



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 AKUMULASI Technetium-99 Metastabil Methylene Diphosphonat (Tc99M MDP) MENGGUNAKAN TEKNIK ROI PADA TULANG PANGGUL KIRI DARI PASIEN KANKER PROSTAT (Studi Kasus di Instalasi Kedokteran Nuklir RS Pusat Pertamina Jakarta)

SKRIPSI



**RAMACOS FARDELA
07135025**

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

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kehadirat ALLAH SWT, atas rahmat dan karunia-NYA, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan skripsi dengan judul “ Penentuan akumulasi *Technetium-99 metastabil Methylene diphosphonat* (Tc^{99m} MDP) menggunakan teknik ROI pada tulang panggul kiri dari pasien kanker prostat (Studi Kasus di Instalasi Kedokteran Nuklir RS Pusat Pertamina Jakarta“. Salawat beriringan salam untuk Nabi Muhammad, SAW yang telah membawa ajaran yang diridhoi-NYA. Penulisan skripsi merupakan salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana program S1 Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Andalas.

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan Tugas Akhir ini, yaitu kepada :

1. Kedua orang tua, Kakak, Keponakan, Ibu atas segala doa, semangat, dorongan, perhatian dan curahan kasih sayangnya.
2. Ibu Dian Milvita, M.Si sebagai pembimbing utama yang telah memberikan petunjuk, saran serta arahan selama penulisan skripsi.
3. Bapak Dr. Fadil Nazir, SpKN sebagai pembimbing lapangan yang telah memberikan petunjuk, saran, arahan selama penelitian dan penulisan skripsi.

4. Bapak Dr. Chafied Varuna, SpKN selaku pembimbing lapangan yang telah memberikan petunjuk, saran, arahan selama penelitian di RSPP
5. Pak Tetra, Mas Duta, Pak Erwin, Mbak yanti dan seluruh karyawan di instalasi kedokteran nuklir RSPP Jakarta.
6. Ketua dan Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA UNAND, seluruh dosen dan karyawan jurusan Fisika FMIPA UNAND yang telah memberikan pendidikan selama di jurusan Fisika FMIPA UNAND.
7. Bu Helfi, Bu Dyah, Bu Yati, Mba Nunung, Pak Heru, Mas Eka, dan seluruh karyawan di PTKMR bagian Dosimetri BATAN Pasar Jumat Jakarta Selatan, terima kasih atas saran dan bimbingannya.
8. Teman-teman Fisika '07 seperjuangan, kakak '03,'04,'05 dan '06, Adik-adik '08, '09,'10.
9. Teman-teman asisten Fisika Dasar, Uni-uni, Uda-uda, Ni Risa, Ni yanti, Pak mul, pak afmud', dan semua yang berjasa pada diri penulis.

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

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

Padang, April 2011

Penulis

**PENENTUAN AKUMULASI *Technetium-99 Metastabil Methylene Diphosphonat* (Tc^{99m} MDP) MENGGUNAKAN TEKNIK ROI PADA TULANG PANGGUL KIRI DARI PASIEN KANKER PROSTAT
(Studi Kasus di Instalasi Kedokteran Nuklir RS Pusat Pertamina Jakarta)**

ABSTRAK

Penelitian penentuan akumulasi *Technetium-99 metastabil Methylene diphosphonat* (Tc^{99m} MDP) menggunakan teknik ROI pada tulang panggul kiri dari pasien kanker prostat di RSPP Jakarta telah dilakukan dengan jumlah pasien 10 orang. Instrumentasi nuklir yang digunakan adalah kamera gamma *dual head Skylight ADAC Phillips* untuk pencitraan dan akuisisi data, *dose calibrator* untuk mengukur aktivitas dosis injeksi pada pasien. Metode yang digunakan untuk penentuan akumulasi dosis radiasi adalah teknik ROI, sebagai peningkatan akuisisi data pada kamera gamma. Paparan radiasi didapatkan dari cacahan TLD-100 yang dibaca menggunakan TLD-reader model 2000 A dan B. Hasil menunjukkan (1) Rerata (*mean*) akumulasi dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP di dalam cuplikan tulang panggul kiri ($0,0388 \pm 0,01644$) mCi. Teknik ROI dapat digunakan untuk menentukan aktivitas dosis radiofarmaka, yang nantinya dapat mendiagnosis metastasis kanker ke tulang. Korelasi aktivitas dosis injeksi (mCi) terhadap akumulasi dosis Tc^{99m} MDP ditunjukkan dengan persamaan garis $Y = 0,0074X - 0,0653$ (2) Rerata (*mean*) paparan radiasi interna pada tulang panggul diperoleh dari TLD-100 yaitu ($0,3303 \pm 0,23986$) mSv, hasil belum dapat menggambarkan peningkatan akumulasi dosis radiasi pada organ yang diteliti.

Kata Kunci : ROI, akumulasi dosis radiasi, Tc^{99m} MDP, *dose calibrator*, kamera gamma, kanker prostat.

DETERMINATION ACCUMULATES Technetium - 99 Metastable Methylene diphosphonate (Tc^{99m} MDP) RESORT ROI ON LEFT PELVIS OF PROSTATE CANCER PATIENT
(Case study at Nuclear Medicine Installation RS Centers Pertamina Jakarta)

ABSTRACT

Determination research accumulates Technetium-99 metastable Methylene diphosphonate (Tc^{99m} MDP) used ROI teknik on left pelvis of prostate cancer patient at RSPP Jakarta was done by total patient 10 person. Nuclear medicine instrumentation that used gamma camera dual head Skylight ADAC Phillips to imaging and data processing, dose calibrator used measure dose activity on patient. Method that utilized for determination to accumulate radiation dose is teknik ROI, as increasing data processing on camera gamma. Radiation exposure to be of TLD 100 read to TLD reader model 2000 A and B. Result points out (1) mean accumulates dose radiation Tc^{99m} MDP in left pelvis ($0,0388 \pm 0,01644$) mCi. Teknik ROI can be utilized to determine radiopharma dose activity, it's following that diagnosis metastasis cancer to bone. Correlation dose activities injection to accumulates radiation dose on pelvis by equation $Y = 0,0074X - 0,0653$. (2) mean interna radiation exposure on pelvis from TLD 100 which ($0,3303 \pm 0,23986$) mSv, result can't figure radiation dose accumulation step-up on organ that is analyzed.

Key Words: ROI, accumulates dose radiation, Tc^{99m} MDP, dose calibrator, gamma camera, cancer prostate.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	ii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang.....	1
1.2 Tujuan penelitian.....	4
1.3 Manfaat penelitian.....	4
1.4 Batasan masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tinjauan pustaka.....	6
2.2 Landasan teori.....	7
2.2.1 Radioaktivitas.....	7
2.2.2 Kedokteran nuklir.....	10
2.2.3 Radiofarmaka.....	11
2.2.4 Tc^{99m} (<i>Technetium-99 metastabil</i>).....	13
2.2.5 <i>Dose calibrator</i>	15
2.2.6 Kamera gamma.....	17
2.2.7 <i>Thermoluminescence dosimetre (TLD)</i>	20
2.2.8 Kelenjar prostat.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Alat dan Bahan.....	27
3.1.1 Alat.....	27
3.1.2 Bahan.....	29
3.2 Tata laksana penelitian.....	31
3.2.1 Metode penempelan TLD-100.....	32

3.2.2 Metode pemeriksaan tulang (<i>bone scan</i>)	33
3.2.3 Metode penentuan <i>Region of interest</i> (ROI).....	34
3.2.4 Metode penilaian sampel TLD-100.....	35
3.2.5 Metode pengolahan data dan analisis data.....	36
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Akumulasi radioaktivitas Tc^{99m} MDP pada organ target.....	40
4.1.1 <i>Trend</i> akumulasi dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP daerah jantung, kandung kemih dan cuplikan tulang panggul	41
4.1.2 Korelasi akumulasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP terhadap aktivitas dosis radiasi (dosis injeksi) pada tulang panggul	43
4.2 Paparan radiasi Tc^{99m} MDP menggunakan TLD-100 di daerah jantung, kandung kemih dan tulang panggul kiri	45
4.2.1 <i>Trend</i> paparan radiasi menggunakan TLD-100	46
4.2.2 Perbandingan paparan radiasi TLD-100 dan akumulasi dosis radiasi Tc^{99m} MDP (ROI) pada tulang panggul	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Skema peluruhan Tc^{99m}	15
Gambar 2.2 <i>Dose Calibrator</i>	15
Gambar 2.3 Prinsip kerja kamera gamma.....	19
Gambar 2.4 Proses terjadinya peristiwa termoluminisensi pada fosfor.....	22
Gambar 2.5 Kelenjar prostat dan uretra.....	23
Gambar 2.6 Prostat normal dan kanker prostat.....	25
Gambar 3.1 TLD-100	27
Gambar 3.2 Kamera gamma <i>Skylight ADAC Philips</i>	28
Gambar 3.3 Alat baca TLD (<i>TLD-reader</i>)	28
Gambar 3.4 <i>Dose calibrator</i>	29
Gambar 3.5 Radioisotop Tc^{99m}	29
Gambar 3.6 Kit radiofarmaka MDP	30
Gambar 3.7 Diagram alir penelitian	31
Gambar 3.8 Posisi tempat peletakan TLD	32
Gambar 4.1 (a) Persentase kondisi pasien dan (b) hasil pemeriksaan pasien kanker prostat yang melakukan scan tulang	37
Gambar 4.2 <i>Trend</i> akumulasi dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP daerah jantung, kandung kemih dan cuplikan tulang.....	41
Gambar 4.3 Korelasi antara akumulasi dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP pada cuplikan tulang panggul dengan aktivitas dosis (dosis injeksi)	43
Gambar 4.4 <i>Trend</i> paparan radiasi menggunakan TLD-100 di daerah jantung, kandung kemih dan tulang panggul kiri.....	46
Gambar 4.5 Perbandingan akumulasi dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP (ROI) dan paparan radiasi (TLD-100) pada tulang panggul kiri.....	48

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Perbandingan pencitraan pada kedokteran nuklir dengan radiologi	11
Tabel 2.2 Radiofarmaka untuk diagnostik organ tubuh.....	12
Tabel 2.3 Jenis <i>Dose Calibrator</i> yang dimiliki rumah sakit.....	16
Tabel 2.4 Presentase metastasis untuk beberapa jenis kanker pada tulang	25
Tabel 4.1 Data pasien kanker prostat.....	38
Tabel 4.2 Akumulasi aktivitas dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP daerah tulang panggul kiri, jantung dan kandung kemih	40
Tabel 4.6 Paparan radiasi Tc^{99m} MDP menggunakan TLD-100 daerah jantung, kandung kemih dan tulang panggul.....	45



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. *Guidance levels of activity*

Lampiran 2. Hasil *bone scan* metastasis kanker prostat ke tulang

Lampiran 3. Hasil *bone scan* normal

Lampiran 4. Data pengamatan

Lampiran 5. Dokumentasi penelitian



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan radiasi di bidang kedokteran semakin memberikan kontribusi yang cukup besar terhadap paparan radiasi yang diterima manusia. Aktivitas pemanfaatan radiasi di bidang kesehatan yang diterima manusia meliputi radiodiagnostik, radioterapi dan kedokteran nuklir. Ketiga pemanfaatan radiasi tersebut umumnya menggunakan sumber radiasi yang spesifikasi fisiknya berbeda-beda dan bermanfaat dalam bidang kesehatan. Radiodiagnostik mengkhususkan hanya untuk penunjang diagnostik dengan memanfaatkan sinar-X antara lain roentgen dan *CT-scan*. Radioterapi, mengkhususkan hanya untuk terapi dengan sumber radiasi tertutup. Kedokteran nuklir, menggunakan sumber radiasi terbuka untuk melakukan penunjang diagnostik baik secara *in-vivo*, *in-vitro* maupun terapi radiasi interna. Dengan menggunakan kamera gamma akan diperoleh data secara fisiologi maupun *patofisiologi* dari organ tubuh. Pada saat ini di Indonesia juga sudah digunakan PET (*positron emission tomography*) pada kedokteran nuklir yaitu untuk melihat organ tubuh secara metabolik dan molekuler. Penggunaan teknik nuklir di bidang kedokteran sangat luas, sejalan dengan pesatnya perkembangan bioteknologi, serta didukung pula oleh perkembangan instrumentasi nuklir dan produksi radiofarmaka waktu paroh pendek yang lebih menguntungkan bila ditinjau dari sisi medis.

Kedokteran nuklir adalah bidang kedokteran yang memanfaatkan materi radioaktif untuk melakukan diagnosis, terapi radiasi interna untuk berbagai macam penyakit serta penelitian. Secara lengkap definisi kedokteran nuklir menurut WHO (*World Health Organization*) adalah ilmu kedokteran yang dalam kegiatannya menggunakan sumber radiasi terbuka (*unsealed source radiation*) baik untuk tujuan diagnostik, maupun untuk pengobatan penyakit (terapi radiasi interna), termasuk dalam penelitian di bidang kedokteran. Pada saat ini banyak rumah sakit di Indonesia yang sudah mengembangkan kedokteran nuklir untuk menunjang diagnosis. Salah satu rumah sakit yang memiliki instalasi kedokteran nuklir di Sumatera adalah RSUP Dr. M. Djamil Padang. Namun instrumentasi yang digunakan sudah tergolong lama, kurang memadai dan kota Padang sendiri sering diguncang gempa, sehingga mempengaruhi sistem kerja alat tersebut. Adapun rumah sakit diluar pulau Sumatera yang memiliki instrumentasi nuklir yang tergolong baru dan sistem kerja robotik terdapat di RS Pusat Pertamina Jakarta. Instrumentasi yang digunakan untuk melakukan pencitraan adalah kamera gamma *dual head Skyligh ADAC Phillips*. Pencitraan dapat dilakukan secara menyeluruh (*total body*). Untuk melakukan penelitian di bidang kedokteran nuklir yang mempertimbangkan waktu paroh suatu radiofarmaka, kamera gamma *dual head* ini cocok untuk digunakan. Selain itu peningkatan program akuisisi data yang ada pada komputer kamera gamma memberikan peluang untuk melakukan penelitian mengenai radiasi interna. Selama ini pengukuran radiasi interna masih dilakukan dengan alat yang seharusnya digunakan untuk radiasi eksterna.

Salah satu pemeriksaan yang dapat dilakukan di instalasi kedokteran nuklir RS Pusat Pertamina Jakarta adalah pemeriksaan sidik tulang (*bone scan*). Tc^{99m} MDP (*Methylene diphosphonat*) merupakan radiofarmaka bertanda yang disuntikkan ke dalam tubuh pasien. Penyuntikan radiofarmaka ini berfungsi untuk mengetahui akumulasi radioisotop pada seluruh tulang termasuk panggul dengan bantuan kamera gamma. Apabila kita dapat menentukan akumulasi radioisotop Tc^{99m} pada tulang yang *patologis* maka dapat diperkirakan bahwa seseorang yang menderita kanker sudah terdapat metastasis (penyebaran) pada tulang, sehingga stadium yang dialami oleh penderita didiagnosis sudah mencapai stadium IV (akhir). Salah satu kanker yang dapat metastasi ke tulang adalah kanker prostat. Diperkirakan metastasis kanker prostat menuju tulang yang dekat dengan kelenjar prostat yaitu tulang panggul. Diagnosis ini masih perlu dibuktikan dengan melihat seberapa banyak akumulasi radiofarmaka yang disuntikkan pada beberapa sampel pasien kanker prostat. Metastasis kanker prostat ke tulang makin menurunkan kualitas hidup penderita kanker prostat, prosedur diagnosis dengan menggunakan sediaan radiofarmaka Tc^{99m} MDP merupakan salah satu pilihan diagnosis metastasis kanker ke tulang (Juwita, R. dkk, 2009). Dampak dari temuan metastasis kanker prostat ke tulang akan meningkatkan pola dan tindakan penanganan pengobatan pada pasien. Oleh sebab itu perlu dilakukan penelitian mengenai penentuan akumulasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP (*Methylene diphosphonat*) pada tulang panggul yang didiagnosis sebagai tempat pertama metastasis kanker prostat ke tulang, dikarenakan dekat dengan kelenjar prostat. Penentuan akumulasi radiofarmaka pada tulang panggul

dapat menggunakan ROI (*region of interest*) yang terdapat di sistem akuisisi data pada komputer kamera gamma. ROI yang terdapat di komputer kamera gamma diharapkan dapat dijadikan sebagai dasar untuk penentuan paparan radiasi dan akumulasi untuk radiasi interna (yang keluar dari dalam tubuh), sehingga diharapkan dapat menggantikan penggunaan TLD-100 yang masih digunakan untuk menentukan paparan radiasi interna.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Menentukan akumulasi radioaktivitas Tc^{99m} MDP di tulang panggul menggunakan teknik ROI (*region of interest*) pada pasien kanker prostat.
2. Menentukan besarnya paparan radiasi Tc^{99m} MDP menggunakan TLD-100 di tulang panggul pada pasien kanker prostat.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian adalah:

1. Untuk dokter, dapat menentukan berapa tinggi akumulasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP pada tulang yang dicurigai (*patalogis*) dengan teknik ROI sehingga dapat diketahui apakah kanker prostat sudah bermetastasis pada tulang.
2. Untuk masyarakat umum, dapat mengetahui diagnostik kanker menggunakan radioisotop yang relatif lebih aman.

I.4 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh penentuan akumulasi dan paparan radiasi pada 10 pasien kanker prostat yang melakukan *scan* tulang di RS Pusat Pertamina Jakarta dalam waktu 1 bulan. Radiofarmaka yang digunakan Tc^{99m} MDP, organ yang diteliti adalah tulang panggul. Instrumentasi nuklir yang digunakan : kamera gamma *dual head* (pencitraan) dan *dose calibrator* (mengukur aktivitas dosis injeksi). Metode penelitian menggunakan ROI dan TLD-100. Hasil TLD-100 dibaca dengan TLD-*reader* di PTKMR Jakarta (Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi Badan Tenaga Nuklir Nasional). Analisis data menggunakan SPSS 13 dan Statistika 6.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Pustaka

Pada tahun 2009 telah dilakukan penelitian dengan judul penentuan akumulasi Tc^{99m} MDP pada beberapa titik fokus tubuh menggunakan TLD-100 di instalasi kedokteran nuklir Dr.M. Djamil Padang, salah satu titik pengukuran tersebut adalah di bagian tulang panggul, dada, dan kandung kemih. Hasil penelitian menunjukkan rerata paparan radiasi yang diterima pada masing-masing tulang dada sebesar $(0,71 \pm 0,31)$ mSv/pemeriksaan atau 0,0019 mSv/tahun, pada tulang panggul kanan $(0,50 \pm 0,16)$ mSv/pemeriksaan atau 0,0013 mSv/tahun dan pada kandung kemih $(0,83 \pm 0,49)$ mSv/pemeriksaan atau 0,002 mSv/tahun. Rerata sisa aktivitas radioisotop yang masih tertinggal di dalam tubuh setelah pemeriksaan selesai masih cukup tinggi yaitu $\pm 12,8$ mCi, sedangkan yang sampai pada kandung kemih $\pm 1,04$ mCi (Mailinatri, 2009).

Pada penelitian ini dengan judul penentuan akumulasi dan paparan radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP pada tulang panggul dari pasien kanker prostat di RS Pusat Pertamina Jakarta. Titik pengukuran yaitu tulang panggul sementara untuk organ jantung dan kandung kemih menjadi referensi organ. Besar paparan radiasi yang ditentukan adalah paparan radiasi interna (*internal radiation exposure*). Metode yang digunakan adalah teknik ROI, dan TLD-100. Instrumentasi nuklir yang digunakan untuk pencitraan tulang adalah kamera gamma *dual head*. Penelitian ini dikhususkan bagi pasien kanker prostat yang bertujuan menentukan

akumulasi dan paparan radiasi pada tulang panggul yang nantinya melihat pola metastasis kanker prostat ke tulang khususnya tulang panggul.

Perbedaan penelitian Mailinatri 2009 dengan penelitian ini adalah : lokasi pengambilan data, pasien, titik pengukuran, model kamera gamma (instrumentasi nuklir), teknik penentuan akumulasi dan paparan radiasi. Diharapkan dari penelitian yang dilakukan dengan menggunakan teknik ROI ini dapat menjadi pertimbangan untuk menentukan dosis akumulasi, paparan radiasi interna di masa yang akan datang.

2.2 Landasan Teori

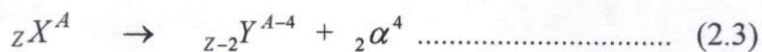
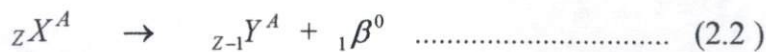
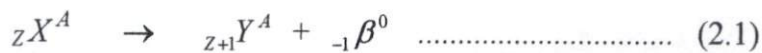
2.2.1 Radioaktivitas

Gejala Radioaktivitas ditemukan oleh Antonie Hendry Becquerel pada tahun 1896 dari pancaran radiasi uranium. Dua tahun setelah itu, Marie Curie meneliti radiasi uranium dengan menggunakan alat yang dibuat oleh Pierre Curie, yaitu pengukur listrik *piezo* (lempengan kristal yang biasanya digunakan untuk pengukuran arus listrik lemah), dan Marie Curie berhasil membuktikan bahwa kekuatan radiasi uranium sebanding dengan jumlah kadar uranium yang dikandung dalam campuran senyawa uranium. Disamping itu, Marie Curie juga menemukan bahwa peristiwa peluruhan tersebut tidak dipengaruhi oleh suhu atau tekanan, dan radiasi uranium dipancarkan secara spontan dan terus menerus tanpa bisa dikendalikan. Marie Curie juga meneliti campuran senyawa lain, dan menemukan bahwa campuran senyawa thorium juga memancarkan radiasi yang sama dengan campuran senyawa uranium, gejala pancaran radiasi secara spontan

dari uranium disebut gejala radioaktivitas, sedangkan bahan yang dapat menunjukkan gejala radioaktivitas disebut bahan radioaktif. Jadi radioaktivitas merupakan peluruhan spontan isotop tak stabil menjadi isotop lain disertai pancaran radiasi.

Suatu 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.

Zat yang mampu memancarkan sinar radioaktif kebanyakan adalah unsur-unsur berat, terutama unsur yang memiliki nomor massa (A) lebih besar daripada 200. Dari ketiga jenis radiasi yang dikenal, adalah partikel alfa (partikel- α) dan partikel beta (partikel- β) dan sinar- γ yang merupakan energi atau foton. Peluruhan dengan memancarkan partikel alfa (partikel- α), partikel beta (partikel- β) dan sinar- γ dapat dilihat dari persamaan (2.1), (2.2), (2.3) dan (2.4):



Pancaran sinar 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 alfa (partikel- α) atau partikel β (partikel- β) untuk mencapai tingkat energi dasar atau keadaan stabil. Oleh sebab itu, perubahan inti yang menghasilkan partikel alfa (partikel- α) ataupun partikel β (partikel- β) biasanya diikuti dengan pancaran sinar gamma.

Setiap zat radioaktif mempunyai waktu paro ($T_{1/2}$), yaitu waktu yang diperlukan oleh zat radioaktif untuk meluruh sehingga jumlah aktivitas dari suatu radioisotop tersebut menjadi setengah dari jumlah semula. Semakin pendek waktu paro, semakin cepat zat radioaktif tersebut meluruh, sehingga kemampuannya untuk memancarkan radiasi berkurang dengan cepat pula. Secara umum aktivitas radioaktif dapat ditentukan dengan persamaan 2.5 dan hubungan aktivitas dengan konstanta peluruhan ditunjukkan pada persamaan 2.6.

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

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

dengan : N adalah jumlah atom radioaktif

A adalah aktivitas radioaktif (*dps (Bq)*)

t adalah waktu (s)

λ adalah konstanta peluruhan zat radioaktif (s^{-1})

2.2.2 Kedokteran Nuklir

Menurut WHO (*World Health Organization*) kedokteran nuklir adalah cabang ilmu kedokteran yang menggunakan sumber radiasi terbuka berasal dari disintegrasi inti radionuklida buatan, untuk mempelajari perubahan fisiologi, patofisiologi, metabolik, seluler, anatomi dan biokimia, sehingga dapat digunakan untuk tujuan diagnostik, terapi radiasi interna dan penelitian di bidang kedokteran. Radioisotop dapat dimasukkan ke tubuh pasien (*studi diagnostik secara in-vivo*) maupun hanya direaksikan saja dengan bahan biologis antara lain darah, urine, dan sebagainya, yang diambil dari tubuh pasien, yang lebih dikenal sebagai *studi diagnostik secara in-vitro* (dalam gelas percobaan).

Data penunjang diagnostik di kedokteran nuklir dapat diperoleh baik dengan teknik *imaging* maupun teknik *non-imaging* yang memberikan informasi mengenai fungsi organ yang diperiksa. Pencitraan (*imaging*) pada kedokteran nuklir dalam beberapa hal berbeda dengan pencitraan dalam radiologi, perbedaan ditampilkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan pencitraan pada kedokteran nuklir dengan radiologi

	Kedokteran nuklir	Radiologi
Sumber radiasi	Zat radioaktif sumber terbuka	Pesawat pembangkit radiasi (sumber tertutup)
Pembentukan citra	Emisi radiasi, perbedaan akumulasi radioisotop dalam berbagai bagian tubuh	Transmisi radiasi, perbedaan daya tembus radiasi terhadap berbagai bagian tubuh dari kepadatan
Informasi yang diberikan	Terutama fungsional/ faal	Terutama anatomis morfologis

2.2.3 Radiofarmaka

Radiofarmaka merupakan senyawa radioisotop dengan kit farmaka tertentu yang digunakan dalam bidang kedokteran nuklir, baik untuk tujuan diagnosis maupun pengobatan radiasi interna. 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. Mempunyai 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 γ (gamma) murni dengan energi 100-400 keV.
5. Tingkat bahaya paparan radiasi pada manusia dan juga lingkungan harus rendah.

Berbagai radiofarmaka yang digunakan dalam bidang kedokteran nuklir untuk tujuan diagnosis untuk berbagai organ tubuh ditampilkan dalam Tabel 2.2

Tabel 2.2 Radiofarmaka untuk diagnosis organ tubuh

Jenis Radiofarmaka	Organ	Pemakaian
Tc^{99m} MIBI, Tc^{99m} tetrafosmin, Tc^{99m} teboroksim	Jantung, payudara, seluruh tubuh	Fungsi ventrikel, volume, kanker
Tc^{99m} DTPA, Tc^{99m} glukonat, Tc^{99m} MAG-3, Tc^{99m} gluko heptonat, I-131 Hipuran, Hg^{203} klormerodrin	Ginjal	Fungsi, perfusi, tumor/ kista
Tc^{99m} ECD, Tc^{99m} HMPAO, Tc^{99m} perteknetat	Otak	Tumor, abses, ensefalitis
Tc^{99m} pirofosfat, Tc^{99m} MDP, Tc^{99m} HEDSPA, Tc^{99m} STPP	Tulang	Infeksi/ radang, tumor/kanker, metabolisme
Tc^{99m} HIDA, Tc^{99m} sulfur koloid, Tc^{99m} fitat	Hati, empedu dan kelenjar limfe	Aliran darah, abses, infeksi/ radang
Tc^{99m} perteknetat	Kelenjar tiroid kelenjar liur	Fungsi, <i>nodule</i> , infeksi, kanker
Tc^{99m} metionin, Tc^{99m} selenometionin	Pankreas	Tumor, infeksi
Tc^{99m} parteknetat, Tc^{99m} sulfur koloid,	Lambung, esophagus	Infeksi, tumor/ kanker
Tc^{99m} leukosit, Tc^{99m} sulfur koloid, Tc^{99m} RBC denaturasi	Limpa	Infeksi/ peradangan
Tc^{99m} MAA, Kr^{81m} , Tc^{99m} DTPA, Xe^{133}	Paru-paru	Emboli, enfisema, infeksi, fungsi peredaran darah

(Sumber : Nurlaila, 2002)

Radiofarmaka yang biasa digunakan untuk melakukan pemeriksaan sidik tulang adalah Tc^{99m} MDP. MDP (*methylene diphosphonat*) merupakan kit farmaka yang ditandai dengan Tc^{99m} untuk mencapai target di tulang, diperlukan waktu 2 hingga 3 jam setelah penyuntikan radiofarmaka ini akan di tangkap di tulang dan baru dapat terlihat secara optimal pada saat *scan* tulang. Dibidang kedokteran nuklir MDP ini digunakan untuk penunjang diagnostik yaitu antara lain untuk menentukan stadium pada kasus kanker yang telah bermetastasis pada tulang (*staging*), adanya fraktur atau patah tulang, osteomielitis atau infeksi tulang, tumor primer tulang, osteoarthritis atau rheumatic tulang dan juga dapat

digunakan untuk menentukan adanya suatu sellulitis atau infeksi pada jaringan bawah kulit. Ikatan antara MDP dengan Tc^{99m} secara kimia merupakan ikatan kovalen.

Dalam aplikasi klinis, pemakaian radiofarmaka untuk tujuan diagnosis dilakukan dengan metoda pencitraan menggunakan alat kamera gamma juga non pencitraan dengan perangkat renograf dan tiroid *uptake*. Pada organ normal terlihat bahwa zat radioaktif terdistribusi secara merata dan menghasilkan gambar organ yang normal, sedangkan penderita penyakit seperti kanker, gangguan fungsi pada organ maka gambar tidak normal karena distribusi dan akumulasi zat radioaktif tidak merata.

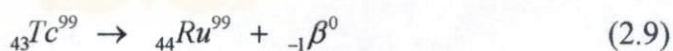
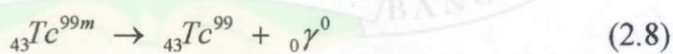
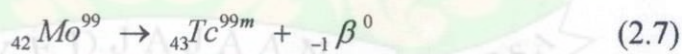
2.2.4 Tc^{99m} (*Technetium-99 metastabil*)

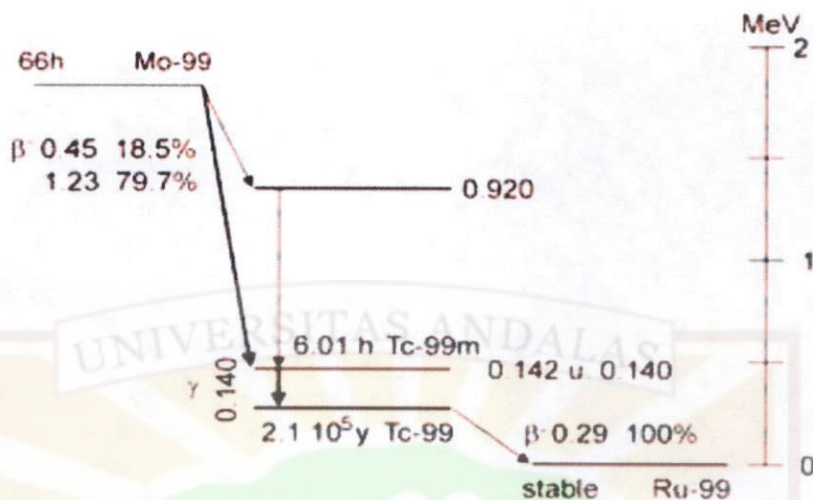
Teknesium 99 metastabil adalah radioaktif yang mengandung metal dengan bentuk yang serupa dengan platina terdapat dalam bentuk serbuk abu-abu yang memiliki nomor atom 43 dan nomor massa 99. Posisinya di dalam daftar susunan unsur kimia berkala adalah terletak pada golongan VIIB pada perioda 5 antara Rhenium dan Mangan.

Tc^{99m} merupakan suatu radionuklida buatan yang banyak digunakan untuk tujuan penunjang diagnostik. Hal ini disebabkan Tc^{99m} memiliki waktu paro pendek yaitu 6 jam sehingga dosis radiasi yang diterima pasien sangat rendah. Tc^{99m} mempunyai sifat fisika dan kimia yang sangat ideal untuk tujuan pencitraan (*imaging*) menggunakan kamera gamma karena Tc^{99m} memancarkan sinar gamma dengan energi foton yang rendah yaitu 140 KeV sehingga penggunaan Tc^{99m} pada

hampir semua organ tubuh manusia dapat ditelaah. Selain itu, Tc^{99m} dapat bereaksi dengan bermacam-macam senyawa farmaka secara stabil, tidak beracun, diharapkan harganya suatu saat akan menjadi murah, dan mudah penyediannya. 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% pada suatu generator radionuklida yang dapat dilakukan di tempat pemakai atau rumah sakit.

Molibdenum-99 merupakan induk luruh dari Tc^{99m} yang diproduksi dari reaksi inti dalam reaktor nuklir. Dan kemudian Mo^{99} meluruh menjadi Tc^{99m} disertai dengan pemancaran partikel beta negatif ($_{-1}\beta^0$) ditunjukkan pada persamaan (2.7), kemudian Tc^{99m} meluruh menjadi Tc^{99} yang disertai dengan pemancaran sinar gamma ditunjukkan pada persamaan (2.8), dan pada akhirnya mencapai keadaan stabil dalam bentuk Ru^{99} dengan melepaskan partikel beta negatif ($_{-1}\beta^0$) ditunjukkan pada persamaan (2.9) dan skema peluruhan Tc^{99m} ditunjukkan pada Gambar 2.1





Gambar 2.1 Skema peluruhan Tc^{99m}
(Sumber : Sorenson, 1990)

2.2.5 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 berfungsi sebagai katode dan silinder yang konsentris di antara dinding silinder sebagai anode. Di dalam silinder tersebut biasanya diisi gas argon atau nitrogen. Salah satu model *Dose Calibrator* ditunjukkan pada Gambar 2.2 dan beberapa jenis *Dose Calibrator* yang dimiliki rumah sakit di Indonesia ditunjukkan pada Tabel 2.3



Gambar 2.2 *Dose Calibrator* Capintec

Tabel 2.3 Jenis *Dose Calibrator* yang dimiliki rumah sakit

No.	Rumah Sakit	Jenis <i>Dose Calibrator</i>
1.	RSUPN Cipto Mangunkusumo – Jakarta	Victoreen (2 buah)
2.	RS. Harapan Kita-Jakarta	Curiementor
3.	MMC-Jakarta	Victoreen
4.	RS. Pusat Pertamina-Jakarta	Capintec
5.	RS. Fatmawati-Jakarta	Comp-U-Cal dan Capintec
6.	RS. Hasan Sadikin-Bandung	Curiemeter
7.	RS. Dokter Sutomo-Surabaya	Victoreen
8.	RS. Saiful Anwar-Malang	Medisystem
9.	RS. Karyadi-Semarang	Victoreen
10.	RS. Gatot Subroto-Jakarta	Medisystem-304
11.	RS. Dr Jamil-Padang	Medisystem-202
12.	RS. Kanker Dharmais	Victoreen

(Sumber : Nazaroh, 1997)

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 fisika, 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*. Dengan demikian untuk mencapai ketepatan pengukuran yang tinggi, perlu dipertimbangkan beberapa faktor yang mungkin mempengaruhi tingkat ionisasi yang dihasilkan.

Dose calibrator merupakan alat yang menjadi pilihan utama untuk mengukur aktivitas radiofarmaka di rumah sakit karena mempunyai beberapa keunggulan yaitu:

1. *Dose calibrator* merupakan alat ukur radiasi yang stabil untuk pengukuran aktivitas tinggi (sampai dengan arus $\pm 10^5$ pA).
2. Praktis penggunaannya, dan cepat pengukurannya.
3. Linieritasnya mudah diukur dengan Tc^{99m} .
4. Stabilitasnya mudah dikontrol dengan sumber standar waktu paro panjang seperti Ra^{226} .
5. Dapat digunakan untuk pengujian pengenceran radiofarmaka.
6. Jangkauan pengukurannya cukup besar, 20 keV – 3 MeV.
7. Cukup murah dan praktis perawatannya.

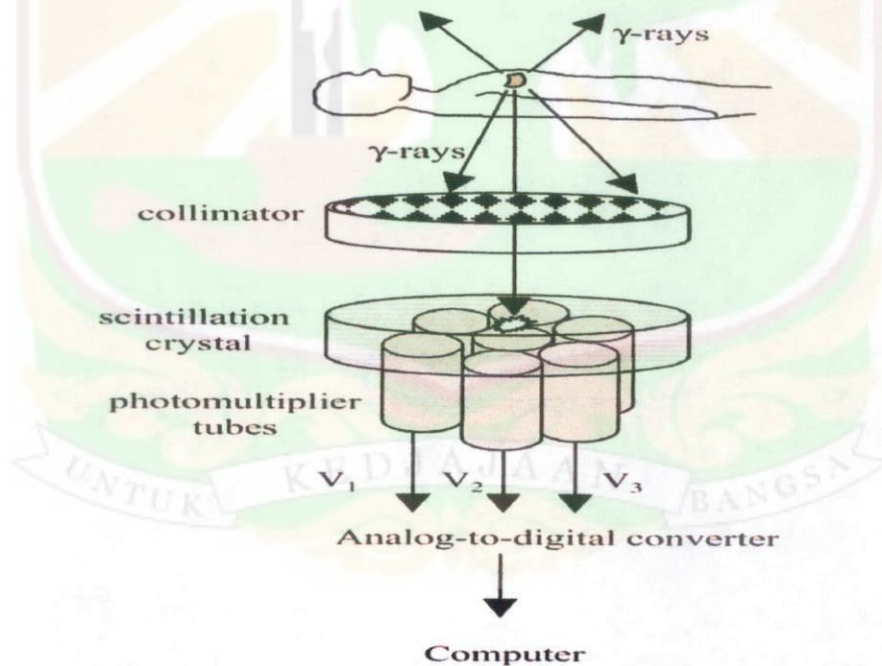
2.2.6 Kamera Gamma

Dalam pencitraan kedokteran nuklir peralatan utama yang biasa digunakan adalah kamera gamma. Kamera Gamma adalah kumpulan dari beberapa puluh detektor yang dikembangkan oleh Hal Anger pada tahun 1958 untuk pencitraan dalam menilai studi fungsional, *patofisiologi*, *metabolic* termasuk seluler dari organ tubuh sehingga dapat mengamati organ tersebut dalam keadaan hidup secara keseluruhan dalam waktu yang bersamaan, dan dilakukan tanpa melakukan tindakan secara invasif pada pasien. Salah satu pencitraan yang menggunakan kamera gamma adalah pemeriksaan tulang.

Metode pemeriksaan dengan kamera gamma untuk pasien *scan* tulang secara singkat dapat diterangkan sebagai berikut :

1. Pasien dapat diperiksa tanpa persiapan apapun.
2. Aktivitas Tc^{99m} sebesar (10- 15) mCi ditentukan menggunakan *dose calibrator*.
3. Dilakukan penyuntikan secara *intravena* pada daerah kontrealateral dari kelainan/ tempat kanker berada.
4. Radiofarmaka yang mengikuti aliran darah sampai ke organ target yaitu tulang setelah 2 sampai 3 jam pasca injeksi, yang akan memancarkan foton sinar gamma ke segala arah.
5. Pasien berbaring diatas tempat tidur pemeriksaan dalam posisi *supinasi* (terlentang).
6. Kamera gamma *dual head* melakukan *scan (whole body scan)* pada posisi kamera gamma terletak anterior dan posterior, pada jarak kurang lebih 7 cm dari permukaan tubuh.
7. Kamera gamma bergerak bersamaan dan mulai melakukan *scan* dari ujung kaki sampai ke puncak kepala.
8. Foton yang datang ditangkap oleh probe kristal NaI(Tl) (detektor sintilasi) setelah melalui lubang-lubang kolimator (sebagai pengarah dan pemilah energi dari radioisotop).
9. Dalam sintilator kristal, setiap foton sinar gamma dapat menghasilkan kilatan cahaya yang lemah.

10. Sebuah tabung pengganda foton kemudian mengubah sintilasi menjadi pulsa elektronik yang selanjutnya diintegrasikan menjadi pulsa-pulsa tegangan.
11. Pada akhirnya direkam oleh komputer sehingga dapat dihasilkan gambar yang informatif yang menunjukkan distribusi radiofarmaka dalam organ tulang seluruh tubuh serta akumulasi dapat dalam bentuk *hot spot* (titik yang sangat tinggi dari radioaktivitas pada tulang), secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Prinsip kerja kamera gamma
(Sumber : Nazir, 2008)

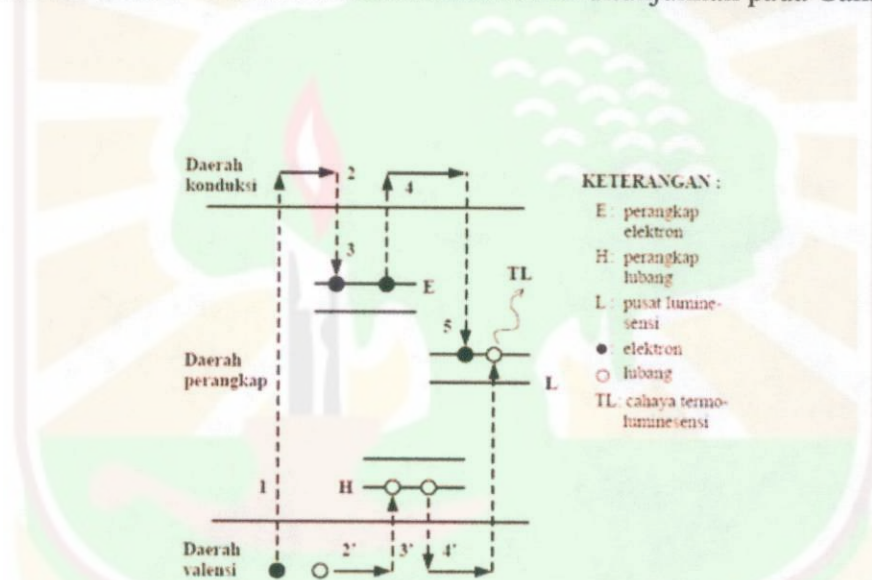
2.2.7 *Thermoluminescence Dosimetre (TLD)*

Peristiwa penyerapan energi radiasi yang diikuti dengan terjadinya pancaran cahaya tampak dari suatu bahan disebut luminesensi. Peristiwa ini terjadi karena adanya elektron-elektron yang menyerap energi radiasi dan berpindah ke orbit yang lebih tinggi, sehingga bahan berada dalam keadaan tereksitasi. Ada dua peristiwa luminesensi, yaitu fluoresensi dan fosforesensi. Fluoresensi adalah pancaran cahaya spontan, dimana pancarannya akan berakhir jika proses eksitasi yang terjadi pada bahan juga berakhir. Sedang pada peristiwa fosforesensi, pancaran cahayanya berakhir beberapa saat setelah proses eksitasi pada bahan berakhir. Ada kalanya proses fosforesensi baru terjadi jika suatu bahan mendapatkan pemanasan dari luar. Peristiwa luminesensi dengan bantuan panas dari luar ini disebut thermoluminesensi. Pancaran cahaya termoluminesensi (TL) didefinisikan sebagai pancaran cahaya dari benda padat dengan struktur kristal sebagai akibat proses eksitasi yang disebabkan oleh radiasi pengion (Yuliati, dkk 2004). Fenomena TL dapat terjadi karena adanya kerusakan kisi-kisi pada kristal. Zat padat dengan struktur kristal memiliki berbagai macam kerusakan kisi-kisi di dalamnya. Beberapa kerusakan kisi-kisi itu disebabkan antara lain oleh hilangnya atom-atom atau ion-ion dari bahan, struktur bidang kristal yang terputus atau adanya bahan-bahan asing (pengotor) yang terdapat dalam kristal. Pada daerah di sekitar terjadinya kerusakan kisi-kisi tersebut sering kali terbentuk pusat-pusat muatan listrik yang dapat menarik muatan listrik tak sejenis lainnya. Oleh sebab itu, jika elektron bergerak memasuki daerah kerusakan dimana terdapat pusat muatan positif, maka elektron akan tertarik oleh pusat muatan tersebut.

Sebaliknya, ion positif dapat tertarik memasuki daerah kerusakan kisi-kisi dimana terdapat pusat muatan negatif. Jika pusat-pusat muatan yang terbentuk cukup kuat, maka pusat muatan itu mampu mengikat ion yang tertarik padanya. Pusat-pusat muatan yang cukup kuat ini disebut sebagai perangkap, sedang kemampuan perangkap dalam mengikat ion disebut kedalaman perangkap. Tingkat kedalaman perangkap tersebut bergantung pada jenis kerusakan kisi-kisi yang terjadi. Setiap jenis zat padat dapat memiliki berbagai macam perangkap, masing-masing dengan kedalaman yang berbeda. Jika suatu kristal dicangkoki dengan bahan pengotor yang sesuai, maka dapat diperoleh kristal dengan satu jenis perangkap.

Pancaran cahaya TL merupakan fenomena fisika berupa pancaran cahaya dari suatu bahan yang dipanaskan, yang sebelumnya menyerap radiasi pengion. Pemanasan dari luar ini ternyata hanya mampu melepaskan elektron-elektron dari perangkap yang tidak terlalu dalam. Ada elektron-elektron lain yang berada di dalam perangkap dalam tidak terpengaruh oleh pemanasan pertama ini. Dengan demikian, masih ada informasi lain yang tersimpan di dalam bahan. Informasi ini dapat dikeluarkan dengan cara menyinari bahan dengan radiasi elektromagnetik, biasanya digunakan sinar ultra violet. Sinar ini dipilih karena bukan merupakan radiasi pengion dengan energi fotonnya paling tinggi dibandingkan dengan radiasi elektromagnetik bukan pengion lainnya. Penyinaran dengan sinar ultra violet ini dimaksudkan untuk memberikan energi pada elektron-elektron yang berada di perangkap dalam sehingga mampu melepaskan diri dari perangkap tersebut dan berpindah ke perangkap yang tidak terlalu dalam. Elektron-elektron yang sudah berpindah tempat ini apabila mendapatkan energi panas dari luar akan melepaskan

diri dari perangkap dan melakukan rekombinasi dengan *lubang* pasangannya semula. Jadi apabila bahan yang telah mengalami proses TL itu disinari dengan ultra violet dan mengalami pemanasan lagi, maka dari bahan tersebut akan dipancarkan lagi cahaya tampak. Proses pancaran cahaya untuk yang kedua kalinya itu disebut *phototransfer* termoluminesensi (PTTL) yang intensitasnya juga dapat diukur. Bahan yang mampu memperlihatkan fenomena TL maupun PTTL disebut fosfor. Peristiwa termoluminesensi ditunjukkan pada Gambar 2.4

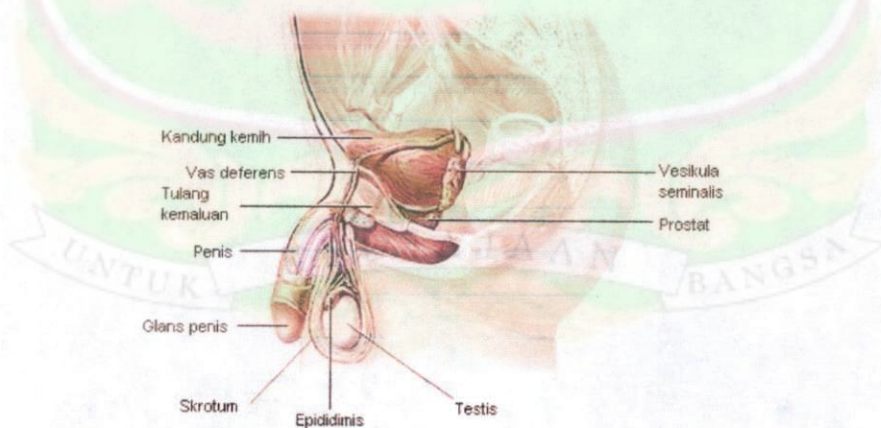


Gambar 2.4 Proses terjadinya peristiwa termoluminesensi pada fosfor
(Sumber : Akhadi, 2000)

2.2.8 Kelenjar Prostat

Prostat adalah suatu organ genital interna pria berupa kelenjar yang *fibromuskular*, terletak persis dibawah kandung kemih. Massa prostat pada orang dewasa normal kira-kira 20 gram, didalamnya terdapat *urethrae posterior* dengan panjangnya (2,5 hingga 3) cm. Kelenjar prostat dikelilingi oleh otot polos yang berkontraksi selama ejakulasi, mengeluarkan lebih kurang 0,5 ml cairan prostat tetapi fungsi pasti cairan ini belum diketahui, paling tidak sebagai medium

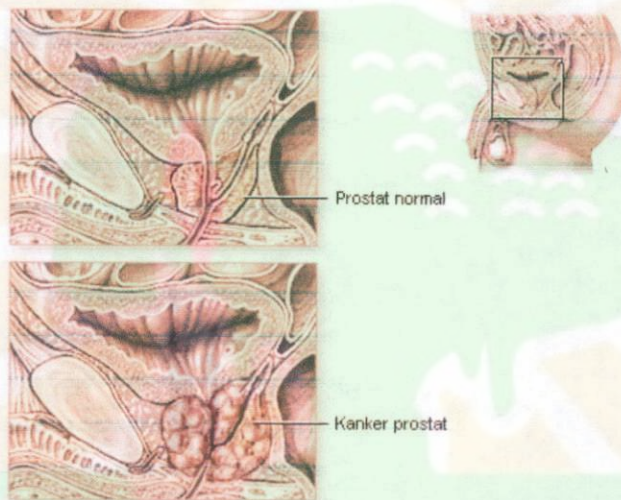
pembawa sperma, Gambar 2.5 menunjukkan kelenjar prostat dan uretra. Prostat adalah organ yang bergantung pada pengaruh hormon endokrin, dapat dianggap sama pada wanita yaitu kelenjar payudara. Pengetahuan mengenai sifat hormon endokrin ini masih belum pasti, tetapi pada penegebirian kelenjar prostat jelas akan mengecil. Jadi prostat dipengaruhi oleh hormon androgen, ternyata bagian yang sensitif terhadap androgen adalah bagian perifer, sedangkan yang sensitif terhadap estrogen adalah bagian tengah. Karena itu pada orang tua bagian tengahnya yang mengalami hiperplasia (sel memanjang secara fisiologis pada usia lanjut), oleh karena sekresi androgen yang berkurang sedangkan estrogen bertambah secara relatif ataupun absolute (Furqon, 2003). Ini yang mengakibatkan keluhan terhadap kelenjer prostat, selain keluhan ini ada keluhan yang lebih berat yaitu kanker prostat.



Gambar 2.5 Kelenjar prostat dan uretra
(Sumber : radenbeletz.com)

Kanker prostat adalah penyakit yang menyerang kelenjar prostat dengan sel-sel kelenjar prostat tumbuh abnormal dan tidak terkendali. Prostat memegang peranan penting dalam produksi cairan ejakulasi (Rindiastuti, 2007). Data dari 13 Fakultas Kedokteran Negeri di Indonesia menunjukkan kanker prostat termasuk dalam 10 penyakit keganasan tersering pada pria. Secara umum kanker prostat dibagi menjadi dua golongan besar yaitu kanker yang masih terbatas dalam organ prostat (kanker dini) dan yang sudah menyebar keluar prostat baik ke organ sekitar maupun metastasis (penyebaran jauh atau kanker lanjut) ini seperti beberapa kanker yang lain yang dapat metastasis ke tulang, ditunjukkan pada Tabel 2.4 sedangkan Gambar 2.6 memperlihatkan prostat normal dan kanker prostat . Proses terjadinya kanker prostat, seperti juga keganasan lain, belum diketahui secara pasti. Namun dari hasil penelitian dapat diketahui beberapa faktor risiko untuk terjadinya penyakit ini, yaitu: usia lanjut, kadar hormon, ras, riwayat keluarga (Rindiastuti, 2007). Diagnostik kanker prostat dapat ditegakkan dari kecurigaan pada saat pemeriksaan colok dubur teraba ada benjolan yang abnormal atau pada pemeriksaan darah didapat peningkatan *prostate specific antigen* (PSA). Temuan ini kemudian dikonfirmasi dengan biopsi dengan bantuan trans rectal ultrasonography (TRUS) sebagai kepastian diagnostik kanker prostat. Sebanyak 50% lebih lesi yang dicurigai pada saat colok dubur ternyata terbukti suatu kanker prostat. Nilai prediktif colok dubur untuk mendeteksi adanya kanker prostat adalah 21,53%, dimana besarnya nilai tersebut tergantung pada tingkat kecurigaan pemeriksa (Umar, 2007). Colok dubur dalam memprediksi lesi masih terbatas dalam organ atau sudah menginvasi keluar kapsul sehingga mempunyai

sensitifitas sebesar 52% dan spesifisitas 81% . Untuk melihat apakah kanker prostat sudah metastasis atau menyebar ke bagian terjauh seperti tulang dapat dilakukan pemeriksaan sidik tulang menggunakan radiofarmaka dimana radiofarmaka merupakan obat farmaka non radiasi yang sudah bercampur dengan bahan yang bersifat radiasi.



Gambar 2.6 Prostat Normal dan Kanker Prostat
(Sumber : Siagian, 2007)

Tabel 2.4 Prosentase metastasis untuk beberapa jenis kanker pada tulang

KANKER PRIMER	% METASTASIS TULANG
Bronkhus	30 – 50
Mammae	50 – 80
Prostat	50 – 57
Tiroid	39
Kolorektal	5 – 10

(Sumber : Achmad, 2007)

Sidik tulang merupakan pemeriksaan yang telah lama digunakan untuk membantu menegakkan diagnosis dan mengikuti perjalanan penyakit. Sidik tulang dianggap sebagai pemeriksaan terpilih untuk deteksi dini proses metastasis kanker ke tulang salah satunya kanker prostat. Tc^{99m} MDP (*Methylene diphosphonat*) merupakan radiofarmaka yang paling sering digunakan untuk sidik tulang. Radiofarmaka ini apabila disuntikkan ke dalam tubuh secara *intra-vena* akan ditangkap oleh sel-sel *osteoblast*. Oleh karenanya sidik tulang sering pula disebut sebagai pemeriksaan pemetaan *osteoblast* (*osteoblastic mapping*). Mekanisme penangkapan radiofarmaka tersebut bergantung pada kemampuan bahan tersebut berikatan dengan ion-ion organik dan reaksinya dengan berbagai unsur organik pada tulang. Atas dasar mekanisme inilah, maka pemeriksaan sidik tulang menjadi sangat sensitif dibandingkan dengan pemeriksaan radiologi yang didasarkan adanya perubahan anatomi. Hasil positif sudah dapat diperoleh 3-18 bulan lebih awal dibandingkan pemeriksaan radiologi (Masjhur, 1999). Sehingga sidik tulang sangat berguna dilakukan bagi pasien kanker prostat guna melihat apakah kanker prostat telah bermetastasis ke tulang atau belum.

BAB III

METODE PENELITIAN

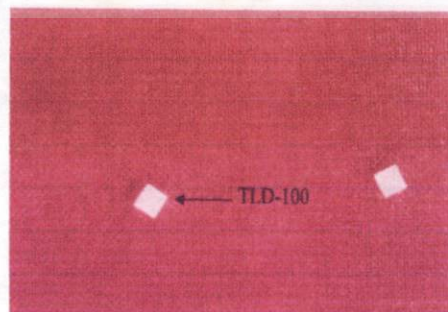
Penelitian dilakukan di instalasi kedokteran nuklir di RS Pusat Pertamina Jakarta pada 10 pasien kanker prostat yang menjalani pemeriksaan tulang. Radiofarmaka Tc^{99m} MDP diinjeksikan ke tubuh pasien, sebelumnya telah ditempelkan TLD-100 pada daerah proyeksi tulang panggul, jantung dan kandung kemih bagian tengah. TLD-100 dibaca menggunakan alat baca *TLD Reader* di bidang dosimetri PTKMR- BATAN Jakarta.

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

1. TLD-100 7LiF buatan Harshaw berbentuk chip sebanyak 45 buah dengan ukuran $(3,1 \times 3,1 \times 0,9)$ mm³.

TLD-100 digunakan untuk menyerap dosis radiasi yang diterima oleh pasien, ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 TLD-100

2. Kamera gamma

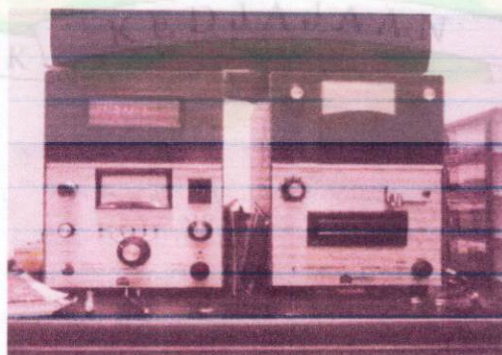
Kamera gamma digunakan sebagai alat pencitraan pada pasien yang menjalani pemeriksaan tulang, ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Kamera Gamma *Skylight ADAC Phillips*

3. Alat baca TLD (*TLD Reader*) model 2000 A dan B buatan Harshaw

TLD Reader digunakan sebagai alat untuk membaca hasil cacahan dari dosis yang diserap TLD-100, ditunjukkan pada Gambar 3.3.



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

5. Dose calibrator

Dose calibrator digunakan sebagai alat untuk menghitung dosis dari aktivitas suatu radioisotop yang akan disuntikan pada pasien, ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Dose Calibrator

3.1.2 Bahan

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

Tc^{99m} merupakan radioisotop yang digunakan sebagai perunut (*tracer*) untuk menandai kit farmaka MDP, ditunjukkan pada Gambar 3.5.

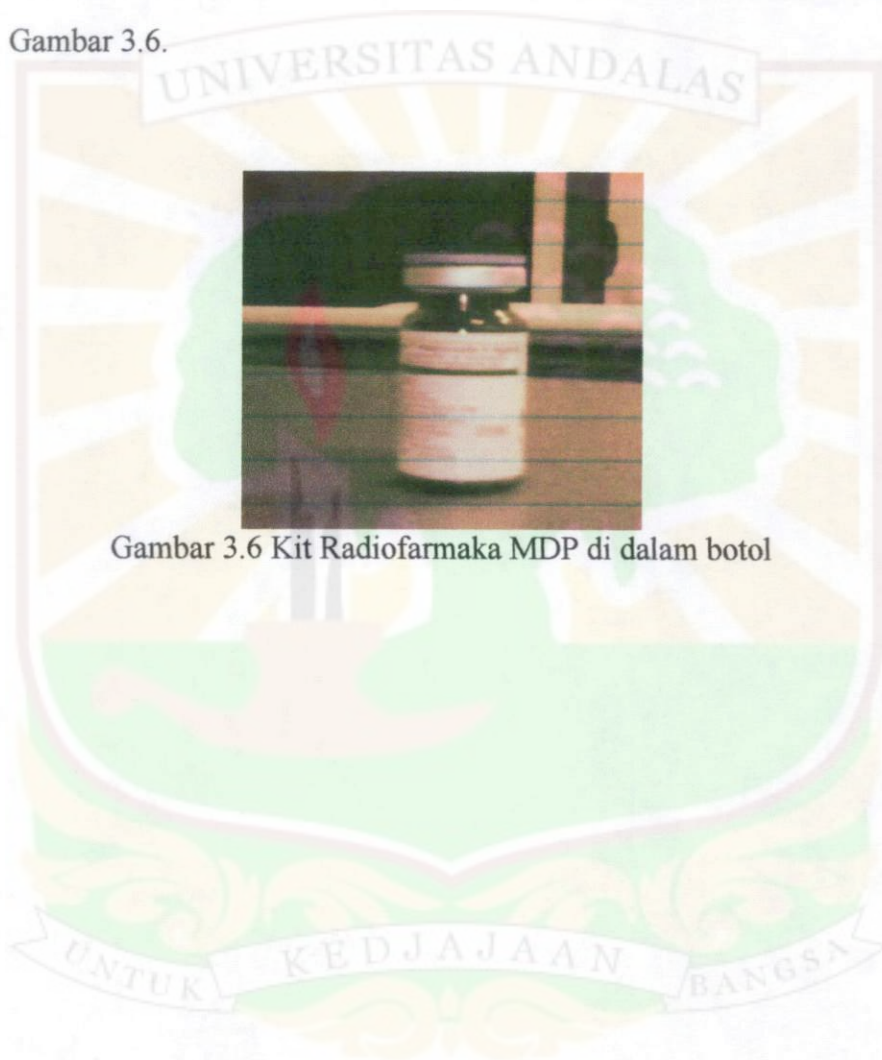


Gambar 3.5 Radioisotop Tc^{99m} di dalam jarum suntik

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

Kit Farmaka merupakan zat farmaka non radiasi digunakan sebagai zat untuk organ target, akan ditandai dengan isotop Tc^{99m} yang nantinya menuju ke seluruh tulang di tubuh pasien tersebut, ditunjukkan pada

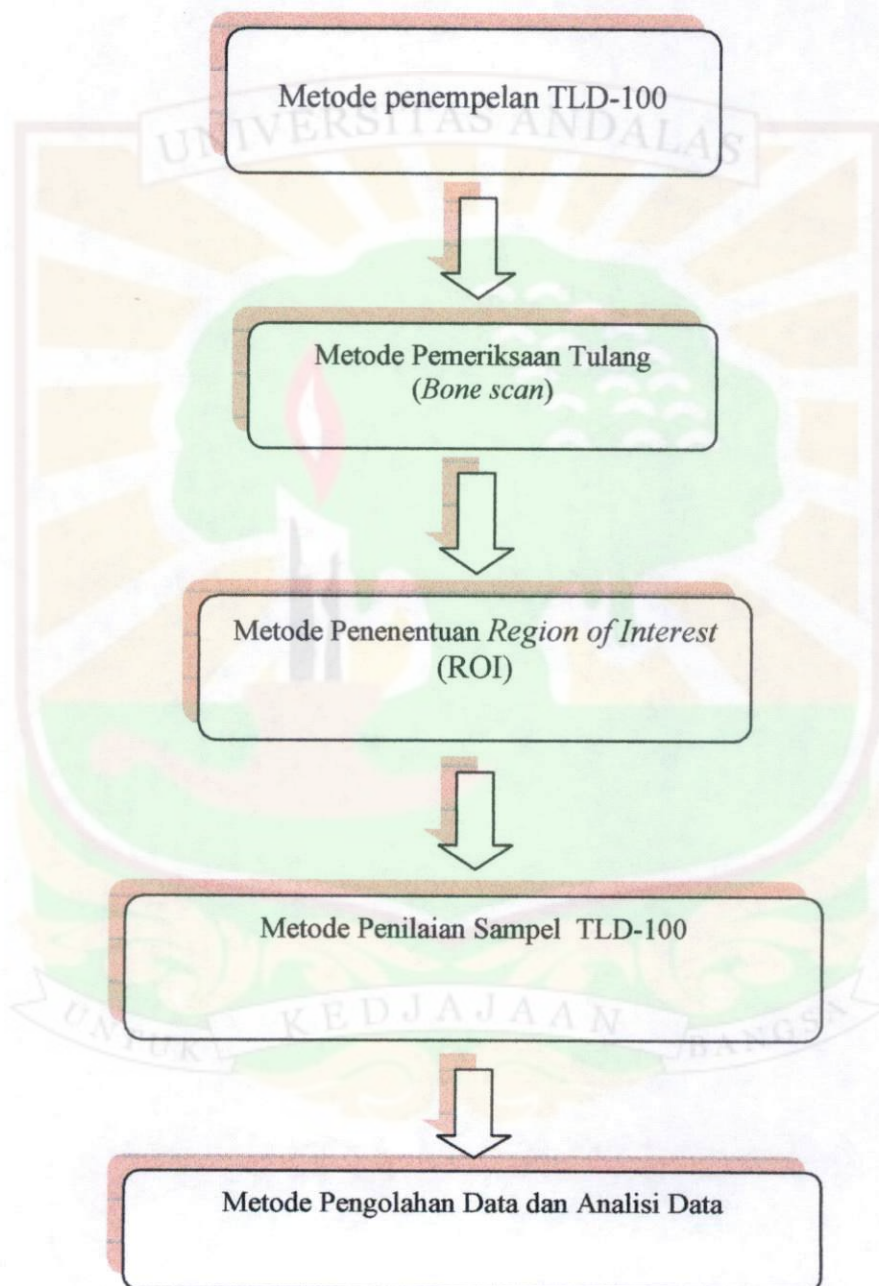
Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Kit Radiofarmaka MDP di dalam botol

3.2 Tatalaksana Penelitian

Secara keseluruhan tatalaksana penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Diagram alir penelitian

3.2.1 Metode Penempelan TLD-100

1. TLD-100 diletakan pada permukaan kulit pasien yang menjalani pemeriksaan tulang yaitu pada daerah tepat di bagian dada bagian bawah, jantung, dan kandung kemih. Posisi pemasangan TLD-100 ditunjukkan pada alur pemasangan TLD Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Posisi tempat peletakan TLD

2. TLD-100 diletakan mulai dari sebelum penyuntikan dilakukan sampai selesai pemeriksaan baru dilepas dari badan pasien.
3. Sebelum radioisotop Tc^{99m} tersebut disuntikkan ke tubuh pasien maka, radioisotop tersebut setelah diperah dari generator dan dihitung aktivitasnya didalam dose calibrator kemudian terlebih dahulu dicampur dengan radiofarmaka MDP sebanyak (10 hingga 15) mCi yang akan disuntikan untuk masing- masing pasien secara intravena
4. Kemudian pasien menunggu (2 hingga 3) jam agar radiofarmaka sudah maksimal terdistribusi keseluruh tulang.

5. Setelah waktu pemeriksaan, pasien disuruh buang air kecil kemudian pasien berbaring terlentang dengan kamera gamma berada pada posisi anterior dan posterior dalam jarak lebih kurang 7 cm dari permukaan tubuh.
6. *Scan total body* dilakukan bersamaan mulai dari ujung kaki sampai puncak 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 dilepas dari tubuh pasien yang nantinya akan dibaca dengan TLD reader, sedangkan ROI dilakukan pada komputer pemroses data kamera gamma

3.2.2 Metode Pemeriksaan Tulang (*Bone scan*)

1. Pada pemeriksaan awal dilakukan penyuntikan secara *intravena* di bagian lengan pasien dengan dosis radioisotop Tc^{99m} MDP sebanyak ± 15 mCi.
2. Setelah penyuntikan pasien di anjurkan untuk beristirahat selama 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 di letakkan dengan jarak sedekat mungkin dari pasien, Pemeriksaan ini dilakukan selama ± 20 menit untuk seluruh tubuh (*whole*

body scan) dari posisi anterior dan posterior dilanjutkan dengan pemeriksaan spot pada bagian-bagian yang mencurigakan.

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

3.2.3 Metode Penentuan *Region of Interest* (ROI)

1. Pemeriksaan menggunakan kamera gamma, yang hasil pencitraan akan ditransfer ke komputer akuisi data pada kamera gamma.
2. Penentuan ROI dengan memplot data gambar hasil pencitraan kamera gamma di daerah jantung, kandung kemih dan tulang panggul dengan bentuk persegi panjang menggunakan ukuran 3 cm x 1 cm.
3. Didapatkan data berupa *max. pixel*, *Min.pixel*, *No.pixel*, *Tot.counts*, dan *Mean value*.
4. Hasil ROI berupa *total counts* dicatat yang nantinya akan dijadikan acuan untuk menentukan akumulasi dosis pada organ yang diteliti.
5. ROI menggambarkan jumlah cacahan yang ditangkap oleh komputer kamera gamma akibat adanya akumulasi Tc^{99m} MDP pada organ yang diteliti.
6. Jumlah cacahan yang terukur ini akan dikonversi dalam bentuk dosis akumulasi (mCi).
7. Selanjutnya hasil akan dihitung kembali secara statistik dengan menggunakan statistika 6 dan SPSS 13, akan di analisa kembali secara fisis.

3.2.4 Metode Penilaian Sampel 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)

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

4. Dosis akumulasi (D) dari beberapa kali penyinaran diskrit yang diterima TLD-100 selama proses pemantauan dapat dihitung melalui perkalian antara intensitas TL_{bersih} , faktor kalibrasi ($F_{\text{kalibrasi}}$) dan faktor koreksi (F_{koreksi}) TLD-100, ditunjukkan pada persamaan (3.2).

$$D = TL_{\text{bersih}} \text{ (nC)} \times F_{\text{kalibrasi}} \text{ (mSv/nC)} \times F_{\text{koreksi}} \quad (3.2)$$

dengan:

$$D = \text{Dosis radiasi yang diterima (mSv)}$$

$TL_{bersih} = \text{Intensitas TL}$

$F_{kalibrasi} = \text{faktor kalibrasi TLD}$

$F_{koreksi} = 1$ (sama dengan Cs^{99m} (Radiologi, 2003))

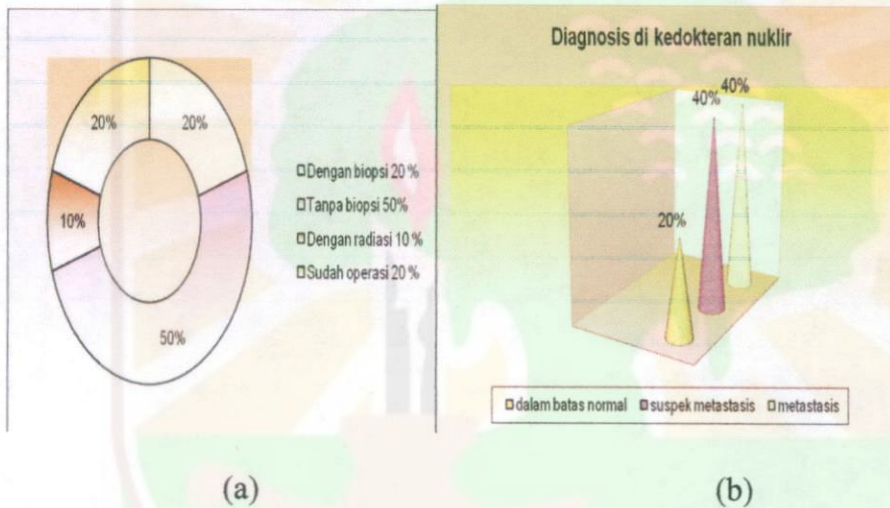
3.2.5 Metode Pengolahan Data dan Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil cacahan TLD-100 dibaca menggunakan *TLD Reader* yang dijadikan hasil untuk paparan radiasi dengan satuan mSv. Hasil yang didapatkan dari ROI berupa cacahan per menit yang diperoleh dari akumulasi Tc^{99m} yang terdapat pada tulang panggul kiri dengan referensi ROI pada daerah jantung dan kandung kemih dan nantinya akan ditentukan dosis akumulasi dengan satuan mCi. Pengolahan data menggunakan statistik untuk menilai hubungan atau korelasi dalam bentuk persamaan linier, r , p dan juga *trend* dari pola berbagai sampel yang mungkin terlihat menarik dalam penelitian ini. Hasil yang didapatkan akan dianalisis secara fisis kembali.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persentase kondisi pasien dan hasil pemeriksaan pasien kanker prostat yang melakukan *scan* tulang, ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 (a) Persentase kondisi pasien sebelum pemeriksaan (b) hasil pemeriksaan pasien kanker prostat yang melakukan *scan* tulang.

Gambar 4.1 menjelaskan (a) persentase kondisi pasien sebelum pemeriksaan dan (b) hasil pemeriksaan pasien kanker prostat yang melakukan *scan* tulang. Dari gambar terlihat bahwa kondisi pasien sebelum melakukan *scan* tulang bervariasi yaitu 20% biopsi, 50% tanpa biopsi, 10% radiasi (radioterapi) dan 20% sudah operasi. Biopsi adalah pengambilan jaringan baik yang terkena tumor maupun yang normal oleh dokter ahli *patologik* untuk menegakkan diagnostiknya. Persentase paling tinggi terdapat pada pasien tanpa biopsi.

Variasi kondisi pasien ini tidak mempengaruhi dalam penanganan pasien seperti dalam pemberian aktivitas dosis yang diinjeksikan ke tubuh pasien. Gambar 4.1 juga menjelaskan hasil akhir dari pemeriksaan, diperoleh data 2 pasien dalam batas normal (20%), 4 pasien suspek metastasis (40%), sedangkan 4 pasien lainnya (40%) metastasis ke tulang. Variasi kondisi pasien kanker prostat yang melakukan *scan* tulang belum dapat menggambarkan hasil akhir dari pemeriksaan, seperti pasien yang sudah menjalani radioterapi yang hasilnya masih metastasis. Oleh karena itu memang diperlukan *scan* tulang untuk melihat metastasis kanker prostat ke tulang.

Aktivitas dosis radiasi (dosis injeksi) Tc^{99m} MDP, umur dan lama pemeriksaan dari pasien yang melakukan *scan* tulang di RSPP Jakarta ditunjukkan pada Tabel 4.1 Data pasien kanker prostat.

Tabel 4.1 Data pasien kanker prostat

Kode pasien	Umur (tahun)	Lama pemeriksaan (menit)	Aktivitas dosis radiasi (dosis injeksi) (mCi)
1. MF	77	118	13,61
2. ED	57	120	14,50
3. IS	70	175	14,90
4. TL	61	123	14,10
5. DF	70	70	14,54
6. AN	57	127	15,55
7. NS	72	195	13,61
8. HS	68	190	11,71
9. TR	68	155	14,22
10. RB	72	120	14,27
Total	Mean	67,2	139,3
	Median	69	14,245
	Sum	672	141,01
	Minimum	57	11,71
	Maximum	77	15,55
	Range	20	3,84
	Std. Deviation	6,7132	38,8903

Tabel 4.1 menjelaskan rerata umur (*mean*) pasien adalah ($67,2 \pm 6,71$) tahun dengan rentang (*range*) usia 20 tahun antara 57 (*minimum*) tahun sampai 77 (*maximum*) tahun. Hal ini sesuai dengan literatur yang menyatakan pasien kanker prostat terbanyak adalah pada usia lebih dari 50 tahun dan akan makin meningkat dengan kenaikan usia (Furqan, 2003). Rerata (*mean*) lama waktu pengambilan data dari awal penyuntikan sampai dengan selesainya pemeriksaan *scan* tulang adalah 139,3 menit (sekitar 2,32 jam) dengan rentang (*range*) waktu 125 menit antara 70 (*minimum*) sampai 195 (*maximum*) menit. Standar deviasi yang cukup tinggi (38,89) menggambarkan waktu pemeriksaan yang tidak sama, ini dikarenakan ada pasien yang kurang mematuhi anjuran dari dokter (pemeriksaan dilakukan 2 jam setelah penyuntikan atau 160 menit). Namun tidak ada yang melebihi waktu paroh fisik dari Tc^{99m} yaitu 6 jam, sehingga tidak banyak mempengaruhi hasil pencitraan (wawancara langsung dengan dr. Chafied Varuna, Sp.K.N). Rerata (*mean*) aktivitas dosis radiasi (dosis injeksi) radiofarmaka adalah 14,1 mCi dengan rentang (*range*) dosis 3,84 mCi antara 11,71 (*minimum*) sampai 15,55 (*maximum*) mCi). Pemberian aktivitas dosis radiasi (dosis injeksi) tertinggi untuk diagnosis sidik tulang di instalasi kedokteran nuklir RSPP Jakarta terdapat pada pasien nomor 6 yaitu sebesar 15,55 mCi namun masih di bawah batas yang dianjurkan (*Guidance levels of activity* Russel, 1997) IAEA (*International Atomic Energy Agency*) ditunjukkan pada Lampiran 1, yaitu sebesar 600 MBq yang setara dengan 16,20 mCi .

4.1 Akumulasi Radioaktivitas Tc^{99m} MDP pada Organ Target

Akumulasi aktivitas dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP daerah tulang panggul kiri dengan organ referensi jantung dan kandung kemih ditunjukkan pada Tabel 4.2.

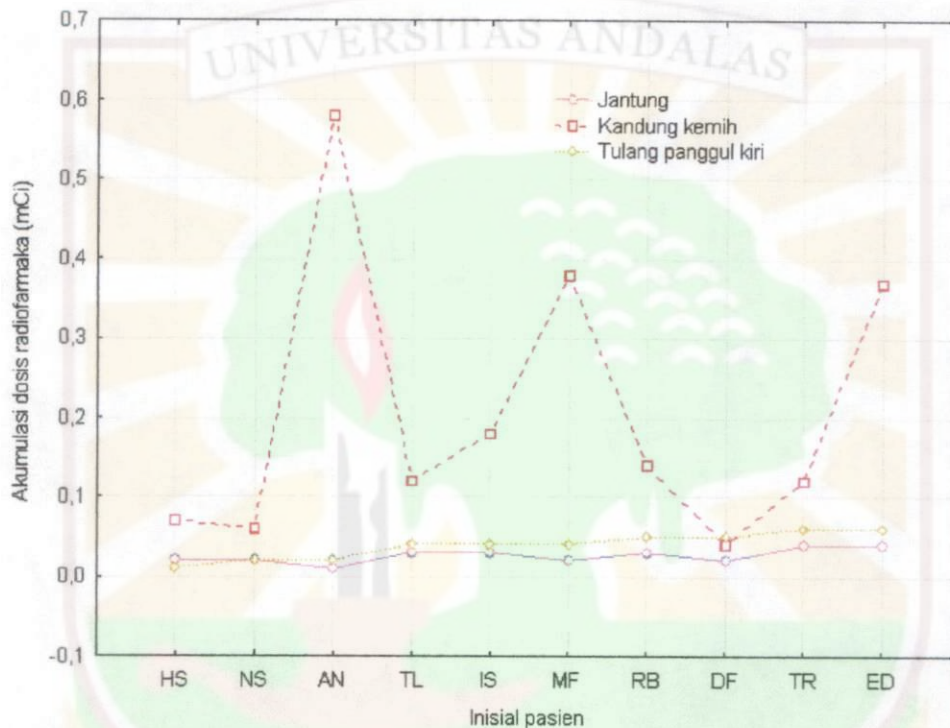
Tabel 4.2. Akumulasi aktivitas dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP daerah tulang panggul kiri, jantung dan kandung kemih (mCi).

Inisial Pasien		Jantung (mCi)	Kandung kemih (mCi)	Tulang panggul (mCi)
1.	MF	0,02	0,38	0,04
2.	ED	0,04	0,37	0,06
3.	IS	0,03	0,18	0,04
4.	TL	0,03	0,12	0,04
5.	DF	0,02	0,04	0,05
6.	AN	0,01	0,58	0,02
7.	NS	0,02	0,06	0,02
8.	HS	0,02	0,07	0,01
9.	TR	0,04	0,12	0,06
10.	RB	0,03	0,14	0,05
Total	Mean	0,0266	0,2057	0,0388
	Median	0,0256	0,1284	0,0433
	Sum	0,27	2,06	0,39
	Minimum	0,01	0,04	0,01
	Maximum	0,04	0,58	0,06
	Range	0,03	0,54	0,05
	Std. Deviation	0,00881	0,17765	0,01644

Diperoleh rerata (*mean*) akumulasi dosis radiasi radioaktif Tc^{99m} MDP pada: jantung ($0,0266 \pm 0,00881$) mCi, dengan rentang (*range*) 0,03 mCi antara 0,01 (*minimum*) sampai 0,04 (*maximum*) mCi, pada kandung kemih diperoleh rerata (*mean*) ($0,2057 \pm 0,17765$) mCi, dengan rentang (*range*) 0,54 mCi antara 0,04 (*minimum*) sampai 0,01 (*maximum*) mCi) dan pada panggul diperoleh rerata (*mean*) ($0,0388 \pm 0,01644$) mCi dengan rentang (*range*) 0,05 mCi antara 0,01 (*minimum*) sampai 0,06 (*maximum*) mCi.

4.1.1 Trend Akumulasi Dosis Radiasi Radiofarmaka Tc^{99m} MDP.

Trend akumulasi dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP daerah jantung, kandung kemih dan cuplikan tulang panggul, ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Trend akumulasi dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP daerah jantung, kandung kemih dan cuplikan tulang.

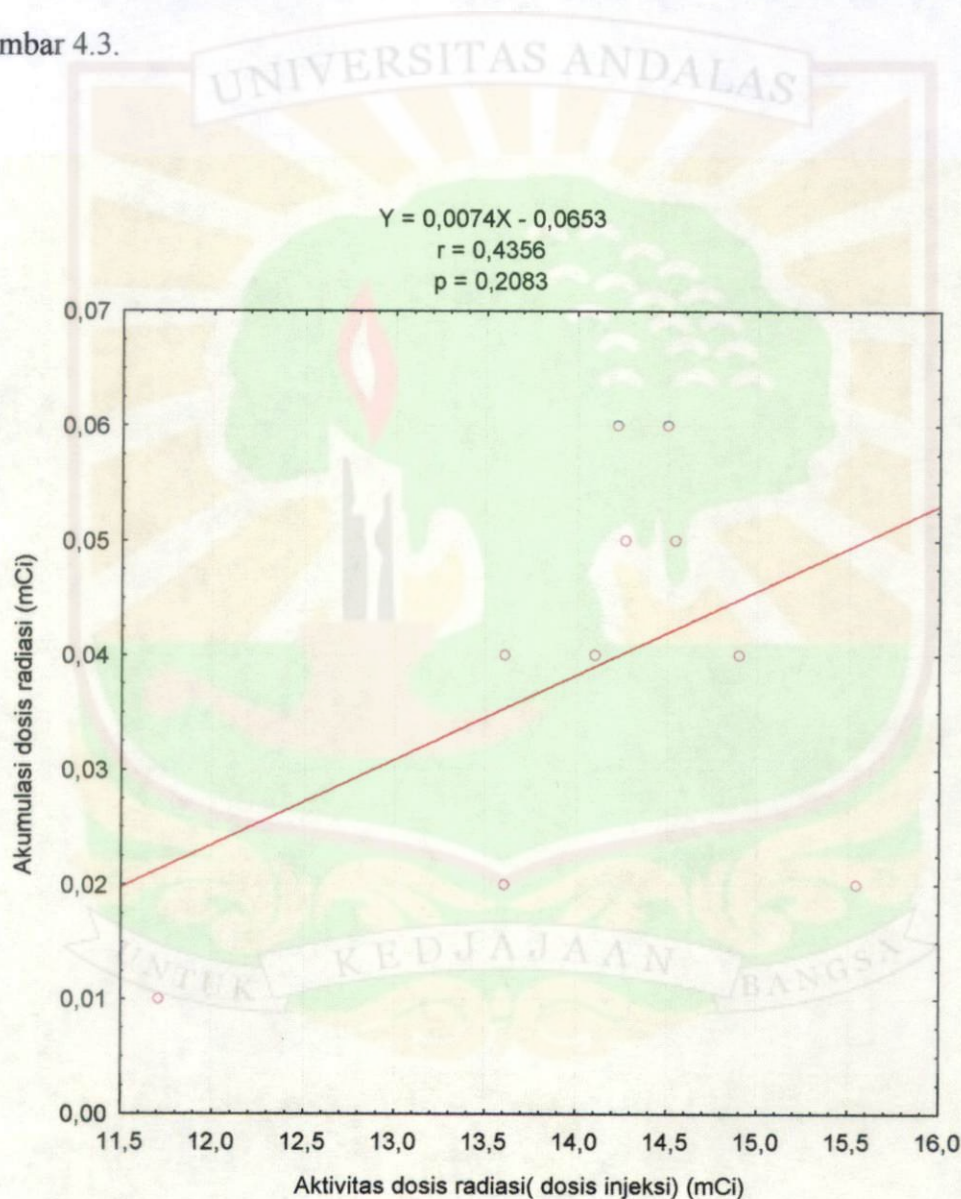
Gambar 4.2 menunjukkan bahwa akumulasi dosis radiasi pada kandung kemih lebih tinggi dari pada jantung dan tulang panggul. Radiofarmaka sampai ke kandung kemih dimana sebagai organ terakhir perjalanan radiofarmaka di dalam tubuh nantinya akan keluar bersamaan dengan urine. Untuk mempercepat keluarnya radiofarmaka dari dalam tubuh dianjurkan banyak mengonsumsi air putih. Trend akumulasi dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP pada tulang terletak antara jantung dengan kandung kemih, karena hanya menggunakan

cuplikan ROI untuk menentukan daerah akumulasi dosis radiasi di tulang panggul. Akumulasi radiofarmaka pada tulang panggul paling tinggi terdapat pada pasien inisial ED dan TR yaitu sebesar 0,06 mCi. Tingginya akumulasi radiofarmaka di tulang panggul ini dikarenakan adanya metastasis kanker prostat pada tulang panggul. Peningkatan akumulasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP yang tidak merata pada tulang menandakan adanya kelainan pada tulang, salah satu kelainan itu adalah kanker tulang (masih ada kelainan lain seperti patah tulang). Hasil pencitraan yang menggambarkan akumulasi Tc^{99m} MDP yang tidak merata (meningkat) ditunjukkan pada Lampiran 2.

Menggunakan teknik ROI untuk menentukan peningkatan akumulasi dosis radiofarmaka pada tulang-tulang lain (*patalogis*) sangat membantu dalam menentukan metastasis kanker prostat pada tulang, penentuan dapat dilakukan dengan cara membandingkan hasil ROI di beberapa titik pada tulang yang kita inginkan. Teknik ROI dapat membantu dokter dalam melihat metastasis kanker atau kelainan pada tulang sehingga tindakan penanganan pengobatan pada pasien kanker prostat dapat ditingkatkan.

4.1.2 Korelasi Akumulasi Radiofarmaka Tc^{99m} MDP terhadap Aktivitas Dosis Radiasi (dosis injeksi) pada Tulang Panggul.

Korelasi antara akumulasi dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP pada cuplikan tulang panggul dengan aktivitas dosis (dosis injeksi), ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar. 4.3. Korelasi antara akumulasi dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP pada cuplikan tulang panggul dengan aktivitas dosis (dosis injeksi)

Dari korelasi antara dosis yang disuntik ke tubuh pasien dengan akumulasi dosis yang terdapat di tulang panggul diperoleh persamaan garis $Y = 0,0074X - 0,0653$, dimana koefisien korelasi antara keduanya adalah $r = 0,4353$, dan $p = 0,2083$. Jika kita tinjau koefisien korelasi linier yaitu $0,4353$, hasil ini menggambarkan bahwa keragaman akumulasi dosis (Y) hanya dapat dijelaskan $18,97\%$ dari pemberian aktivitas dosis dalam hubungan liniernya (Walpole, 1992). Nilai korelasi yang didapatkan tidak sesuai dengan prediksi yang diharapkan, dimana hipotesis nol adalah adanya korelasi yang sangat kuat (linier) antara aktivitas dosis injeksi terhadap akumulasi Tc^{99m} MDP pada tulang panggul, dengan taraf uji sebesar $0,05$ ($p = 0,05$). Sedangkan nilai p yang didapatkan sebesar $0,2083$. Melihat tujuan pemberian dosis Tc^{99m} MDP pada pasien kanker prostat adalah untuk melihat sejauh mana penyebaran (metastasis) kanker prostat ke tulang (khususnya tulang panggul sebagai titik pengukuran) dapat menjawab hasil dari data statistik yang kurang bermakna (standar ukuran terlampir) tersebut. Dimana akumulasi dosis Tc^{99m} MDP tidak hanya dipengaruhi oleh dosis injeksi saja tapi ada faktor lain yang sangat berpengaruh yaitu metastasis kanker prostat ke tulang panggul. Metastasis kanker prostat ke tulang mengakibatkan akumulasi Tc^{99m} MDP menjadi meningkat (Masjhur, 1999).

Dari hasil yang didapatkan ini bukan berarti dalam pemberian aktivitas dosis injeksi pada pasien tidak perlu diperhatikan. Karena pemberian aktivitas dosis radiasi pada pasien untuk diagnostik harus memakai azas "justifikasi". Azas "justifikasi" adalah pemanfaatan tenaga nuklir (kedokteran nuklir) memberikan manfaat yang lebih besar baik kepada individu yang terkena paparan radiasi,

dibandingkan dengan bahaya radiasi yang ditimbulkannya. Pemakaian azas justifikasi di diagnostik ini merujuk pada peraturan pemerintah nomor 33 tahun 2007 tentang keselamatan radiasi pengion dan keamanan sumber radioaktif pasal 21 sampai pasal 24. Pemberian aktivitas dosis yang dibawah anjuran (10 mCi untuk sidik tulang) juga dapat mempengaruhi hasil pencitraan yaitu mengakibatkan hasil pencitraan menjadi sulit untuk didiagnostik (Masjhur, 1999).

4.2 Paparan Radiasi Tc^{99m} MDP Menggunakan TLD-100 di daerah Jantung, Kandung Kemih dan Tulang Panggul Kiri.

Paparan radiasi Tc^{99m} MDP menggunakan TLD-100 di daerah jantung, kandung kemih dan tulang panggul, ditunjukkan pada Tabel 4.4.

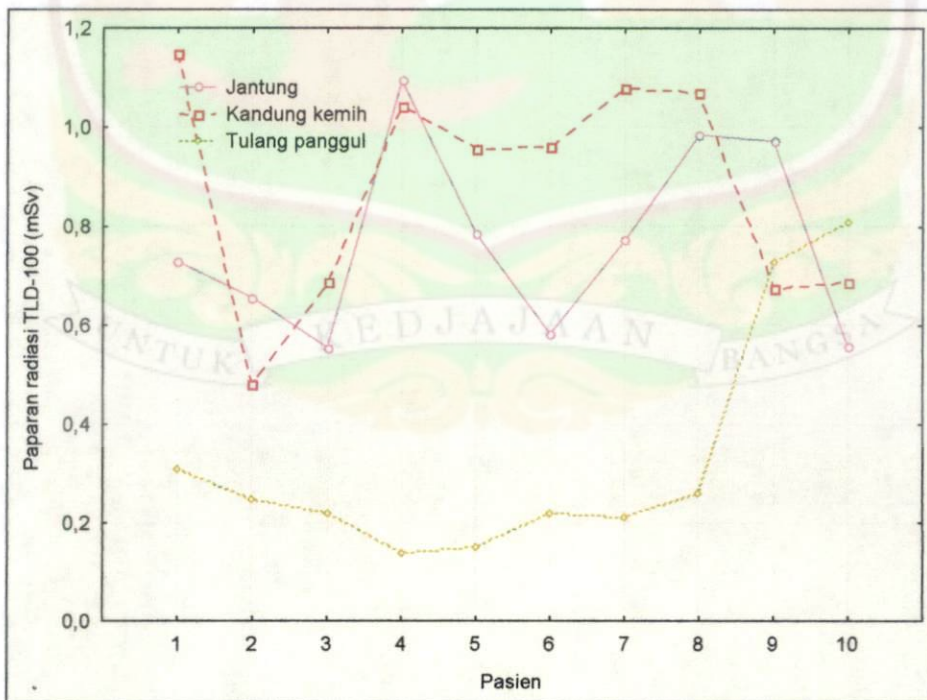
Tabel 4.4 Paparan radiasi Tc^{99m} MDP menggunakan TLD-100 di daerah jantung, kandung kemih dan tulang panggul

Kode Pasien	Jantung (mSv)	Kandung Kemih (mSv)	Tulang panggul (mSv)
1. MF	0,38	0,81	0,31
2. ED	0,17	0,49	0,25
3. IS	0,37	0,47	0,22
4. TL	0,12	0,38	0,14
5. DF	0,32	0,51	0,15
6. AN	0,14	0,64	0,22
7. NS	0,24	0,32	0,21
8. HS	0,20	0,32	0,26
9. TR	0,51	0,86	0,73
10. RB	0,89	0,82	0,81
Total	Mean	0,3341	0,5608
	Median	0,2808	0,4982
	Sum	3,34	5,61
	Minimum	0,12	0,32
	Maximum	0,89	0,86
	Range	0,77	0,54
	Std. Deviation	0,22891	0,20743

Tabel 4.4 menunjukkan rerata (*mean*) paparan radiasi akibat akumulasi Tc^{99m} MDP pada jantung ($0,3341 \pm 0,22891$) mSv, dengan rentang (*range*) 0,77 mSv antara 0,12 (*minimum*) sampai 0,89 (*maximum*) mSv, pada kandung kemih diperoleh rerata (*mean*) paparan radiasi ($0,5608 \pm 0,20743$) mSv, dengan rentang (*range*) 0,54 mSv antara 0,32 (*minimum*) sampai 0,86 (*maximum*) mSv dan pada tulang panggul diperoleh rerata (*mean*) paparan radiasi ($0,3303 \pm 0,23986$) mSv dengan rentang (*range*) 0,68 mSv antara 0,14 (*minimum*) sampai 0,81 (*maximum*) mSv.

4.2.1 Trend Paparan Radiasi Menggunakan TLD-100

Pola (*trend*) paparan radiasi menggunakan TLD-100 di daerah jantung, kandung kemih dan tulang panggul kiri, ditunjukkan pada Gambar 4.4.

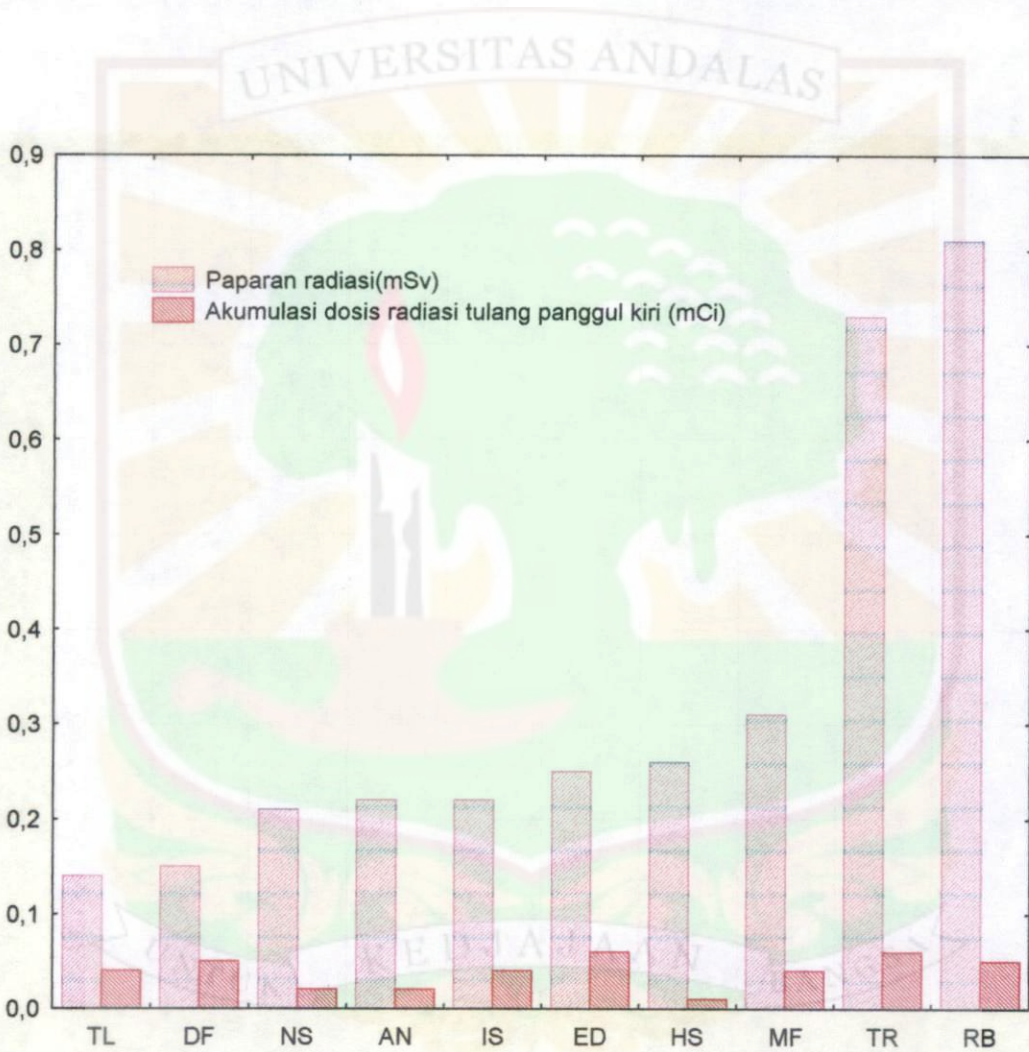


Gambar 4.4. *Trend* paparan radiasi menggunakan TLD-100 di daerah jantung, kandung kemih dan tulang panggul kiri.

Dari Gambar 4.4 terlihat bahwa paparan radiasi interna akibat akumulasi radioisotop tertinggi pada kandung kemih kemudian jantung baru terendah pada tulang panggul. Namun ada pengecualian pada pasien nomor 2, 4, dan 9 yang mana justru jantung lebih tinggi. TLD-100 dipasang proyeksi jantung, sehingga radiasi yang diterima pada daerah jantung dapat berasal paparan radiasi tulang-tulang yang berada disekitar jantung (tulang dada). Paparan radiasi pada tulang panggul terletak paling bawah, banyak faktor yang menyebabkan paparan radiasi pada tulang panggul paling rendah, diantaranya dapat disebabkan radiasi gamma yang memancar dari segala arah, kemungkinan lainnya adanya suatu ketidak stabilan alat baca dari TLD-100 atau kalibrasi alat. TLD-100 dalam penggunaannya tidak bisa menampilkan hasil dari pengukuran paparan radiasi secara langsung sehingga membutuhkan alat baca yaitu *TLD-reader*. Ketergantungan TLD-100 terhadap alat bacanya mengharuskan *TLD-reader* harus selalu dalam kondisi baik. Penggunaan *TLD-reader* yang terlalu dipaksakan dapat mengakibatkan kinerja *TLD-reader* menurun dan dapat mempengaruhi dalam hasil. Faktor lainnya adalah kurang sensitifnya TLD-100 terhadap radiasi yang berasal dari dalam tubuh (dibuktikan dengan pengujian TLD-100H, dimana dipasang secara bergandengan).

4.2.2 Perbandingan Paparan Radiasi (TLD)-100 dan Akumulasi Dosis Radiasi Tc^{99m} MDP (ROI) pada Tulang Panggul Kiri.

Akumulasi dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP (ROI) dan paparan radiasi (TLD-100) pada tulang panggul kiri, ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Perbandingan akumulasi dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP (ROI) dan paparan radiasi (TLD-100) pada tulang panggul kiri.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian pada pasien kanker prostat yang dilakukan *scan* tulang dengan Tc^{99m} MDP mulai penyuntikan sampai selesainya pemeriksaan diperoleh:

1. Rerata (*mean*) akumulasi dosis radiasi radiofarmaka Tc^{99m} MDP di dalam cuplikan tulang panggul kiri ($0,0388 \pm 0,01644$) yang diperoleh dari teknik ROI. Teknik ROI dapat digunakan untuk menentukan aktivitas dosis radiofarmaka, yang nantinya dapat mendiagnosis metastasis kanker ke tulang. Korelasi aktivitas dosis injeksi (mCi) terhadap akumulasi dosis Tc^{99m} MDP ditunjukkan dengan persamaan garis $Y = 0,0074X - 0,0653$, $r = 0,4353$, dan $p = 0,2083$.
2. Rerata (*mean*) paparan radiasi interna pada tulang panggul diperoleh dari TLD-100 yaitu ($0,3303 \pm 0,23986$) mSv, hasil ini belum dapat menggambarkan akumulasi dosis radiasi interna pada organ yang diteliti.

5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan sampel penelitian lebih diperbanyak, dengan memperhatikan dan mencatat semua data yang dapat mempengaruhi hasil.
2. Untuk melakukan penelitian lebih lanjut untuk radiasi interna, dengan menggunakan perhitungan yang dianjurkan oleh ICRP untuk radiasi interna, sehingga penentuan radiasi interna bisa lebih tepat.

Besarnya akumulasi dosis radiasi suatu radiofarmaka dalam organ mengakibatkan besarnya paparan radiasi yang diterima oleh organ tersebut, namun dari Gambar 4.5 terlihat bahwa setiap peningkatan paparan radiasi tidak selalu diikuti peningkatan akumulasi dosis radiasi. Hal ini disebabkan banyak faktor yang tidak bisa diabaikan, diantaranya *retention time within the organ* (waktu radiofarmaka berada didalam organ) yang berhubungan dengan aktivitas dosis radiasi di dalam tubuh, massa badan (*organ mass*), metabolisme tubuh yang berhubungan dengan waktu paroh biologis (*biological half-life*) jaringan (Lombardi, 1999). Sehingga penentuan paparan radiasi interna memang harus ditentukan sesuai anjuran ICRP yaitu *MIRD method (medical internal radiation dosimetry)*. *MIRD* merupakan suatu metode untuk menentukan paparan radiasi interna. Aktivitas dosis didalam organ dipengaruhi oleh lama waktu radiofarmaka berada didalam organ, dimana berhubungan dengan aktivitas dosis radiasi. Untuk menentukan akumulasi dosis di dalam organ sebaiknya menggunakan teknik ROI. Penggunaan teknik ROI ini dapat dijadikan acuan untuk memperoleh nilai paparan radiasi.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Achmad, D. 2007, *Nyeri Pada Metastasis Tulang dan Penatalaksanaannya*, FK UNPAD / RSHS : Bandung
- Bachtiar, S. 2007, *Perangkat Lunak Pelatihan Pencitraan Pada Kamera Peralatan Gamma*. Seminar nasional III, SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta 21-22 November.
- Bushberg, J.T, 2002, *The Essential Physics of Medical Imaging*, Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia, USA.
- Furqan, 2003, *Evaluasi Biakan Urin Pada Penderita BPH Setelah Pemasangan Kateter Menetap Pertama Kali dan Berulang*, Kedokteran Universitas Sumatera Utara, Digitized USU digital Library
- Hong, H, Dkk, *Kanker Prostat- Deteksi dini dan Penanganannya*, TV interview With Metro TV : Indonesia
- Juwita, R. Dkk, 2009, *Perbandingan Pola Biodistribusi Tc-99m CTMP dan Tc-99m MDP Pada Hewan Uji Sebagai Radiofarmaka Penyidik Tulang*, *Indonesian Journal of Nuclear Science and Technology* Volume X No.2, Batan: Bandung
- Lombardi, M, 1999, *Radiation Safety in Nuclear Medicine*, CRC Press. Boca Raton London New York Washington, D.C
- Nazaroh, 1997, *Dose Calibrator Alat Ukur Aktivitas Radiofarmaka di Rumah Sakit*, Buletin Alara 1(2), 35-40. BATAN
- Nazir, F, 2008, *Pengenalan Ilmu Kedokteran Nuklir*, PTKMR-BATAN, Jakarta.
- Nurlaila Z, *Penggunaan Teknik Nuklir Dalam Bidang Kedokteran Nuklir dan Sterilisasi Serta Risikonya Bagi Kesehatan*, Pusat penelitian dan pengembangan Teknik nuklir, Buletin BATAN TH.XXII No. 1
- Mailinatri, E, 2009, *Penentuan Akumulasi Radioaktivitas Tc^{99m} Methylene Di Phosphonat Pada Beberapa Titik Fokus Tubuh Menggunakan TLD-100 di Instalasi Kedokteran Nuklir RSUP Dr.M.Djamil Padang*, Skripsi Sarjana UNAND, Padang
- Masjhur, J dan Hussein, K, 1999, *Buku Pedoman Tatalaksana Diagnostik dan Terapi Kedokteran Nuklir*, RSUP Dr. Hasan Sadikin, Fakultas Kedokteran Universitas Pajajaran, Bandung

Umar, M dan Arizal, A, 2007, *Hasil Pemeriksaan Colok Dubur Pada Pasien Pembesaran Prostat Untuk Mendeteksi Kanker Prostat*, JURI Vol. 14 No 1 hal 10-12

Rindiastuti, Y. 2007, *Mekanisme Kalsium Dalam Meningkatkan Risiko Kanker Prostat Pada Usia Lanjut*, Fakultas Kedokteran Universitas Sebelas Maret. Solo.

Rumbino, C, 2008, *Studi Waktu Singgah (Transit Time) Pada Ginjal Dengan Menggunakan Tc^{99m} -DTPA*, Skripsi Tugas Akhir. Universitas Pelita Harapan, Karawaci

Siagian, A. 2007, *Penatalaksanaan Radioterapi Terkini Untuk Kasus Kanker Prostat*, RSCM, Jakarta.

Sorenson, P, 1990, *Physics in Nuclear Medicine (2nd Edition)*, Washington, D.C

Walpole, R, 1992, *Pengantar Statistika*, Gramedia Pustaka Utama, Edisi ke-3 : Jakarta

Yulianti, H dan Mukhlis, A, 2004, *Faktor-Faktor Koreksi Dalam Evaluasi Dosis Perorangan Dengan Dosimeter Termoluminisensi*, Buletin Alara, Vol.5 No. 2 dan 3, hal. 69-78

www. Radebeletz.com, *Sistem Reproduksi Pria*, Diakses 08 Februari 2011, Pukul 19.00 Wib

LAMPIRAN 1

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 Russell, Stabin et al Radiation dose to the embryo/fetus from radiopharmaceuticals Draft, 1997

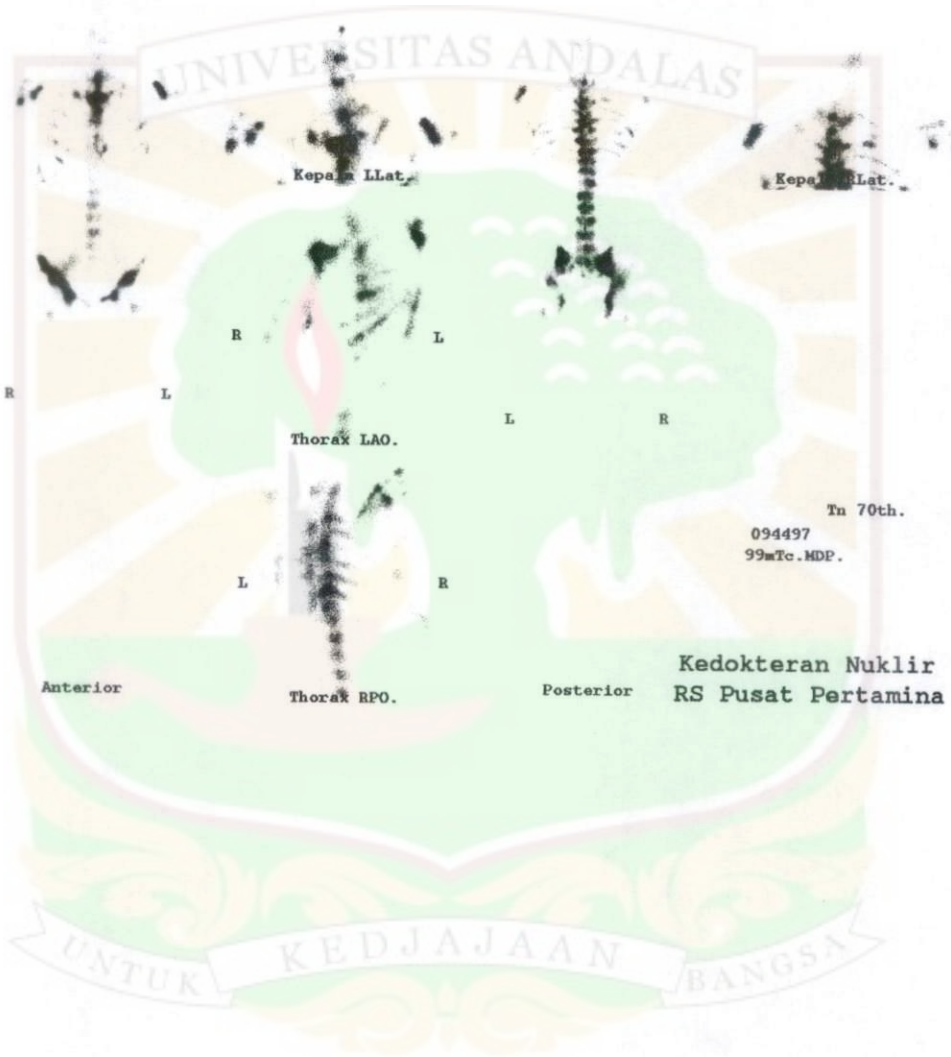
Sumber : IAEA training material on radiation protection in nuclear medicine. part 6 medical exposure protection of the patient.

LAMPIRAN 2

HASIL BONE SCAN METASTASIS KANKER PROSTAT KE TULANG

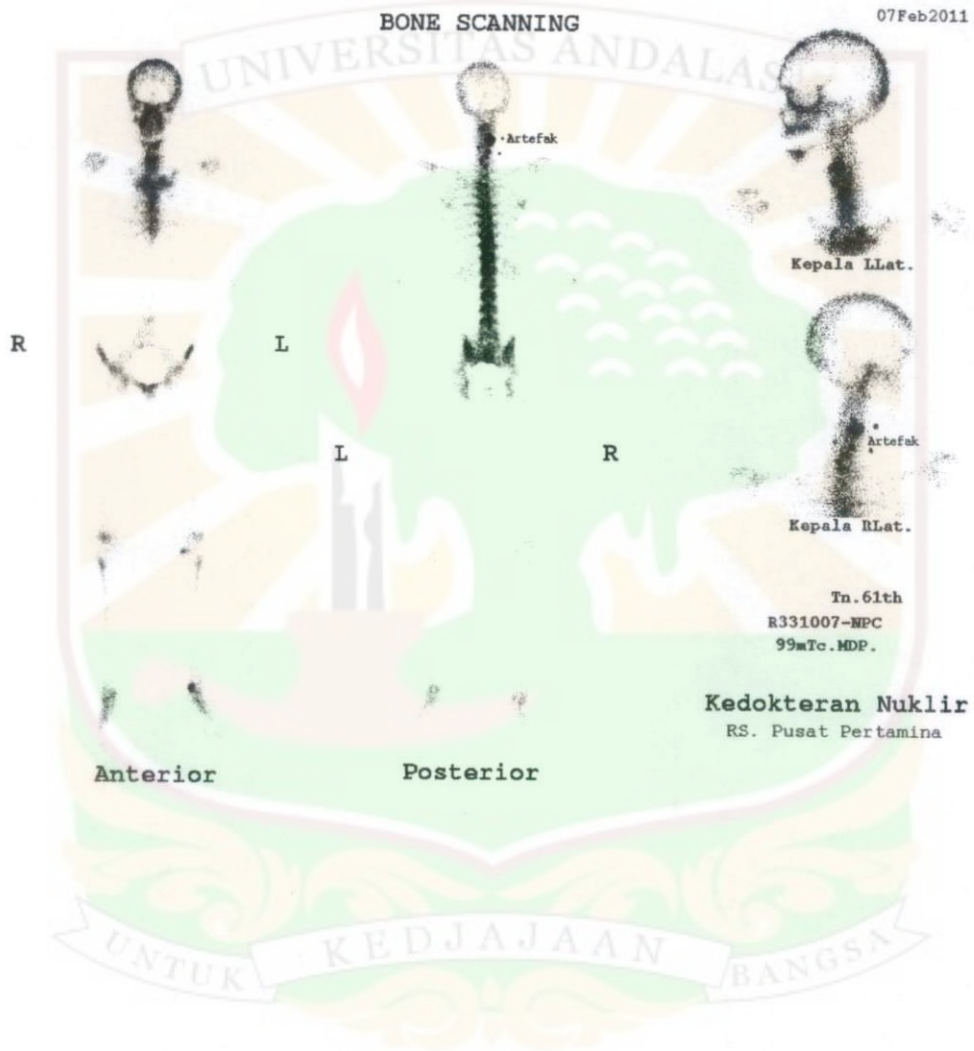
BONE SCANNING

07Feb2011



LAMPIRAN 3

HASIL BONE SCAN NORMAL



LAMPIRAN 4

DATA PENGAMATAN

Data pasien kanker prostat yang menjalani pemeriksaan sidik tulang

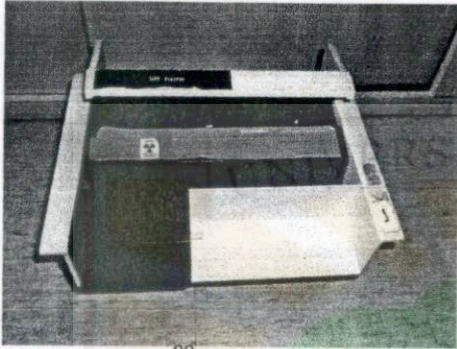
no	Kode Pasien	Umur (Thn)	TB (cm)	BB (Kg)
1	MF	77,00	162,0	55,00
2	ED	57,00	170,0	70,00
3	IS	70,00	160,0	54,00
4	TL	61,00	171,0	70,00
5	DF	70,00	168,0	68,00
6	AN	57,00	165,0	78,00
7	NS	72,00	150,0	57,00
8	HS	68,00	156,0	62,00
9	TR	68,00	156,0	62,00
10	RB	72,00	156,0	51,00
	Mean	67,20	161,40	62,70
	Median	69,00	161,000	62,00
	Sum	672,00	1614,00	627,00
	Minimum	57,00	150,00	51,00
	Maximum	77,00	171,00	78,00
	Std. Deviation	6,713	7,011	8,654

Data Cacahan Kamera Gamma menggunakan TEKNIK ROI

Inisial Pasien		Jantung (cpm)	Kandung kemih (cpm)	Tulang panggul (cpm)
1.	MF	6728.00	106204.00	11836.00
2.	ED	11117.00	102146.00	15546.00
3.	IS	8202.00	51081.00	11991.00
4.	TL	9003.00	33652.00	12075.00
5.	DF	5227.00	10650.00	13167.00
6.	AN	3800.00	160740.00	4888.00
7.	NS	5738.00	17942.00	5734.00
8.	HS	5646.00	18403.00	3001.00
9.	TR	11000.00	32962.00	15914.00
10.	RB	7483.00	37673.00	13593.00
Total	Mean	7394.4000	57145.3000	10774.5000
	Median	7105.5000	35662.5000	12033.0000
	Sum	73944.00	571453.00	107745.00
	Minimum	3800.00	10650.00	3001.00
	Maximum	11117.00	160740.00	15914.00
	Range	7317.00	150090.00	12913.00
	Std. Deviation	2448.75820	49346.92574	4565.96650

LAMPIRAN 5

DOKUMENTASI PENELITIAN



Generator Tc^{99m} RSPP Jakarta



Teknik ROI kamera gamma



Injeksi dosis radiofarmaka



Peneliti dan kamera gamma RSPP



TLD-100 dalam bentuk paket siap pakai



Pembacaan TLD-100 oleh Petuga