLD-100 digunakan untuk menyerap dosis radiasi yang diterima oleh pasien, ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 TLD-100

### 3. TLD reader

TLD reader adalah alat baca TLD model 2000 A dan B buatan *Harshaw* adalah alat untuk membaca hasil cacahan dari dosis yang diserap TLD, yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Alat baca TLD (TLD reader) model 2000 A dan B

### 4. Dose calibrator

*Dose Calibrator* model 35-056 *Millicuries* merupakan alat untuk menghitung aktivitas suatu radioisotop, ditunjukkan pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 Dose calibrator

3. Uji Dose Rate

Uji Dose Rate adalah uji pada TLD model 2000 A dan B dengan menggunakan alat yang dapat membaca hasil pencatatan dari dosis yang diserap. Uji Dose Rate dilakukan pada Gambar 3.3.



4. Dose calibration

Dose calibration model 2000 A dilakukan menggunakan alat untuk mengkalibrasi alat yang akan digunakan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Dose calibration

## 5. Gas nitrogen

Gas nitrogen berfungsi untuk menjaga kelembaban TLD-100 yang akan dibaca menggunakan TLD reader yang ditunjukkan pada Gambar 3.5.

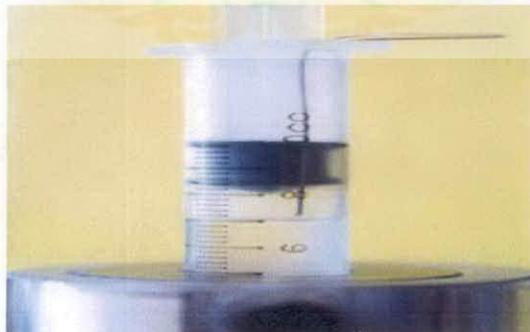


Gambar 3.5 Tabung berisi gas nitrogen

### 3.1.2 Bahan

#### 1. Teknesium-99 metastabil ( $Tc^{99m}$ )

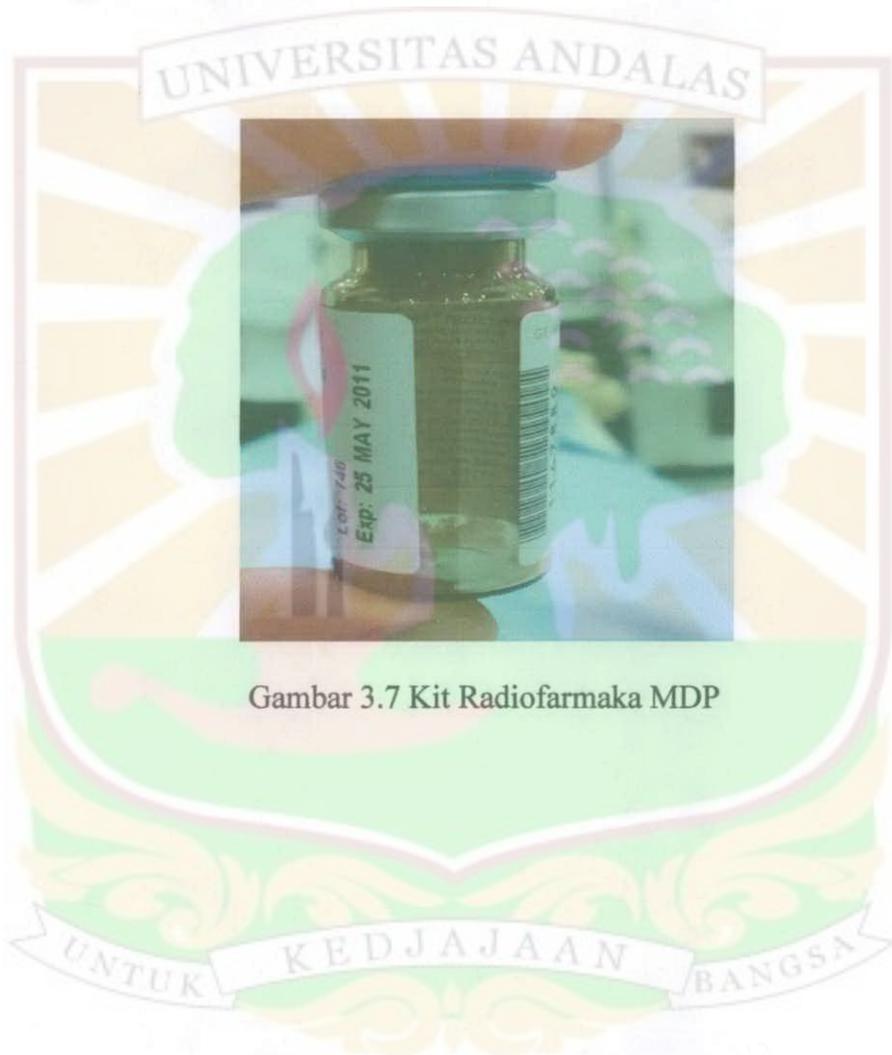
$Tc^{99m}$  merupakan radioisotop yang berperan sebagai *tracer* (perunut) yang akan menandai kit farmaka MDP untuk disuntikkan ke tubuh pasien, ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6  $Tc^{99m}$  dalam jarum suntik

2. Kit MDP ((*methylene di phosphonat*))

Radiofarmaka jenis MDP ini merupakan zat farmaka non radiasi yang berperan untuk mengarahkan *tracer* ke tulang seluruh tubuh pasien, ditunjukkan pada Gambar 3.7.



### 3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian

### 3.3 Metode Penelitian

#### 3.3.1 Metode Peletakan TLD-100

1. TLD-100 diletakan pada permukaan kulit pasien yang menjalani pemeriksaan tulang yaitu pada daerah tepat di bagian tulang paha kanan bagian atas , jantung dan kandung kemih.
2. TLD-100 diletakkan mulai dari sebelum penyuntikan dilakukan sampai selesai pemeriksaan kemudian TLD-100 dilepaskan dari tubuh pasien.
3. Sebelum radioisotop  $Tc^{99m}$  tersebut disuntikkan ke tubuh pasien maka radioisotop tersebut setelah diperah (elusi) dari generator dan dihitung dengan *dose calibrator*, terlebih dahulu dicampur dengan radiofarmaka MDP (*methyl di phosphonat*) kemudian dipilah masing-masing ke dalam *syringe* sebanyak (10-15) mCi yang akan disuntikan untuk masing- masing pasien secara intravena
4. Pasien menunggu 2 sampai 3 jam agar radiofarmaka sudah maksimal terdistribusi keseluruh tulang.
5. Setelah waktu pemeriksaan tiba, pasien diminta untuk buang air kecil dengan maksud agar kandung kemih pasien kosong, setelah itu pasien berbaring terlentang dengan posisi dua kamera gamma berada pada posisi *anterior* dan *posterior* dalam jarak lebih kurang 7 cm dari permukaan tubuh.
6. *Scan* seluruh tulang dilakukan bersamaan, mulai dari ujung kaki sampai ujung kepala yang berlangsung sekitar 30 menit (bergantung dari panjang

tubuh pasien) dan dilanjutkan dengan beberapa *spot* pencitraan sesuai dengan kebutuhan dokter.

7. Selesai pemeriksaan TLD-100 dilepas dari tubuh pasien yang nantinya akan dibaca dengan TLD *reader*, sedangkan ROI dilakukan pada komputer pemroses data kamera gamma.

### 3.3.2 Metode Pemeriksaan Tulang

1. Pada pemeriksaan awal dilakukan penyuntikan secara intravena di bagian lengan pasien dengan dosis radioisotop  $\text{Tc}^{99\text{m}}$  sebanyak  $\pm 15$  mCi. Ditunjukkan pada Gambar 3.9
2. Setelah penyuntikan pasien di anjurkan untuk beristirahat selama  $\pm 2$  hingga 3 jam.
3. Sebelum memasuki ruangan pemeriksaan penderita dianjurkan untuk buang air kecil dengan hati-hati untuk menghindarkan kontaminasi.
4. Kemudian pasien dibaringkan di tempat tidur pemeriksaan dengan posisi tidur lurus untuk melanjutkan pemeriksaan.
5. Kamera gamma diletakkan dengan jarak sedekat mungkin dari pasien, Pemeriksaan ini dilakukan selama  $\pm 20$  menit untuk seluruh tubuh (*whole body scan*) dari posisi anterior dan posterior dilanjutkan dengan pemeriksaan *spot* pada bagian-bagian yang mencurigakan yang ditunjukkan pada gambar 3.10.

- Setelah pemeriksaan selesai TLD-100 yang diletakkan pada tubuh pasien diambil dan dilakukan pembacaan dosis radiasi yang diterima pasien di bagian dosimetri BATAN Jakarta.



Gambar 3.10 Penyuntikan Secara Intravena pada pasien



Gambar 3.11 Pemeriksaan tulang dengan kamera gamma

### 3.3.3 Metode Penilaian *Region of Interest* (ROI)

- Region of Interest* (ROI) ditentukan dengan memplot data gambar anterior hasil pencitraan kamera gamma di daerah jantung, kandung kemih dan tulang paha kanan bagian atas dengan bentuk persegi panjang berukuran 3 cm x 1 cm.

2. Didapatkan data berupa angka dalam satuan *cpm* (*count per menit*), kemudian di konversikan ke satuan *mCi*.
3. Hasil *Region of Interest* akan diolah menggunakan metode statistik yang nantinya didapatkan besar sisa radiofarmaka di dalam tubuh dan akumulasi radiofarmaka di organ titik pengukuran.

### 3.3.4 Metode Penilaian TLD-100

1. TLD-100 yang dipilih untuk digunakan telah diketahui faktor kalibrasinya dan mempunyai keseragaman tanggapan yang sama.
2. Seluruh TLD-100 yang telah selesai pemasangannya pada pasien yang telah melakukan pemeriksaan tulang menjalani proses selanjutnya berupa pembacaan intensitas TL (*Thermoluminescence*) dari penyinaran radiasi yang diterima pasien selama menjalani pemeriksaan. Pembacaan intensitas TL menggunakan *TLD-reader*.
3. Pembacaan intensitas TL dilakukan sebanyak dua kali untuk setiap TLD-100. Bacaan pertama merupakan bacaan intensitas total, sedangkan bacaan kedua merupakan bacaan intensitas TL latar. TL bersih merupakan hasil pengurangan intensitas TL total dengan TL latar, ditunjukkan pada persamaan (3.1).

$$TL_{bersih} = TL_{total} (nC) - TL_{latar} (nC) \quad (3.1)$$

4. Dosis akumulasi ( $D$ ) dari beberapa kali penyinaran diskrit yang diterima TLD-100 selama proses pemantauan dapat dihitung melalui perkalian antara intensitas TL bersih dan Faktor Kalibrasi ( $FK$ ) TLD-100, ditunjukkan pada persamaan (3.2).

$$D = TL (nC) \times FK (mSv/nC) \times \text{Faktor Koreksi} \quad (3.2)$$

dengan :

$D$  = Dosis radiasi yang diterima (mSv)

$TL$  = Intensitas TL

$FK$  = faktor kalibrasi TLD

Untuk perhitungan paparan radiasi (dosis radiasi yang diterima) mengikuti persamaan (3.2) dimana faktor koreksi dari  $Tc^{99m}$  sama dengan faktor koreksi untuk unsur  $Cs^{137}$  yaitu 1 (Law, dkk).

### 3.3.5 Metoda Analisis

Data yang diperoleh dari cacahan TLD-100 dibaca dengan menggunakan *TLD-Reader*. Data dari TLD-100 dan data dari ROI kamera gamma akan diolah dengan menggunakan program statistik yaitu Statistika 6.0 dan SPSS 15.0 untuk menilai hubungan atau korelasi dalam bentuk persamaan linier dan juga *trend* (pola) dari berbagai sampel.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pemeriksaan yang dilakukan pada 10 sampel pasien kanker prostat diperoleh data awal pasien seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data awal pasien kanker prostat

Inisial Pasien		Umur (tahun)	Tinggi Badan (cm)	Berat Badan (kg)
1.	MF	77	162	55
2.	ED	57	170	70
3.	IS	70	160	54
4.	TL	61	171	70
5.	DF	70	168	68
6.	AN	57	165	78
7.	NB	72	150	57
8.	HS	68	156	62
9.	TR	68	156	62
10.	RB	72	156	51
Total	Mean	67,2	161,4	62,7
	Median	69	161	62
	Sum	672	1614	627
	Minimum	57	150	51
	Maximum	77	171	78
	Range	20	21	27

Pada Tabel 4.1, terlihat bahwa umur pasien berkisar antara (57 sampai 77) tahun dengan rerata (*mean*) umur pasien adalah 67,2 tahun, hal ini sesuai dengan banyak literatur yang menyatakan bahwa pada umumnya kanker prostat diderita oleh laki-laki yang usianya lebih dari 50 tahun.

#### 4.1 Sisa Radiofarmaka $Tc^{99m}$ MDP Pasca Injeksi Pada Pasien Kanker Prostat dan Korelasinya Terhadap Dosis Injeksi

##### 4.1.1 Sisa Radiofarmaka $Tc^{99m}$ MDP Pasca Injeksi Pada Pasien Kanker Prostat

Perolehan sisa radiofarmaka dari program ROI memiliki satuan *cpm*, kemudian diubah (konversi) ke satuan *mCi*, data ini dapat dilihat pada Lampiran 3. Banyaknya dosis injeksi (aktivitas dosis radiasi), lama pemeriksaan serta hasil yang diperoleh untuk sisa radiofarmaka  $Tc^{99m}$  MDP yang tertinggal di seluruh tubuh pasien kanker prostat ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Dosis injeksi, lama pemeriksaan dan sisa radiofarmaka yang tertinggal di dalam tubuh pasien

Pasien	Dosis (mCi)	Lama pemeriksaan (menit)	Sisa radiofarmaka (mCi)
1. MF	13,61	121,00	11,80
2. ED	14,50	120,00	8,42
3. IS	14,90	175,00	9,87
4. TL	14,10	123,00	7,53
5. DF	14,54	170,00	7,04
6. AN	15,55	127,00	14,40
7. NB	13,61	195,00	6,30
8. HS	11,71	190,00	5,54
9. TR	14,22	155,00	6,50
10. RB	14,27	120,00	13,12
Total			
Mean	14,10	149,60	9,05
Median	14,24	141,00	7,97
Sum	141,01	1496,00	90,52
Minimum	11,71	120,00	5,54
Maximum	15,55	195,00	14,40
Range	3,84	75,00	8,86
Std. Deviation	1,02	30,86	3,10

Pada dasarnya dosis yang diberikan kepada masing-masing pasien secara umum sama yaitu (10-15) mCi tanpa melihat diagnosis awal medisnya, tetapi

untuk pasien nomor 6 (inisial : AN), dosis injeksi yang diberikan melebihi 15 mCi, namun hal ini masih di bawah batas dosis radiasi yang dianjurkan IAEA (*International Atomic Energy Agency*) (Lampiran 9), yaitu sebesar 600 MBq yang setara dengan 16,20 mCi.

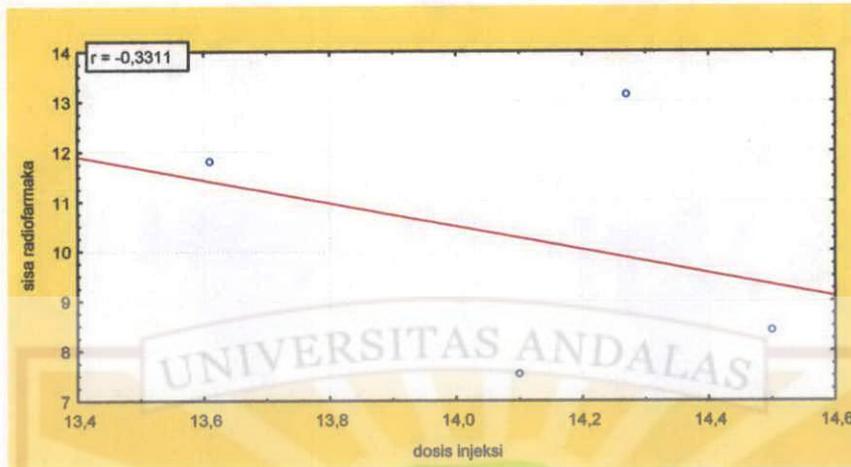
Pada Tabel 4.2 terlihat rerata dosis injeksi yang diberikan kepada pasien adalah  $(14,10 \pm 1,02)$  mCi dengan rentang 3,84 mCi (11,71 mCi hingga 15,55 mCi), sedangkan rerata sisa radiofarmaka yang masih tertinggal di seluruh tubuh pasien adalah  $(9,05 \pm 3,10)$  mCi dengan rentang 8,86 mCi (5,54 mCi hingga 14,40 mCi), hal ini menunjukkan bahwa dalam waktu 2 sampai 3 jam sisa radiofarmaka tersebut masih cukup tinggi. Pasien dengan sisa radiofarmaka tertinggi terdapat pada pasien nomor 6 (Inisial : AN) yaitu 14,40 mCi dengan lama pemeriksaan yaitu 127 menit, hal ini dapat dikarenakan dosis yang diberikan pada pasien tersebut adalah dosis injeksi tertinggi yaitu 15,55 mCi. Pasien yang mendapatkan dosis injeksi terendah (11,71 mCi) yaitu pasien nomor 8 (inisial : HS), perolehan sisa radiofarmaka yang tertinggal di tubuhnya adalah 5,54 mCi dengan lama pemeriksaan 190 menit. Namun jika dosis injeksi diurutkan dari dosis terendah hingga dosis tertinggi, tidak semua perolehan sisa radiofarmaka sesuai teori bahwa semakin tinggi dosis injeksi yang diberikan, semakin tinggi pula sisa radiofarmaka yang tertinggal. Berdasarkan hasil wawancara langsung dengan Dr. Chafied Varuna, Sp.KN, hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti : (1) waktu pemeriksaan, bersamaan dengan lamanya waktu pemeriksaan, proses peluruhan  $Tc^{99m}$  terus berlangsung sehingga aktivitas semakin berkurang, (2) tingkat keparahan kanker, apabila kanker telah bermetastasis ke tulang, maka

radiofarmaka akan ditangkap atau diserap lebih banyak oleh sel tulang yang terkena kanker, (3) ada atau tidaknya kelainan-kelainan lain pada tulang pasien seperti trauma, fraktur dan pembengkakan, (4) banyak atau tidaknya pasien meminum air, dan (5) banyak atau tidaknya pasien melakukan buang air kecil untuk membantu mengurangi sisa radiofarmaka tersebut.

Sisa radiofarmaka yang tertinggal di dalam tubuh dapat mengakibatkan kerusakan radiasi yang dapat sebanding, karena sekecil apapun energi radiasi (radiasi pengion) yang diterima oleh jaringan tetap akan menimbulkan perubahan atau kerusakan pada jaringan tersebut, tetapi perubahan atau tingkat kerusakan yang ditimbulkannya bergantung pada banyak faktor salah satunya radiosensivitas jaringan. Waktu yang dibutuhkan sampai timbulnya efek tersebut juga bergantung pada tingkat kerusakan sel yang terjadi (Akhadi, 2000).

#### **4.1.2 Korelasi Antara Sisa Radiofarmaka dan Dosis Injeksi**

Korelasi antara sisa radiofarmaka dengan dosis injeksi ditentukan dengan mengambil 4 data dari 4 orang pasien dengan lama pemeriksaan yang hampir sama yaitu 120 hingga 123 menit, sehingga lama pemeriksaan dapat dianggap konstan. Pasien tersebut antara lain pasien nomor 1 (Inisial : MF), 2 (Inisial : ED), 4 (Inisial : TL) dan 10 (Inisial : RB). Gambar 4.1 menunjukkan korelasi antara dosis injeksi dengan sisa radiofarmaka di dalam tubuh.



Gambar 4.1 Korelasi antara dosis injeksi dengan sisa dosis radiofarmaka

Pada Gambar 4.1 diperoleh koefisien korelasi  $r$  yaitu  $-0,3311$ . Nilai  $r$  didefinisikan sebagai ukuran hubungan *linear* antara dua peubah acak yaitu dosis injeksi dan sisa radiofarmaka, dimana  $r$  mengukur sejauh mana titik-titik terkumpul (*menggerombol*) di sekitar garis lurus. Korelasi antara kedua peubah semakin menurun dengan semakin menjauhnya titik-titik dari sebuah garis lurus (Walpole, 1988). Sehingga pada Gambar 4.1 terlihat pola sebaran yang tidak sesuai dengan teori, bahwa secara keseluruhan semakin besar dosis yang diinjeksikan ke dalam tubuh pasien maka sisa radiofarmaka yang tertinggal di dalam tubuh akan semakin besar. Dapat dikatakan bahwa antara dosis injeksi dan sisa radiofarmaka tidak memiliki korelasi. Ketidaksesuaian perolehan ini dapat dikarenakan perlakuan kepada setiap pasien tidak sama. Seperti jumlah air yang diminum oleh pasien dan banyaknya pasien melakukan buang air kecil yang sangat berpengaruh terhadap sisa radiofarmaka di dalam tubuhnya.

## 4.2 Akumulasi Radiofarmaka $Tc^{99m}$ MDP Menggunakan ROI dan Paparan Radiasi Interna Menggunakan TLD-100

### 4.2.1 Akumulasi Radiofarmaka $Tc^{99m}$ MDP Menggunakan ROI

Akumulasi radiofarmaka  $Tc^{99m}$  MDP yang terekam menggunakan kamera gamma pada daerah target tulang paha, jantung dan kandung kemih ditunjukkan pada Tabel 4.3.

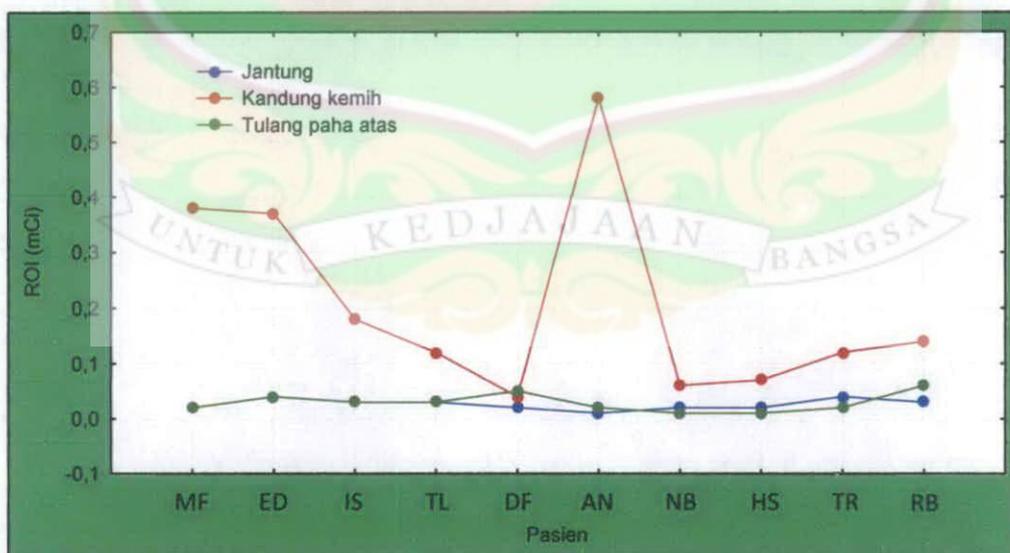
Tabel 4.3. Akumulasi radiofarmaka  $Tc^{99m}$  pada tulang paha, jantung dan kandung kemih

Inisial Pasien	Jantung (mCi)	Tulang paha (mCi)	Kandung kemih (mCi)	
1. MF	0,02	0,02	0,38	
2. ED	0,04	0,04	0,37	
3. IS	0,03	0,03	0,18	
4. TL	0,03	0,03	0,12	
5. DF	0,02	0,05	0,04	
6. AN	0,01	0,02	0,58	
7. NB	0,02	0,01	0,06	
8. HS	0,02	0,01	0,07	
9. TR	0,04	0,02	0,12	
10. RB	0,03	0,06	0,14	
Total				
	Mean	0,0260	0,0290	0,2060
	Minimum	0,01	0,01	0,04
	Maximum	0,04	0,06	0,58
	Range	0,03	0,05	0,54
	Std. Dev.	0,00966	0,01663	0,17771

Berdasarkan Tabel 4.3 diperoleh rerata akumulasi radiofarmaka  $Tc^{99m}$  MDP yang diterima pasien pada organ jantung adalah sebesar  $(0,026 \pm 0,00966)$  mCi dengan rentang sebesar 0,03 mCi (0,01 mCi hingga 0,04 mCi), rerata akumulasi pada kandung kemih sebesar  $(0,2060 \pm 0,17771)$  mCi dengan rentang 0,54 mCi (0,04 mCi hingga 0,58 mCi), sedangkan akumulasi radiofarmaka pada

tulang paha sebesar  $(0,0290 \pm 0,01663)$  mCi, dengan rentang 0,05 mCi (0,01 mCi hingga 0,06 mCi). Berdasarkan wawancara langsung dengan Dr.Fadil Nazir, Sp.KN, hipotesis untuk perolehan akumulasi radiofarmaka  $Tc^{99m}$  MDP dari terendah ke tertinggi yaitu jantung, cuplikan tulang paha dan kandung kemih. Hal ini dikarenakan jantung hanya sebagai tempat penyaluran radiofarmaka untuk bersirkulasi dengan darah sebelum menuju tulang, tulang adalah organ target sedang kandung kemih adalah tempat terakhir radiofarmaka keluar. Namun tulang juga dapat berada di urutan tertinggi apabila tulang tersebut memiliki sel abnormal (sel kanker), mengalami fraktur akibat trauma dan pembengkakan, dimana cairan urin di kandung kemih pasien sudah terbuang.

Hasil perolehan yang tertera pada Tabel 4.3 tidak seluruhnya sesuai dengan hipotesis. Perolehan ini secara jelas dapat dilihat dari gambaran pola (*trend*) distribusi akumulasi pada ketiga organ yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 *Trend* akumulasi radiofarmaka pada jantung, tulang paha dan kandung kemih

Dari Gambar 4.2, akumulasi radiofarmaka yang paling tinggi terdapat pada kandung kemih, hal ini dapat menyatakan bahwa pasien hanya satu kali atau tidak pernah melakukan buang air kecil sebelum pemeriksaan, karena akumulasi radiofarmaka dalam kandung kemih akan berkurang bersamaan dengan keluarnya urin. Sedangkan akumulasi pada jantung dan tulang paha, untuk pasien nomor 1 sampai pasien nomor 4 garis *trend*-nya berhimpitan, yang berarti terdapat akumulasi yang sama pada jantung dan tulang paha pasien tersebut. Perolehan ini tidak sesuai dengan hipotesis, karena seperti yang telah dijelaskan di awal sub bab, akumulasi radiofarmaka pada jantung seharusnya berada di titik terendah. Hal ini dapat dikarenakan akumulasi radiofarmaka pada tulang paha hanya diambil dari cuplikannya saja (bukan merupakan keseluruhan dari tulang paha).

Hal lain yang dapat menjadi penyebab adanya perbedaan akumulasi radiofarmaka pada tiap pasien adalah dosis injeksi yang diberikan, kemampuan tubuh pasien dalam bermetabolisme dan ada atau tidaknya sel-sel abnormal yang terdapat pada organ. Dimana semakin besar dosis yang diberikan, jumlah akumulasi juga semakin besar, semakin baik kemampuan tubuh pasien dalam bermetabolisme maka akan semakin sedikit akumulasi radiofarmaka yang tertangkap oleh organ dan apabila pada organ tulang terdapat sel-sel abnormal atau telah terjadi metastasis maka radiofarmaka pun akan lebih banyak terakumulasi di sana, hal ini ditunjukkan pada pasien nomor 5 (inisial : DF) dan nomor 10 (inisial : RB), dimana berdasarkan hasil diagnosis dokter, kanker prostat kedua pasien tersebut telah bermetastasis ke tulang, salah satunya tulang paha. (Hasil diagnosis dokter dapat dilihat pada Lampiran 2).

#### 4.2.2 Paparan Radiasi Internal Menggunakan TLD-100

Hasil paparan radiasi interna dari  $Tc^{99m}$  MDP pada jantung, tulang paha dan kandung kemih, ditunjukkan pada Tabel 4.4.

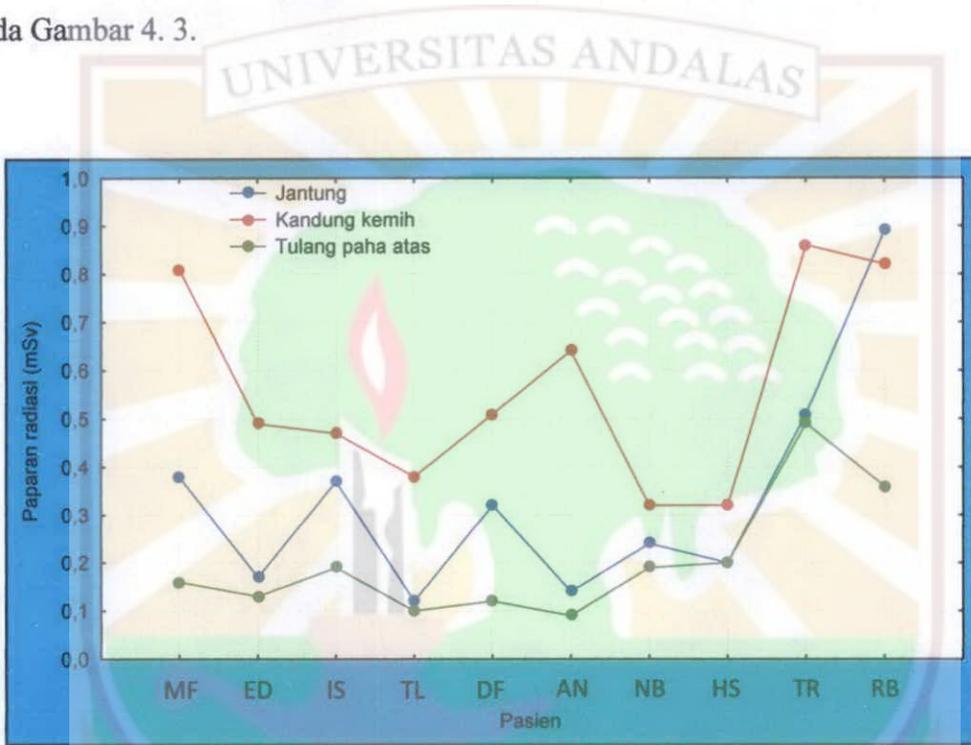
Tabel 4.4 Hasil paparan radiasi interna pada jantung, tulang paha dan kandung kemih

Inisial Pasien	Jantung (mSv)	Tulang paha (mSv)	Kandung kemih (mSv)
1. MF	0,38	0,16	0,81
2. ED	0,17	0,13	0,49
3. IS	0,37	0,19	0,47
4. TL	0,12	0,10	0,38
5. DF	0,32	0,12	0,51
6. AN	0,14	0,09	0,64
7. NB	0,24	0,19	0,32
8. HS	0,20	0,20	0,32
9. TR	0,51	0,49	0,86
10. RB	0,89	0,36	0,82
Total			
Mean	0,3340	0,2030	0,5620
Median	0,2800	0,1750	0,5000
Sum	3,34	2,03	5,62
Minimum	0,12	0,09	0,32
Maximum	0,89	0,49	0,86
Range	0,77	0,40	0,54
Std. Deviation	0,23114	0,12685	0,20805

Pada Tabel 4.4 terlihat bahwa rerata paparan radiasi yang diterima pasien pada jantung adalah sebesar  $(0,3340 \pm 0,23114)$  mSv dengan rentang 0,77 mSv (0,12 mSv hingga 0,89 mSv), pada tulang paha rerata paparan radiasi yang diterima adalah  $(0,2030 \pm 0,1134)$  mSv dengan rentang 0,40 mSv atau (0,09 mSv hingga 0,49 mSv), sedangkan pada kandung kemih rerata paparan radiasi yang

diterima sebesar  $(0,5620 \pm 0,20805)$  mSv dengan rentang 0,54 mSv (0,32 mSv hingga 0,86) mSv.

Dari data pada Tabel 4.2 diperoleh pola atau *trend* paparan radiasi yang diterima oleh jantung, tulang paha dan kandung kemih seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. 3.



Gambar 4.3 *Trend* paparan radiasi yang diterima masing-masing organ

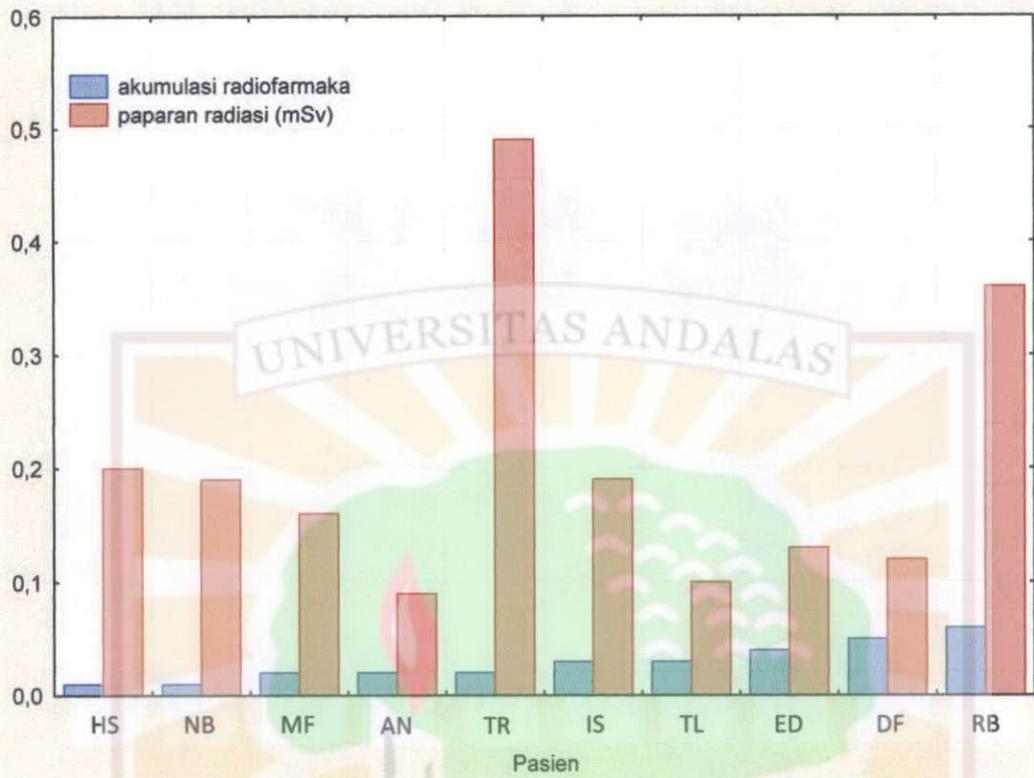
Berdasarkan Gambar 4.3, terlihat bahwa paparan radiasi interna yang terbaca oleh TLD-100 dari tertinggi ke terendah yaitu kandung kemih, jantung dan tulang paha, terkecuali pada pasien nomor 8 (inisial : HS) dimana perolehan paparan radiasi pada jantung dan tulang paha adalah sama. Kemudian pasien pasien nomor 10 (inisial : RB), perolehan paparan radiasi pada jantung lebih besar dibandingkan paparan radiasi pada kandung kemih dan tulang paha. Hal ini dapat disebabkan oleh TLD-100 yang menangkap paparan radiasi dari tulang dada yang

letaknya dekat dengan jantung. Berdasarkan diagnosis dokter, kanker prostat yang diderita oleh pasien nomor 10 (inisial : RB) telah bermetastasis ke tulang, kemungkinan salah satunya pada tulang dada.

Paparan radiasi juga dapat disebabkan oleh besarnya akumulasi radiofarmaka pada organ. Kandung kemih memiliki akumulasi radiofarmaka tertinggi, sehingga secara keseluruhan paparan radiasi pada kandung kemih pun meningkat. Perbedaan besar paparan radiasi yang diterima tidak hanya bergantung pada akumulasi yang ada pada organ, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh keadaan fisik pasien, ketebalan tubuh pasien dan kondisi pasien sehingga terjadi ketidaktepatan dalam peletakan TLD pada proyeksi organ (jantung, kandung kemih dan tulang paha). Dapat juga disebabkan oleh efisiensi alat baca TLD (TLD-*reader*) yang juga dapat mempengaruhi hasil cacahan paparan radiasi yang diserap oleh TLD-100.

#### **4.2.3 Perbandingan Akumulasi Radiofarmaka dari ROI dan Paparan Radiasi dari TLD-100 Pada Tulang Paha.**

Perbandingan akumulasi radiofarmaka dan paparan yang terdapat pada tulang paha ditunjukkan pada Gambar 4.4, data diurutkan berdasarkan perolehan akumulasi radiofarmaka dari terendah hingga tertinggi.



Gambar 4.4 Perbandingan antara paparan radiasi dan akumulasi radiofarmaka  $Tc^{99m}$  MDP pada tulang paha

Dari Gambar 4.4 diharapkan bahwa besarnya akumulasi radiofarmaka berbanding lurus dengan perolehan paparan radiasi, karena paparan radiasi adalah dosis yang diterima akibat dari akumulasi radiofarmaka tersebut. Tetapi perolehan yang didapat tidak sesuai dengan yang diharapkan, di sana terlihat bahwa setiap peningkatan akumulasi radiofarmaka pada tulang paha pasien tidak selalu diikuti oleh peningkatan paparan radiasi yang diterima. Akumulasi radiofarmaka tertinggi terdapat pada tulang paha pasien nomor 10 (inisial : RB), tetapi paparan radiasi tertinggi justru terdapat pada tulang paha pasien nomor 9 (inisial : TR). Berdasarkan perolehan tersebut, dapat dikatakan bahwa antara akumulasi radiofarmaka dan paparan radiasi tidak memiliki hubungan. Hal ini dapat

disebabkan oleh berbagai faktor antara lain berat badan (*organ mass*) dan kemampuan metabolisme tubuh yang berhubungan dengan waktu paro biologis.

Hasil ini juga dapat dipengaruhi oleh kepekaan TLD-100 yang dapat menangkap radiasi dari organ-organ lain selain tulang paha, kondisi pasien yang mempengaruhi posisi peletakan TLD-100 pada organ dan efisiensi alat baca TLD (*TLD reader*).



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Rerata sisa radiofarmaka di seluruh tubuh pasien kanker prostat yang menjalani pemeriksaan tulang yaitu sebesar  $(8,04 \pm 2,27362)$  mCi, hasil ini menunjukkan radiofarmaka yang tertinggal di seluruh tubuh pasien 2 sampai 3 jam pasca injeksi masih cukup tinggi, karena rerata dosis injeksi yang diberikan adalah  $(14,10 \pm 1,02)$  mCi. Dari perolehan tersebut sangat diharapkan agar pasien dianjurkan meminum air dalam jumlah banyak dan melakukan buang air kecil sesering mungkin, bukan hanya untuk keperluan hasil pencitraan tetapi untuk pasien agar tidak banyak terpapar radiasi, karena sekecil apapun radiasi pengion tetap dapat mengionisasi materi yang dilaluinya.
2. Rerata akumulasi radiofarmaka pada jantung sebesar  $(0,026 \pm 0,00966)$  mCi, pada tulang paha sebesar  $(0,0290 \pm 0,01663)$  mCi dan pada kandung kemih sebesar  $(0,2060 \pm 0,17771)$  mCi. Sedangkan rerata paparan radiasi pada jantung adalah  $(0,3340 \pm 0,23114)$  mSv, pada tulang paha adalah  $(0,2030 \pm 0,1134)$  mSv dan pada kandung kemih sebesar  $(0,5620 \pm 0,20805)$  mSv. Peningkatan akumulasi radiofarmaka pada tulang paha pasien tidak selalu diikuti oleh peningkatan paparan radiasi yang diterima. Apabila hasil pencitraan tidak dapat terbaca dengan baik oleh dokter, maka

## 5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya diharapkan agar peneliti memperhatikan hal-hal berikut :

1. Sampel yang diambil dan titik pengukuran diperbanyak.
2. Dosis injeksi yang diberikan dan lamanya waktu pemeriksaan harus sama sehingga tidak terlalu banyak variabel bebas.
3. Kegiatan pasien seperti meminum air dan buang air kecil dari awal penyuntikan radiofarmaka sampai berakhirnya pemeriksaan dicatat agar menjadi pegangan untuk menganalisa data.
4. Untuk melihat paparan radiasi cukup menggunakan program ROI pada kamera gamma dengan mengolah data menggunakan program *Mird-dose*.
5. Wawancara dengan dokter mengenai hasil diagnosa pasien sebaiknya dicatat dengan *detail* agar dapat menganalisa hasil penelitian dengan kondisi penyakit kanker prostat pasien.

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Akhadi, M. 2000. *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*. PT. Rineka Cipta. Jakarta.
- Bushberg, J.T. 2002. *The Essential physics of Medical Imaging*. Lippincott Williams and Wilkins. Philadelphia. USA.
- Law, M dan Cheng, KC. 2003. *The British Journal of Radiology*. British Institute of radiology.
- Lombardi, M. 1999. *Radiation safety in Nuclear Medicine*. CRC Press. Boca Raton London, New York, Washington DC.
- Mailinatri, E. 2009. *Penentuan Akumulasi Radioaktivitas Tc-99m Methyl Diphosphonat Pada Beberapa Titik Fokus Tubuh Menggunakan TLD-100*. Skripsi S-1 Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas.
- Mustika, R. 2010. *Analisis Korelasi Waktu Singgah (Transit Time) Terhadap Paparan Radiasi Pada Pemeriksaan Renografi Pekerja Radiasi di PTKMR BATAN Jakarta*. Skripsi S-1, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas, Padang.
- Nasukha, Endo-radioterapi. 2004. *Sebuah Tantangan Puslitbang Keselamatan Radiasi dan Biomedika Nuklir (P3KRBiN), Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta*.
- Nazir, F. 2008. *Pengenalan Ilmu Kedokteran Nuklir*. PTKMR-BATAN. Jakarta. Slide Presentasi
- Nazir, Fadil. 2009. *Pemeriksaan Ginjal Menggunakan Teknik Kedokteran Nuklir*. PTKMR-BATAN. Jakarta. Slide Presentasi.
- Rumbino, Y. 2008. *Studi Waktu Singgah (Transit Time) Pada Ginjal Dengan Menggunakan Tc-99m DTPA*. Skripsi S-1 Jurusan Fisika FMIPA Universitas Pelita Harapan.
- Wahyuni, P. 2009. *Analisis Korelasi Paparan Radiasi Terhadap Uptake pada Pemeriksaan Renografi Pekerja Radiasi di PTKMR BATAN Jakarta*. Skripsi, Jurusan Fisika FMIPA Universitas Andalas, Padang.
- Walpole, R. 1992. *Pengantar Statistika Edisi Ke-3*. PT Gramedia Pustaka Umum. Jakarta.

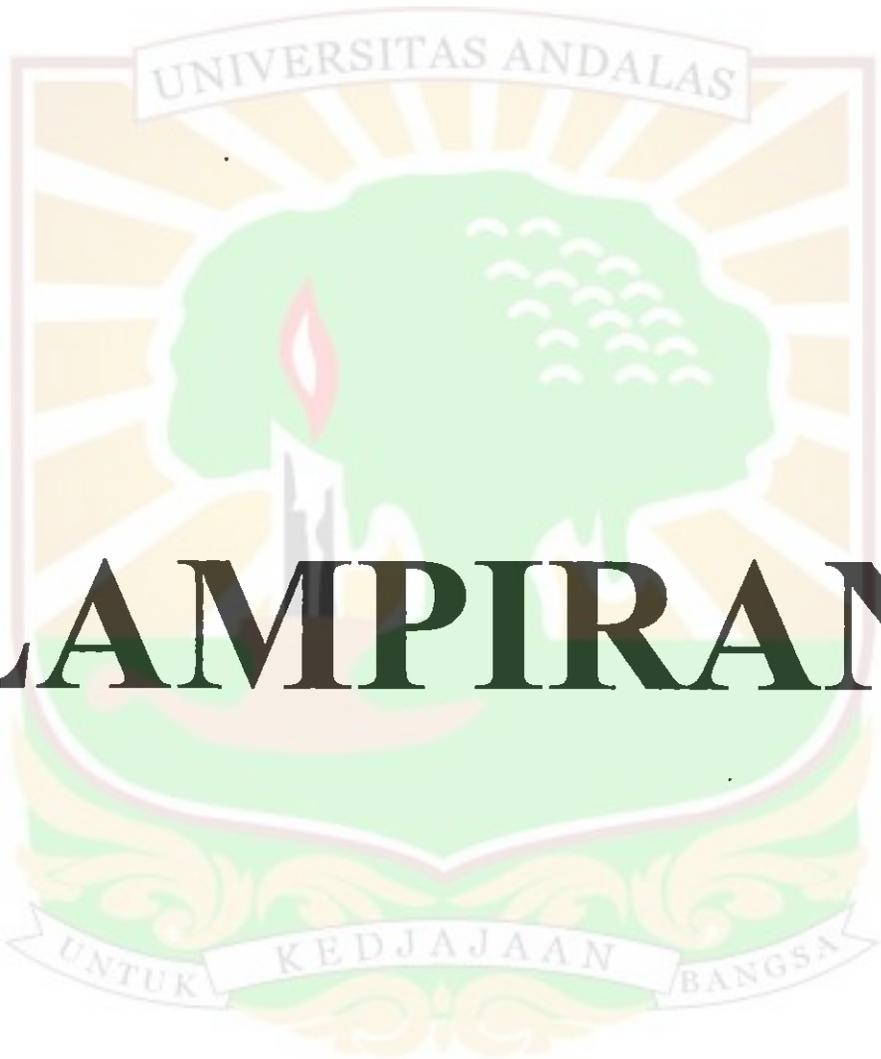
<http://www.kesehatan.kompas.com/read/2010/07/14/04331622/Isotop.Yodium.Atasi.Kanker.Prostat>. Diakses pada tanggal 25 November 2010.

[http://www.infonuklir.com/readmore/read/Radiofarmaka\\_Obat\\_Deteksi\\_&\\_Terapi\\_Kanker\\_Buatan\\_BATAN\\_Indonesia\\_Proud](http://www.infonuklir.com/readmore/read/Radiofarmaka_Obat_Deteksi_&_Terapi_Kanker_Buatan_BATAN_Indonesia_Proud). Diakses pada tanggal 25 November 2010.

<http://www.jurug.com/?s:kanker+prostat>. Diakses pada tanggal 28 November 2010

[http://www.batan.go.id/seminar\\_nasional\\_III/SDM\\_teknologi\\_Nuklir/2007/art-8.pdf](http://www.batan.go.id/seminar_nasional_III/SDM_teknologi_Nuklir/2007/art-8.pdf). Diakses pada tanggal 01 Februari 2011.





# LAMPIRAN

### Lampiran 1

#### Data Pasien Kanker Prostat (1)

	Pasien	Umur (tahun)	Tinggi Badan (cm)	Berat Badan (kg)
1.	MF	77	162	55
2.	ED	57	170	70
3.	IS	70	160	54
4.	TL	61	171	70
5.	DF	70	168	68
6.	AN	57	165	78
7.	NB	72	150	57
8.	HS	68	156	62
9.	TR	68	156	62
10.	RB	72	156	51
<b>Total</b>	<b>Mean</b>	67,2	161,4	62,7
	<b>Median</b>	69	161	62
	<b>Sum</b>	672	1614	627
	<b>Minimum</b>	57	150	51
	<b>Maximum</b>	77	171	78
	<b>Range</b>	20	21	27

### Data Pasien Kanker Prostat (2)

Pasien	LP (menit)	DosisPr (mCi)	DosisPs (mCi)	DosisInj (mCi)	TLDJ (mSv)	TLDK (mSv)	TLDTP (mSv)	ROIJ (mCi)	ROIKK (mCi)	ROITP (mCi)	
1. MF	121	14,5	0,89	13,61	0,38	0,81	0,16	0,02	0,38	0,02	
2. ED	120	15,0	0,5	14,5	0,17	0,49	0,13	0,04	0,37	0,04	
3. IS	175	15,0	0,1	14,9	0,37	0,47	0,19	0,03	0,18	0,03	
4. TL	123	15,0	0,9	14,1	0,12	0,38	0,1	0,03	0,12	0,03	
5. DF	170	14,9	0,36	14,54	0,32	0,51	0,12	0,02	0,04	0,05	
6. AN	127	15,0	0,45	14,55	0,14	0,64	0,09	0,01	0,58	0,02	
7. NB	195	14,32	0,71	13,61	0,24	0,32	0,19	0,02	0,06	0,01	
8. HS	190	11,8	0,09	11,71	0,2	0,32	0,2	0,02	0,07	0,01	
9. TR	155	14,6	0,38	14,22	0,51	0,86	0,59	0,04	0,12	0,02	
10. RB	120	14,93	0,66	14,27	0,89	0,82	0,36	0,03	0,14	0,06	
<b>Total</b>	<b>Mean</b>	149,6	14,505	0,504	14,001	0,334	0,562	0,203	0,026	0,206	0,029
	<b>Median</b>	141	14,915	0,475	14,245	0,28	0,5	0,175	0,025	0,13	0,025
	<b>Sum</b>	1496	145,05	5,04	140,01	3,34	5,62	2,03	0,26	2,06	0,29
	<b>Minimum</b>	120	11,8	0,09	11,71	0,12	0,32	0,09	0,01	0,04	0,01
	<b>Maximum</b>	195	15	0,90	14,9	0,89	0,86	0,49	0,04	0,58	0,06
	<b>Range</b>	75	3,2	0,81	3,19	0,77	0,54	0,4	0,03	0,54	0,05

**Keterangan :**

LP : waktu yang terpakai mulai dari pasien diinjeksi dengan radiofarmaka sampai proses pemeriksaan berlangsung

DosisPr : dosis sebelum injeksi

DosisPs : dosis setelah injeksi

DosisInj : dosis yang masuk ke dalam tubuh

TLDJ : hasil paparan radiasi yang terekam oleh TLD pada posisi jantung

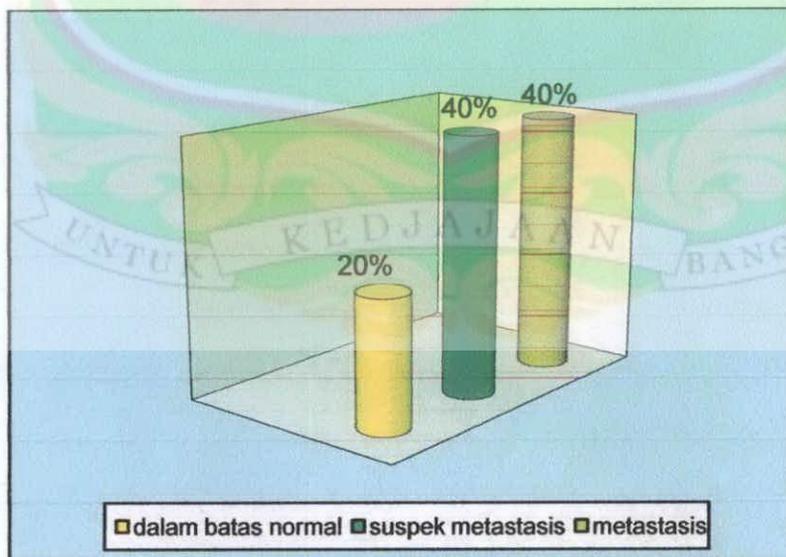
TLDKK : hasil paparan radiasi yang terekam oleh TLD pada posisi kandung kemih

TLDTP : hasil paparan radiasi yang terekam oleh TLD pada posisi tulang paha

## Lampiran 2

### Hasil diagnosis dokter di Instalasi Kedokteran Nuklir RSPP

Inisial pasien	Hasil diagnosis
1. MF	Suspect
2. ED	Suspect
3. IS	Suspect
4. TL	Normal
5. DF	Metastasis
6. AN	Metastasis
7. NB	Normal
8. HS	Suspect
9. TR	Metastasis
10. RB	Metastasis



### Lampiran 3

#### Data pasien kanker prostat dari ROI

Pasien	Sisa radiofarmaka di seluruh tubuh (cpm)	Hasil konversi (mci)
11. MF	3323257,6	11,80
12. ED	2371294	8,42
13. IS	2779005	9,87
14. TL	2120117	7,53
15. DF	1983967	7,04
16. AN	4055500.8	14,40
17. NB	1774281	6,30
18. HS	1534894.4	5,54
19. TR	1830306	6,50
20. RB	1930060	13,12

Keterangan : data sisa radiofarmaka dalam bentuk cpm dikonversikan ke mCi  
(1 mCi : 281632 cpm)



## Lampiran 4

### Data Perhitungan TLD-100

Penelitian ini menggunakan 40 paket TLD yang masing-masing paket berisi 3 TLD dan diberi kode berupa angka. Satu paket TLD ditempelkan pada tiap titik pengukuran. Paket TLD yang telah digunakan dibaca hasilnya dengan TLD *reader* kemudian dihitung rerata dari ketiga TLD tersebut. Berikut ini merupakan tabel data pasien dan kode TLD serta hasil perhitungan untuk masing-masing paket TLD.

**Data pasien dan nomor paket TLD**

NO	Kode Pasien	Kode TLD		
		Jantung	Kandung kemih	Tulang paha
1	MF	10	11	13
2	ED	18	19	21
3	IS	39	40	42
4	TL	43	45	46
5	DF	52	53	54
6	AN	112	113	115
7	NB	116	117	119
8	HS	120	121	124
9	TR	94	95	97
10	RB	99	100	98

### Hasil Perhitungan Tiap Paket TLD

Kode TLD	Background (nC)	Faktor kalibrasi (mSv/nC)	Jumlah cacahan (nC)	Paparan (mSv)
10	0,141	0,487	0,198	0,38
11	0,141	0,487	1,798	0,81
13	0,141	0,487	0,478	0,16
18	0,141	0,487	1,144	0,17
19	0,141	0,487	0,66	0,49
21	0,141	0,487	0,402	0,19
39	0,203	0,487	0,972	0,37
40	0,203	0,487	1,164	0,47
42	0,203	0,487	1,164	0,19
43	0,203	0,487	0,649	0,12
45	0,203	0,487	0,487	0,38
46	0,203	0,487	0,405	0,1
52	0,203	0,487	0,857	0,32
53	0,203	0,487	1,246	0,51
54	0,203	0,487	0,51	0,12
112	0,203	0,577	0,497	0,14
113	0,203	0,577	1,515	0,64
115	0,203	0,577	0,379	0,09
116	0,203	0,577	0,702	0,24
117	0,203	0,577	0,867	0,32
119	0,203	0,577	0,591	0,19
120	0,203	0,577	0,612	0,2
121	0,203	0,577	0,853	0,32
124	0,203	0,577	0,62	0,2
94	0,203	0,577	1,137	0,51
95	0,203	0,577	1,915	0,86
97	0,203	0,577	1,658	0,49
99	0,203	0,577	2,089	0,89
100	0,203	0,577	5,504	0,82
98	0,203	0,577	1,716	0,36

### Lampiran 5

#### Perbandingan antara sinar- $\alpha$ , sinar- $\beta$ dan sinar- $\gamma$

No.		Sinar- $\alpha$	Sinar- $\beta$	Sinar- $\gamma$
1.	Bentuk	Merupakan sinar partikel yaitu suatu inti He yang bergerak cepat.	Merupakan sinar partikel yaitu suatu elektron yang bergerak dengan kecepatan tinggi.	Merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang sangat pendek.
2.	Asal	Dari proses peluruhan inti radioisotop atau dari suatu alat akselerator.	Dari hasil proses peluruhan inti radioisotop.	Dari peluruhan inti radioisotop tertentu.
3.	Muatan Listrik	Positif (+)	Positif (+) dan Negatif (-)	Tak bermuatan (netral).
4.	Daya tembus Dan kecepatan rambat	Rendah dan lambat ( $\alpha < \beta < \gamma$ )	Agak besar dan cepat ( $\alpha < \beta < \gamma$ )	Besar sekali ( $\gamma > \beta > \alpha$ )
5.	Daya destruksi	Internal: Besar sekali ( $\alpha > \beta > \gamma$ ) Eksternal : Kecil sekali ( $\alpha < \beta < \gamma$ )	Internal: Agak besar ( $\alpha > \beta > \gamma$ ) Eksternal : Sedang ( $\alpha < \beta < \gamma$ )	Internal: Kecil ( $\gamma < \beta < \alpha$ ) Eksternal : Besar sekali ( $\gamma > \beta > \alpha$ )
6.	Bahan penahan	Sehelai kertas, lapisan tipis udara	Lapisan aluminium (Al) (tebal dalam mm)	Lapisan timbal (Pb) (tebal dalam cm-m)
7.	Pengaruh medan magnet	Dibelokkan dengan tajam	Dibelokkan sedikit dengan arah berlawanan sinar alpha.	Tidak terpengaruh (berjalan lurus)

## Lampiran 6

### Beberapa Radiofarmaka Produksi PPTN/BATAN Untuk Kedokteran Nuklir

No.	Senyawa bertanda	Tujuan Penatahan Organ
1.	Tc-99m Pirofosfat	Tulang, jantung
2.	Tc-99m Metilen difosfonat	Tulang
3.	Tc-99m Na Trifosfat	Tulang
4.	Tc-99m HEDSPA	Tulang
5.	Tc-99m Filat	Hati
6.	Tc-99m Mikrokoloid	Hati
7.	Tc-99m Piridoksal Glutamat	Hepatobiliar
8.	Tc-99m HIDA	Hepatobiliar
9.	Tc-99m DTPA	Ginjal
10.	Tc-99m Glukosat	Ginjal
11.	Tc-99m Glukoheptamat	Ginjal
12.	Tc-99m Human Serum Albumia	Pool darah
13.	Tc-99m Fibrinogen	Penyumbatan pembuluh darah
14.	Tc-99m Makrokoloid	Paru-paru
15.	Tc-99m Bleomisin	Tumor
16.	Tc-99m Gena	Plasenta
17.	Tc-99m Sel Darah Merah	Limfa
18.	I-131 Hippuran	Ginjal
19.	I-131 Bromsulfalein	Hati
20.	I-131 Rose Bengal	Hati
21.	I-131 Asam Oleat	Siklus asam lemak
22.	I-131 Trioleat	Siklus asam lemak
23.	I-131 RIHSA	Plasenta

## Lampiran 7

Tabel pedoman untuk memberikan interpretasi terhadap koefisien korelasi

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat rendah
0,20 – 0,399	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat
0,80 – 1,000	Sangat kuat

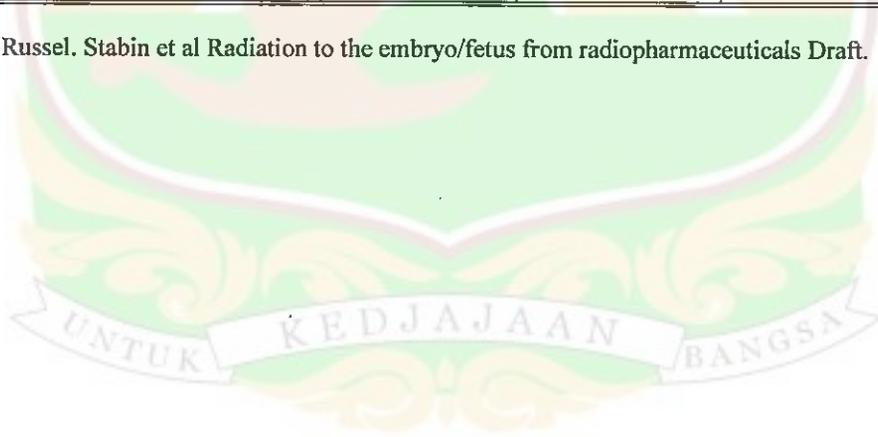


## Lampiran 8

### *Guidance levels of activity*

Examination	Radionuclide	Chemical form	Guidance level (MBq)	Effective dose (mSv)
Bone scan	Tc-99m	phosphonate	600	4.8
Brain scan	Tc-99m	pertechnetate	500	2.7
CBF	Tc-99m	HMPAO	500	5.5
Thyroid imaging	Tc-99m	pertechnetate	200	2.6
Thyroid imaging	I-123	iodide	20	3.4
Parathyroid	Tl-201	chloride	80	18
Lung perfusion	Tc-99m	MAA	100	1.2
Lung ventilation	Tc-99m	aerosol	80	0.6
Lung ventilation	Kr-81m	gas	6000	0.2
Lung ventilation	Xe-133	gas	400	0.4
Liver & spleen	Tc-99m	colloid	80	0.6
Myocardium	Tl-201	chloride	100	23
Myocardium	Tc-99m	isonitriles	600	4.2
Kidneys	Tc-99m	DMSA	160	2.5
Kidneys	Tc-99m	DTPA	350	2.2
Kidneys	I-123	hippuran	20	0.3
Tumours	Ga-67	citrate	300	36
Tumour	I-123	MIBG	400	7.2
Tumour	I-131	MIBG	20	4

Data from Russel. Stabin et al Radiation to the embryo/fetus from radiopharmaceuticals Draft. 1997



## Lampiran 9

Tabel Isotop Teknesium

Isotop	Kelimpahan alami	waktu paro	model peluruhan	Energi peluruhan (MeV)	Produk peluruhan
Tc-95m	Radioisotop sintetik	61 hari	$\epsilon$	-	Mo-95
			$\gamma$	0,204 0,582 0,835	-
			IT e	0,0389	Tc-95
Tc-96	Radioisotop sintetik	4.3 hari	E	-	Mo-96
			$\Gamma$	0,778 0,849 0,812	-
Tc -97m	Radioisotop sintetik	90 hari	IT	0,965 e	Tc -97
Tc -97	Radioisotop sintetik	$2.6 \times 10^6$ tahun	E	-	Mo-97
Tc -98	Radioisotop sintetik	$4.2 \times 10^6$ tahun	$\beta^-$	0,4	Ru -98
			$\Gamma$	0,745 0,652	-
Tc-99m	Radioisotop trace	6.01 jam	IT	0,142 0,002	Tc -99
			$\Gamma$	0,140	-
Tc-99	Radioisotop trace	$2.111 \times 10^5$ tahun	$\beta^-$	0,294	Ru-99

## Lampiran 10

### Daftar Istilah

1. **Atom** adalah bagian terkecil dari suatu unsur. Atom terdiri dari inti kecil padat berisi proton dan neutron, yang dikelilingi elektron yang bergerak.
2. **ADC (Analog To Digital Converter)** adalah konversi dari sinyal analog menjadi sinyal digital.
3. **BATAN (Badan Tenaga Nuklir Nasional)**, merupakan lembaga pemerintah non kementerian indonesia yang bertugas melaksanakan tugas di bidang penelitian, pengembangan, dan pemanfaatan tenaga nuklir. BATAN berada di bawah Kementrian Negara Riset dan Teknologi, seperti BPPT, LIPI, BAPETEN, BSN, BAKOSURTANAL, LAPAN, Lembaga Eijkman.
4. **Detektor (piranti)** adalah alat yang peka terhadap radiasi, menghasilkan sinyal respons yang dapat diukur atau dianalisis
5. **Dosis radiasi** adalah jumlah radiasi yang terdapat dalam medan radiasi atau jumlah energi radiasi yang diserap atau diterima oleh materi.

dosis serap dalam satuan Gray (Gy)	dosis ekuivalen dalam satuan Sievert (Sv)	dosis efektif dalam satuan Sievert (Sv)
Jumlah energi yang diserahkan oleh radiasi atau banyaknya energi yang diserap oleh bahan per satuan massa bahan itu. Jadi dosis serap merupakan ukuran banyaknya energi yang diberikan oleh radiasi pengion kepada medium. Untuk tujuan proteksi radiasi menyatakan dosis rata-rata pada suatu jaringan. $D = de / dm$ $1 \text{ gy} = 1 \text{ j.kg}^{-1}$	besaran dosis radiasi yang khusus digunakan dalam proteksi radiasi untuk menyatakan besarnya tingkat kerusakan pada jaringan tubuh akibat terserapnya sejumlah energi radiasi dengan memperhatikan faktor yang mempengaruhinya (dosis dan jenis radiasi serta faktor lain). Dosis ekuivalen pada prinsipnya adalah dosis serap yang telah dibobot yaitu dikalikan dengan factor bobotnya. $H_{tr} = w_r \cdot D_{tr}$	Besaran dosis yang khusus digunakan dalam proteksi radiasi yang nilainya adalah jumlah perkalian dosis ekuivalen yang diterima jaringan ( $h_j$ ) dengan faktor bobot jaringan ( $w_j$ ): $H_e = w_t \cdot H_t$ Menunjukkan keefektifan radiasi dalam menimbulkan efek tertentu pada suatu organ

6. **Dosimeter** adalah alat untuk mengukur dosis radiasi
7. **Dosis terakumulasi** adalah Jumlah dosis terserap yang diterima oleh sistem selama selang waktu tertentu
8. **Dosis ambang** adalah dosis radiasi minimum yang dapat menimbulkan efek biologis yang terdeteksi.
9. **Dosimetri Radiasi** adalah kegiatan pengukuran dosis radiasi dengan teknik pengukurannya didasarkan pada pengukuran ionisasi yang disebabkan oleh radiasi dalam gas, terutama udara. Metode ini dikenal dengan sebutan dosimetri radiasi
10. **Dosis paparan** adalah dosis penyinaran radiasi gamma atau sinar-X yang diukur berdasarkan kemampuan menghasilkan ionisasi, yang dinyatakan dalam satuan roentgen
11. **DTPA (*Diethylene Tri Penta Acetic acid*)** adalah kit farmaka yang digunakan dalam pemeriksaan fungsi ginjal di kedokteran nuklir.
12. **Elektron** adalah partikel dasar yang mempunyai massa  $9,107 \times 10^{-28}$  g dan muatan listrik  $4,8025 \times 10^{-10}$  satuan elektrostatis, muatan listrik bisa negatif (elektron negatif atau negatron) atau positif (elektron positif atau positron)
13. **Fluoresensi** adalah sifat dari bahan yang berpendar ketika disinari.
14. **Fosforisensi** adalah sifat dari bahan yang dapat berpendar terus meski tidak disinari bahan yang dapat menunjukkan gejala radioaktivitas disebut bahan radioaktif.
15. **ICRP (*International Commission Radiologi*)** adalah komisi yang mengatur nilai batas dosis yang masih diperbolehkan untuk digunakan.
16. **IRMA (*Immuno Radiometric Assay*)** adalah perangkat keras dan lunak yang digunakan untuk penunjang diagnostik secara *in-vitro*.
17. **LiF (*Lithium fluorida*)**
18. **LED (*Light Emission Detector*)**
19. **IPTEK (Ilmu Pengetahuan dan Teknologi)**

20. **MDP (*Methylene Di Phosponat*)** adalah kit bahan farmaka yang ditandai dengan  $Tc^{99}$  untuk mencapai target tulang.
21. **NBD (Nilai Batas Dosis)** adalah nilai batas ambang penggunaan dosis radiasi yang telah ditetapkan oleh komisi internasional untuk perlindungan radiologi.
22. **Neutron** adalah Partikel elementer tak bermuatan dengan massa sedikit lebih besar dari pada massa proton
23. **PET (*Positron Emission Tomography*)** adalah alat yang digunakan untuk penunjang dignostik secara *in vivo* Proton adalah partikel elementer yang mantap, memiliki muatan positif yang besarnya sama dengan muatan elektron dan memiliki massa  $1,672614 \times 10^{-27}$  kg atau 1836,12 kali lebih berat daripada massa electron. Proton terdapat disemua inti atom. ....
24. **PHA (*Pulse Heigh Analyzer*)**
25. **PTKMR (Pusat teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi)**
26. **ROI (*Region Of Interest*)** adalah perangkat lunak yang ada pada komputer kamera gamma, yang berfungsi untuk menilai suatu organ dengan cara membuat titik-titik disekitar organ yng dituju.
27. **Radiasi pengion** adalah jenis radiasi yang dapat mengionisasi atom-atom atau materi yang dilaluinya
28. **Radiasi bukan pengion** adalah jenis radiasi yang tidak mampu mengionisasi materi yang dilaluinya
29. **Radiasi elektromagnetik** adalah adiasi yang terdiri atas gabungan dan interaksi gelombang magnetik dan listrik yang bergerak dengan kecepatan cahaya, misal cahaya, gelombang radio, sinar gamma, sinar-X. Semuanya dapat dipancarkan melalui vakum.

Radiasi elektromagnetik adalah radiasi yang tidak memiliki massa. Radiasi ini terdiri dari gelombang radio, gelombang mikro, inframerah, cahaya tampak, sinar-X, sinar gamma dan sinar kosmik.

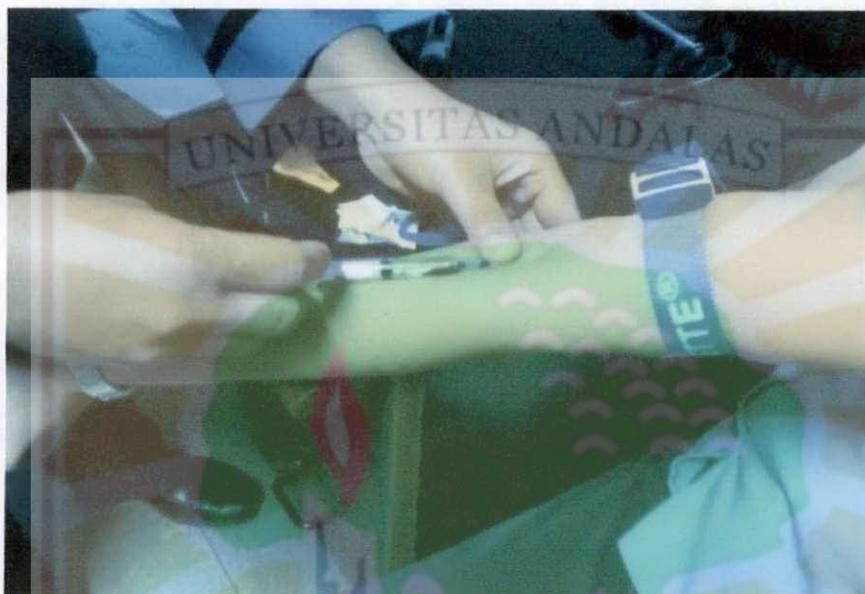
30. **Radiasi partikel** adalah radiasi dalam bentuk partikel atau Radiasi partikel adalah radiasi berupa partikel yang memiliki massa, misalnya partikel beta, alfa dan neutron.
31. **Radioaktivitas alam** adalah yang berasal dari alam dan dari radiasi kosmik
32. **Radioaktivitas buatan** adalah radiasi dipancarkan oleh radioisotop yang sengaja dibuat manusia dan berbagai jenis radionuklida dibuat sesuai dengan penggunaannya
33. **Radionuklida** adalah nuklida yang bersifat radioaktif. Radionuklida mampu memancarkan radiasi. Radionuklida dapat terjadi secara alamiah atau sengaja dibuat oleh manusia dalam reaktor penelitian
34. **Radioisotop** adalah isotop-isotop yang bersifat radioaktif
35. **RIA (Radio Immuno Assay)** adalah perangkat untuk menunjang diagnostic secara *in vitro*.
36. **RSPP (Rumah Sakit Pusat Pertamina) Peluruhan radioaktif** adalah pemancaran spontan partikel alfa atau beta atau radiasi elektromagnetik oleh atom akibat transisi yang terjadi di dalam intinya TLD (*Thermoluminesence Dosimetre*) adalah alat yang digunakan untuk memantau dosis perorangan pekerja radiasi.
37. **Sumber radioaktif** adalah bahan radioaktif yang digunakan sebagai sumber radiasi
38. **SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography)** adalah perangkat untuk menunjang diagnostic secara *in vivo*.
39. **Tc<sup>99m</sup> (Teknesium-99 metastabil)** adalah unsur logam nomor 43, yang tidak ada di alam, digunakan secara luas sebagai penanda senyawa dalam kedokteran nuklir dalam bentuk metastabil yaitu teknesium-99m, yang meluruh dengan waktu paro 6 jam dan memancarkan radiasi gamma energi tunggal 140 keV.

40. TL (*Thermoluminesensi*) adalah alat untuk memantau dosis perorangan pekerja radiasi.
41. Waktu paro ( $T_{1/2}$ ) adalah waktu yang diperlukan oleh zat radioaktif untuk meluruh sehingga jumlah zat radioaktif tersebut menjadi setengah dari jumlah semula
42. Sumber radiasi terbuka didefinisikan sebagai sumber yang bukan merupakan sumber terbungkus dan dalam kondisi normal dapat menyebabkan kontaminasi, yang dapat digunakan dalam kegiatan kedokteran nuklir untuk tujuan diagnosa, terapi dan penelitian medik.
50. Radiofarmaka adalah radionuklida atau senyawa bertanda radioaktif yang digunakan untuk tujuan diagnosis berdasarkan deteksi radiasi atau terapi berdasarkan efek fisik radiasi.



## Lampiran 12

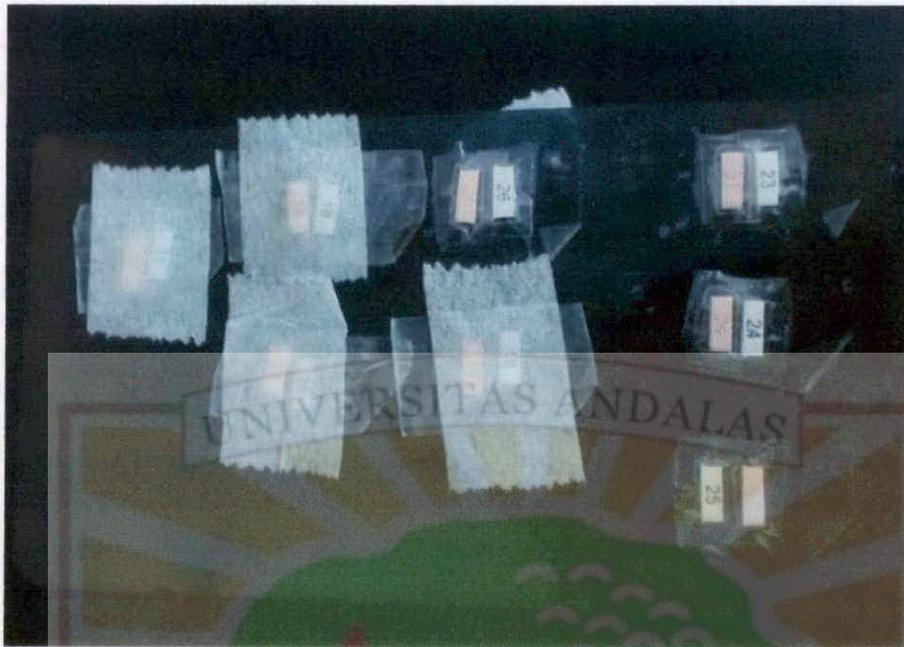
### Dokumentasi Penelitian



Radiofarmaka diinjeksikan ke dalam tubuh pasien



Pasien yang menjalani pemeriksaan tulang



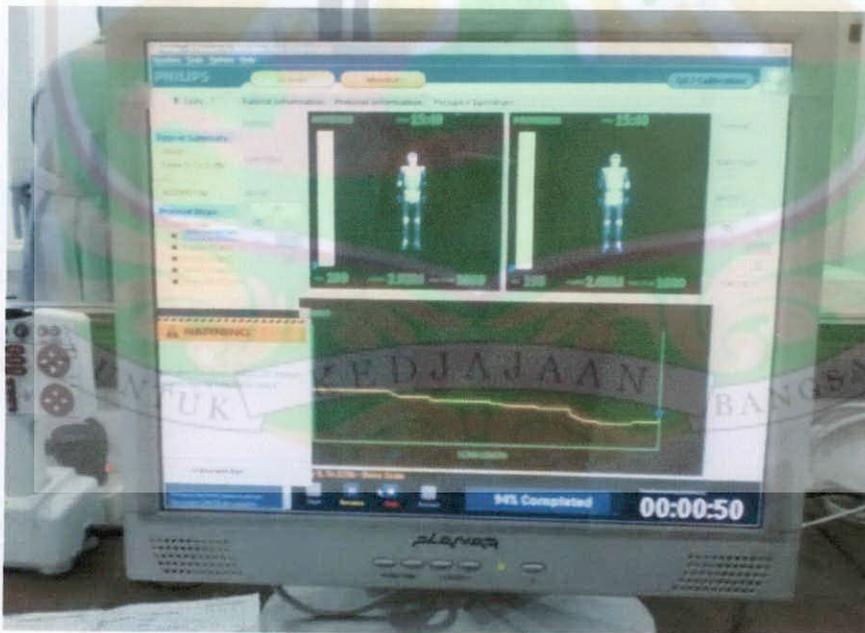
Paket TLD-100



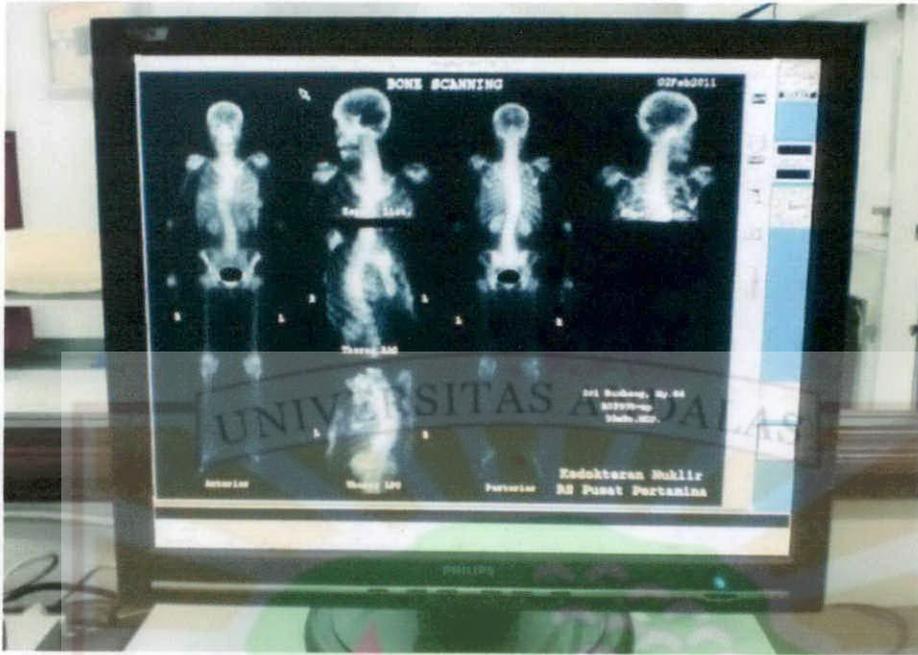
Pemasangan TLD-100 ke titik pengukuran di tubuh pasien



TLD-100 saat dicacah dengan TLD reader



Gambar yang dihasilkan pada saat pemeriksaan



Hasil Pemeriksaan *bone scan*



Peneliti saat membuat ROI



Peneliti bersama dokter, perawat, radiografer dan staf kedokteran nuklir RSPP Jakarta



Peneliti bersama staf dosimetri PTKMR BATAN Jakarta