



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN DOSIS PASIEN *TOTAL BODY IRRADIATION* (TBI)
INVIVO DENGAN DOSIMETER TERMOLUMINISENSI**

SKRIPSI

**ACHMAD RIYADI
0303020015**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI S1 FISIKA
DEPOK
JUNI 2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN DOSIS PASIEN *TOTAL BODY IRRADIATION* (TBI)
INVIVO DENGAN DOSIMETER TERMOLUMINISENSI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains

**ACHMAD RIYADI
0303020015**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI S1 FISIKA
PEMINATAN FISIKA MEDIS DAN BIOFISIKA
DEPOK
JUNI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

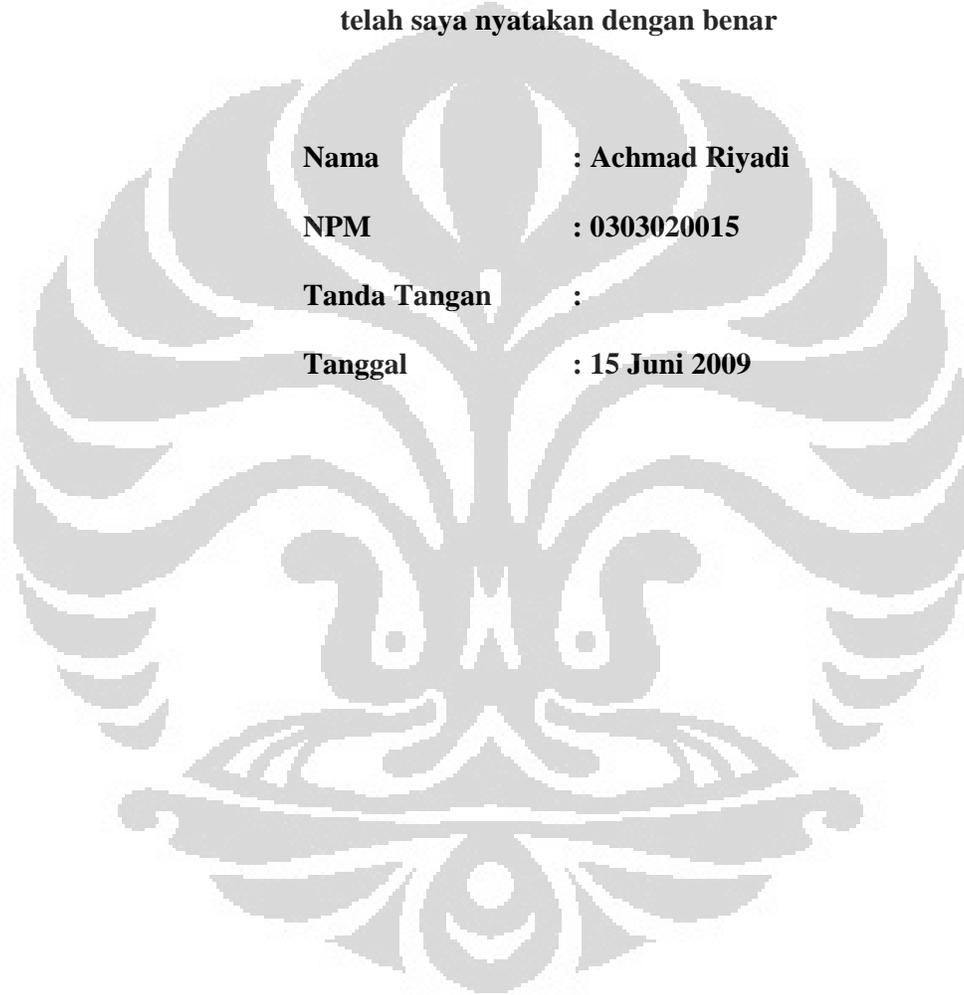
**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Achmad Riyadi

NPM : 0303020015

Tanda Tangan :

Tanggal : 15 Juni 2009



HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Achmad Riyadi
NPM : 0303020015
Program Studi : S1 Fisika Peminatan Fisika Medis dan Biofisika
Judul Skripsi : Pengukuran Dosis Pasien *Total Body Irradiation*
(TBI) *in vivo* dengan Dosimeter Termoluminisensi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi S1 Fisika Peminatan Medis dan Biofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko (.....)
Pembimbing II : Heru Prasetio, M.Si (.....)
Penguji I : Dr. Musaddiq Musbach (.....)
Penguji II : Dwi Seno Kuncoro, M.Si (.....)
Penguji III : Alimuddin, M.Si (.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 15 Juni 2009

KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis diberikan bimbingan dan kekuatan untuk dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini dan untuk mengembangkan diri penulis selanjutnya. Tidak sedikit bantuan yang penulis terima baik moril, materiil maupun tenaga selama penulisan skripsi ini. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Baba' dan my mom yang begitu luar biasa telah menyayangi penulis dengan curahan kasih sayangnya, dan tanpa mengenal lelah memanjatkan doa dalam setiap sujud sholatnya. Kepada semua kakakku, mbak yani, mas chandra, mas nurul, mas guh atas segala support dan fasilitasnya. To all my nephew haniif, naufal dan aldrin yang kembali mencerahkan suasana ditengah penat sang penulis dalam menyusun skripsi ini.
2. **Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko** dan **Heru Prasetyo, M.Si** selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan petunjuk, arahan dan bimbingan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian ini dengan baik demi terciptanya skripsi ini.
3. **Arreta Rei, S.Si**, dan **Dea Ryangga, M.Si** yang telah mensupport penulis dengan sangat luar biasa, memfasilitasi dan penemanannya ketika melakukan pengambilan data.
4. Para staff Radioterapi RS. Pusat Pertamina, mas hendra, mas ramli, dan mbak sophie. **Dr. Bambang** atas perizinannya terhadap penulis untuk dapat melakukan penelitian di RSPP.
5. **Politeknik Deepkes**, atas peminjaman fantom orang untuk simulasi terapi.
6. Teman-teman seperjuangan medis 2003, especially amsori atas kisah yang luar biasa selama menjalani kuliah bersama.
7. H. Hasanudin, SE. MM, H. Zulkifli, SE. Drs. H. Muslim Suganda, Drs. Eko Suryono, Dra. Sri Wuryantari dan rekan-rekan seprofesi di SMK

Negeri 22 Jakarta, atas segala support, dukungan dan perizinannya ketika penulis harus meninggalkan tugas mengajar saat penelitian.

8. Buat junior-junior medis, terutama ieie yang selalu membawa keceriaan selama penulis melakukan penelitian di Laboratorium TLD.
9. Kepada teman-teman Fisika 2003 yang sekarang sudah melanglangbuana entah dimanapun mereka berada.
10. Sdulurkuw sing paling the best Nina menemani dan mensupport penulis.
11. My lovely student on TKJ, yang tetap memaklumi bapak gurunya meskipun akhir-akhir ini jarang mengajar.
12. Buat semua anak BR yang super heboh, Babe, Pian, Ade “Pak Guru”, Ebi, Bonding, Imam, Rino, Fajar n yang lain yang belum sempat disebutkan karena terbatasnya space. Thank’s my pren..
13. Teman-teman yang tidak dapat disebutkan satu –persatu. Terima kasih untuk semua kebaikannya selama ini.

Akhir kata, penulis hanya dapat memanjatkan doa semoga Allah SWT memberikan balasan yang setimpal pada semua pihak atas segala kebaikan dan bantuannya. Amiin.

Harapan penulis semoga apa yang telah dikemukakan dalam skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pihak yang memerlukan

Depok, Juni 2009

Achmad Riyadi

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

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

Nama : Achmad Riyadi

NPM : 0303020015

Program Studi : S1 Fisika Reguler

Departemen : Fisika

Jenis Karya : Skripsi

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

PENGUKURAN DOSIS PASIEN *TOTAL BODY IRRADIATION* (TBI) *IN VIVO* DENGAN DOSIMETER TERMOLUMINISENSI

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 15 Juni 2009

Yang menyatakan

(Achmad Riyadi)

ABSTRAK

Nama : Achmad Riyadi
Program Studi : S1 Fisika Regular
Judul : **PENGUKURAN DOSIS PASIEN *TOTAL BODY IRRADIATION* (TBI) *IN VIVO* DENGAN DOSIMETER TERMOLUMINISENSI**

Pengukuran dosis pasien terapi *Total Body Irradiation* (TBI) *in vivo* terhadap titik-titik organ kritis pada tubuh pasien. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besar akumulasi dosis radiasi yang diterima oleh organ kritis selama pelaksanaan terapi TBI. Penelitian ini dilakukan di RS. Pusat Pertamina Jakarta menggunakan pesawat *Linear Accelerator* (Linac), dengan sinar-x 6 MV. Pengukuran ini dilakukan terhadap 8 titik tubuh dengan menggunakan dosimeter termoluminisensi (TLD). TLD yang digunakan adalah LiF dengan jenis *chip*. Dari hasil pengukuran diketahui bahwa hasil bacaan TLD untuk dosis harian pada terapi TBI cukup baik dengan deviasi antara simulasi dengan pengukuran 0,98% hingga 13,36%, dengan perbedaan di *central axis* sebesar 2,68% untuk posisi AP dan 10,71% untuk posisi PA.

kata kunci : *Total Body Irradiation* (TBI), *Linear Accelerator* (Linac), dosimeter termoluminisensi.

ABSTRACT

Name : Achmad Riyadi
Study Program: SI Fisika Regular
Title : **TOTAL BODY IRRADIATION DOSE IN VIVO MEASUREMENTS USING THERMOLUMINESCENCE DOSIMETER**

Measurement Total Body Irradiation (TBI) patient dose has been done at critical organ point of patient. The purpose of these measurements is to know how much accumulated dose of radiation accepted by critical organ during treatment of TBI therapy. This research conducted in RS. Pusat Pertamina Jakarta using 6MV photon of Linear Accelerator (Linac). Measurement conducted to 8 point at patient body using thermoluminescence dosimeter LiF chip. From the measurement it is known that result of reading TLD for daily dose are good with deviation between simulation with measurement 0.98% - 13.36%, with difference in central axis equal to 2,68% for position AP and 10,71% for position PA.

Keyword : Total Body Irradiation, Linear Accelerator, Thermoluminescence Dosemeter.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Batasan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 <i>Total Body Irradiation</i> (TBI)	4
2.2 Akselerator Linear.....	4
2.3 Dosis Absorpsi.....	6
2.4 Dosis Kedalaman (<i>Depth Dose</i>).....	7
2.6 Dosis Pada Titik di Luar Sumbu Utama Berkas.....	9
2.7 <i>Ionization Chamber</i> (bilik ionisasi).....	10
2.9 Dosimeter Termoluminisensi (TLD)	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	12
3.1 Alat dan Bahan.....	12
3.2 Pengukuran Persiapan.....	13
3.3 Pengukuran Dosis TBI <i>in vivo</i>	17
BAB IV HASIL EKSPERIMEN.....	19
4.1 Pengukuran Persiapan.....	19
4.2 Pengukuran Dosis TBI <i>in vivo</i>	21
BAB V PEMBAHASAN.....	22
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	26
4.1 Kesimpulan.....	26
4.2 Saran.....	27
DAFTAR PUSTAKA.....	28

DAFTAR GAMBAR

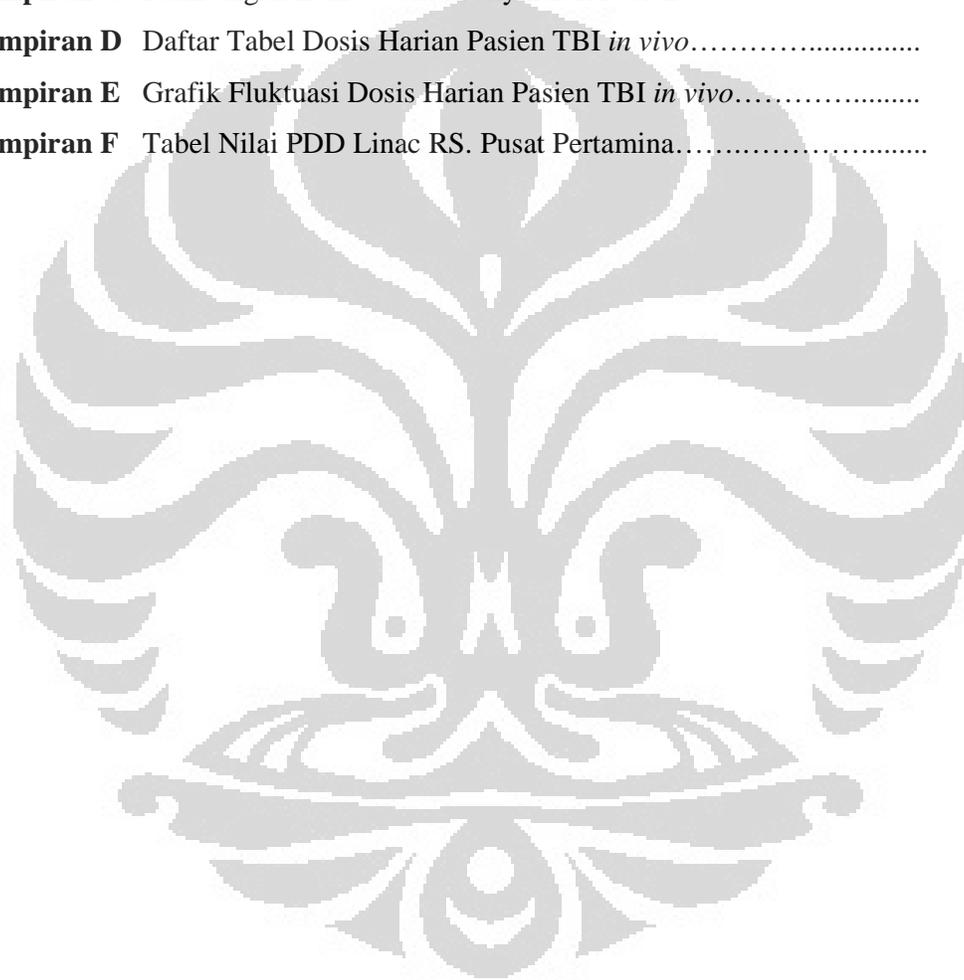
	Halaman
Gambar 2.1 Diagram Blok Akselerator Linier.....	
Gambar 2.2 Persentase Dosis Kedalaman terhadap Kedalaman Pada Beberapa Energi Berkas Foton.....	6
Gambar 2.3 Grafik Profil Berkas Sinar-X Pesawat Linac Primus 2D untuk sinar x 6MV, kedalaman 5cm, Lapangan 40x20cm ² Rumah Sakit Pusat Pertamina	8
Gambar 2.4 Prinsip kerja TLD. (i) elektron yang terpapar radiasi tereksitasi ke pita konduksi. (ii) elektron terperangkap di hole ketika akan kembali pada kondisi awalnya. (iii) ketika dipanaskan, elektron kembali kepada kondisi awal sambil melepaskan energi berupa cahaya (luminisensi).	9
Gambar 3.1 Pesawat <i>Linac</i> milik intalasi Radioterapi RS. Pusat Pertamina.....	11
Gambar 3.2 Skema pengukuran faktor hamburan pada kedalaman 5 cm. (a) pengukuran dengan menggunakan fantom air pada kedalaman 5 cm (b) pengukuran pada minifantom (udara) pada kedalaman yang sama.....	12
Gambar 3.3 Skema pengukuran faktor kalibrasi TLD. (a) pengukuran dengan menggunakan bilik ionisasi pada kedalaman 10 cm. (b) pengukuran dengan menggunakan TLD pada posisi entrance dan pada kedalaman 10 cm untuk mendapatkan nilai faktor kalibrasi.....	13
Gambar 3.4 Skema pengukuran untuk medapat nilai dosis pada SSD 360 cm. (a) pengukuran referensi untuk medapatkan nilai hamburan, dilakukan pada SSD 100 cm (b) pengukuran diudara juga dilakukan pada posisi pasien di SSD 360 cm utnuk medapatkan lama waktu penyinaran.....	15
Gambar 3.5 Fantom orang yang digunakan untuk simulasi pengukuran dosis untuk terapi TBI <i>in vivo</i>	16
	17

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Dosis Kedalaman Maksimum (d_{maks}) pada variasi energi berkas foton	8
Tabel 3.1 Kedalaman 8 titik pengukuran pasien TBI <i>in vivo</i>	18
Tabel 4.1 Nilai faktor kalibrasi TLD	19
Tabel 4.2 Hasil pengukuran dosis simulasi TBI dengan menggunakan TLD...	20
Tabel 4.3 Rerata dosis harian selama pelaksanaan TBI <i>in vivo</i>	21
Tabel 5.1 Hasil perbandingan dosis simulasi dengan rerata dosis harian pelaksanaan TBI <i>in vivo</i> menggunakan TLD.....	22
Tabel 5.2 Data tingkat kesensitifan organ terhadap radiasi.....	24

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Data Hasil Pengukuran Keluaran Pesawat Linac.....	30
Lampiran B Gambar Pelaksanaan Terapi TBI <i>in vivo</i>	31
Lampiran C Perhitungan Lama Waktu Penyinaran Pasien.....	33
Lampiran D Daftar Tabel Dosis Harian Pasien TBI <i>in vivo</i>	34
Lampiran E Grafik Fluktuasi Dosis Harian Pasien TBI <i>in vivo</i>	42
Lampiran F Tabel Nilai PDD Linac RS. Pusat Pertamina.....	50



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Prinsip dasar dari teknik radioterapi ini adalah memberikan dosis radiasi maksimum dan seragam pada jaringan abnormal (tumor) sampai jaringan tersebut mati, tetapi jaringan sehat di sekitarnya mendapatkan dosis radiasi serendah mungkin (Made, Arif , dan Ratini, 2002).

Pada jenis tumor yang masih terlokalisasi pada jaringan atau organ tertentu, pelaksanaan terapi dapat dilakukan dengan menggunakan TPS (*Treatment Planning System*) untuk mengoptimalkan pemberian dosis pada tumor dan melindungi jaringan atau organ yang penting lainnya, baik dengan memvariasikan perlakuan terhadap pasien maupun dengan menggunakan aksesoris lainnya seperti blok atau bolus. Akan tetapi untuk berbagai jenis penyakit sistemik yang memiliki metastasis luas, hal ini memiliki kendala dikarenakan target tumor tidak jelas dan meyebar hampir diseluruh tubuh. Untuk dapat mengatasi masalah tersebut, diperlukan suatu metode khusus didalam radioterapi seperti terapi TBI.

Total Body Irradiation (TBI), adalah suatu metode khusus didalam radioterapi yang digunakan untuk terapi pada penyakit sistemik (metastasis luas), seperti berbagai jenis leukimia (kanker darah), *malignant lymphoma*, atau *aplastic anemia*. Dikarenakan penyakit sistemik memiliki metastasis luas dalam tubuh, maka perlakuan radioterapi diberikan pada seluruh tubuh (*whole body*).

Terapi ini menggunakan pesawat *linear accelerator* (LINAC), sehingga energi yang diberikan berada pada kisaran Megavolt. Mengingat perlakuan radioterapi dilakukan pada seluruh tubuh (*whole body*), sehingga pemantauan besarnya dosis yang diberikan pada pasien menjadi sangat penting untuk dilakukan.

Perbendaaan tingkat kesensitifan masing-masing organ terhadap radiasi menjadi sebuah permasalahan tersendiri dari pelaksanaan terapi ini, mengingat penyinaran dilakukan secara homogen terhadap seluruh tubuh. Organ-organ vital

yang sangat sensitif terhadap radiasi juga harus dilindungi. Untuk itulah maka monitoring dosis pada masing-masing organ vital penting untuk dilakukan.

Pemilihan dosimetri yang sesuai untuk digunakan dalam pengukuran sangat penting untuk dilakukan. Hal ini dikarenakan keberhasilan pengukuran dan tingkat keakurasian pengukuran dosis pada pasien, sangat bergantung dari dosimeter yang digunakan.

Untuk itulah dosimeter termoluminisensi (TLD) digunakan untuk mengukur besar dosis pada pasien TBI. Dosimeter termoluminisensi (TLD) LiF, dipilih karena nomor atom efektifnya ($Z_{\text{eff}} = 8,1$), cukup ekuivalen dengan Z efektif jaringan tubuh manusia yang nilainya 7,4 (Yuliati dan Akhadi, 2004), dan dapat digunakan untuk energi tinggi, sehingga memungkinkan digunakan untuk mengukur besarnya dosis harian pada terapi seluruh tubuh ini.

Selain itu TLD LiF mempunyai pemudaran (*fading*) yang rendah, kedapat-ulangan yang tinggi, sensitifitas atau rentang dosis yang luas serta dapat digunakan untuk energi tinggi, sehingga memungkinkan digunakan untuk mengukur besarnya dosis harian pada radioterapi (Sunaryati, 1998).

1.2 Batasan Masalah

Pengukuran dosis harian pasien TBI dengan menggunakan dosimetri TLD kali ini telah dilakukan dan hanya dibatasi untuk kasus *malignant lymphoma*. dengan pesawat Linac yang dilakukan di bagian Radioterapi RS. Pusat Pertamina.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

- Melakukan pengukuran besar dosis pasien pada pelaksanaan terapi TBI *in vivo* .
- Mempelajari konsep dosimetri TLD (Thermoluminisensi Dosimeter).
- Mempelajari sistem kalibrasi pada detektor dosimetri bilik ionisasi dan TLD.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini dibagi menjadi 6 bab masing-masing terdiri dari beberapa sub-bab untuk mempermudah penjelasan. Penulisan bab-bab dilakukan sebagai berikut ;

Bab 1 Pendahuluan

Bab ini merupakan penjelasan secara umum yang menjelaskan latar belakang permasalahan, pembatasan masalah yang ingin diselesaikan, tujuan penelitian serta sistematika penulisan.

Bab 2 Teori Dasar

Bab ini menguraikan teori-teori dasar yang digunakan pada penulisan, meliputi *total body irradiation* (TBI), akselerator linier, *ionization chamber*, dosis serap, *percentage depth dose* (PDD), dosis pada titik luar sumbu berkas, dosimeter termoluminisensi (TLD).

Bab 3 Metodologi Penelitian

Bab ini menguraikan tentang tata laksana dalam penelitian yang terdiri atas peralatan yang digunakan, proses pengukuran persiapan dan pengukuran dosis pasien terapi TBI *in vivo*.

Bab 4 Hasil Penelitian

Hasil pengukuran dosis pada penelitian yang telah dilakukan dipaparkan dalam bab ini, serta penjelasan mengenai hasil yang telah dicapai.

Bab 5 Pembahasan

Bab ini menjelaskan tentang hasil yang didapat dalam bentuk analisa kuantitatif.

Bab 6 Kesimpulan dan saran

Bab ini berisi tentang kesimpulan terhadap kesimpulan terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan, ditambahkan saran-saran yang berguna untuk pengembangan penelitian ke tahap yang lebih lanjut.

BAB II TEORI DASAR

2.1 *Total Body Irradiation (TBI)*

Total Body Irradiation (TBI), adalah suatu metode khusus didalam radioterapi yang digunakan untuk terapi pada penyakit sistemik (metastasis luas). Perlakuan TBI pada kasus penyakit-penyakit sistemik dibagi menjadi tiga, yaitu yang harus dilakukan TBI, hanya optional untuk dilakukan TBI, dan sebagai *clinical test*. TBI harus dilakukan untuk berbagai jenis leukimia, dan sindrom *myelodysplastic* (MDS). TBI hanya bersifat optional untuk berbagai tumor pada anak, nueroblastoma, ewing sarcomas. Dan hanya sebagai *clical test* pada kasus malignant lymphoma, morbus Hodgkin's disease (MHD), atau non-Hodgkin's lymphoma's (DGMP, 2003).

Sesuai dengan kondisi yang lebih spesifik, perlakuan terapi TBI dibagi menjadi empat kategori, yaitu TBI dosis tinggi, TBI dosis rendah, *half body irradiation*, dan *total body irradiation*. Pada TBI dosis tinggi, diberikan dosis tunggal pada 6 fraksi dimana tiap fraksinasi, dosis yang diberikan sebesar 200 cGy. Untuk TBI dosis rendah dosis diberikan pada 10-15 fraksi, dimana tiap fraksi diberikan dosis 10-15 cGy. Untuk *Half-body irradiation*; pada perlakuan ini, pasien diberikan dosis 8 Gy pada bagian atas dan bawah secara terpisah pada tiap fraksinya. Sedangkan untuk *Total nodal irradiation*; diberikan dengan dosis titik sebesar 40 Gy yang terbagi dalam 20 fraksi (Podgorsack,2003).

2.2 **Akselerator Linier (*Linac*)**

Akselerator *linear* atau *linac* adalah alat yang dipakai untuk mempercepat gerak partikel bermuatan seperti elektron, proton, inti-inti ringan, dan inti atom lainnya secara lurus. Tujuan gerak partikel tersebut agar partikel bergerak sangat cepat sehingga memiliki energi kinetik yang sangat tinggi. jika partikel elektron berenergi tinggi tersebut ditumbukkan dengan logam berat maka dari pesawat linac ini akan dipancarkan sinar-x berenergi tinggi yang dapat berguna dalam radioterapi.

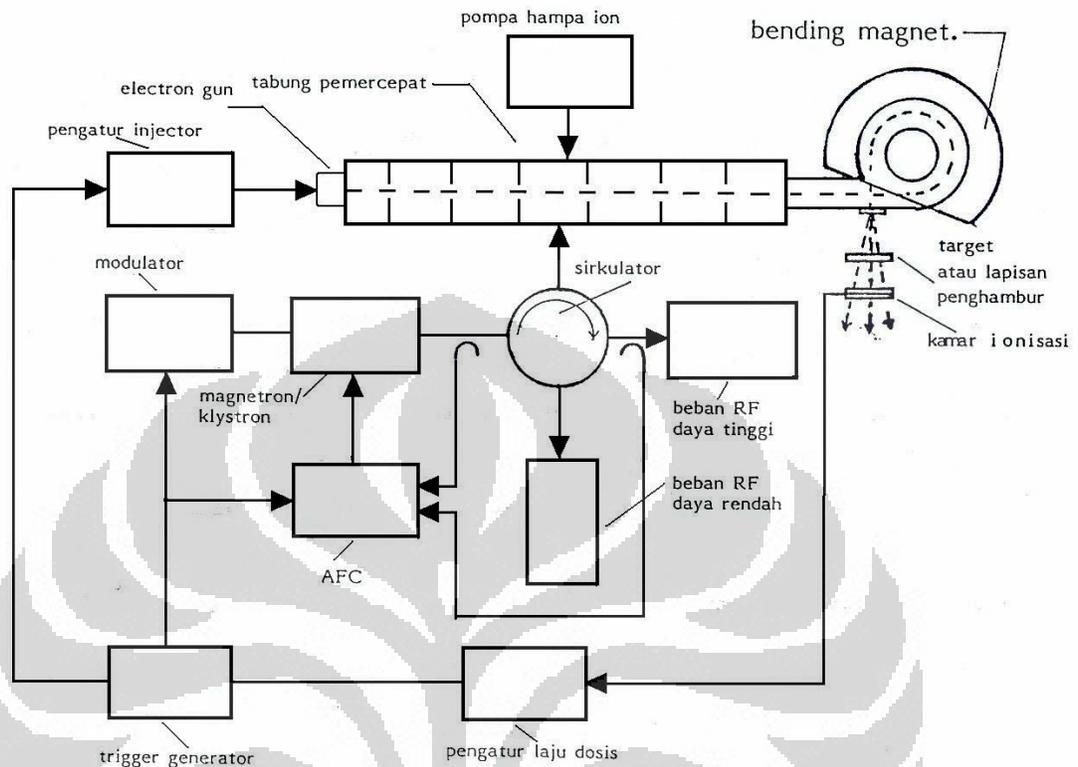
Peralatan ini dapat menghasilkan elektron ataupun X-ray dengan energy yang antara 3 - 23 MeV. Proses percepatan elektron secara linier terjadi dalam

sebuah tabung yang terbuat dari tembaga yang disebut tabung pemercepat (*accelerating waveguide*). Elektron dibangkitkan dalam *electron gun* yang diinjeksi ke tabung pemercepat. Ke dalam *waveguide* tersebut juga diinjeksikan *microwave* yang akan menghasilkan medan elektromagnet dalam *waveguide* tersebut sehingga akan mempercepat partikel elektron yang ada dalam *waveguide* tersebut.

Agar percepatan elektron semaksimal mungkin, rongga-rongga pada permulaan lintasan mempunyai jarak tempuh lebih kecil dari pada rongga-rongga di akhir lintasan, namun mengingat elektron yang telah melewati beberapa rongga telah mencapai energy yang tinggi sehingga mempunyai kecepatan yang mendekati cahaya, maka rongga-rongga berikutnya mempunyai ukuran yang sama, di mana penambahan energy elektron sebagian besar merupakan penambahan massa (Kristiadi, 2006).

Elektron dari sumber akselerator linier kemudian datang dari arah atas secara vertikal secara paralel setelah dibelokkan oleh bending magnet menumbuk lempeng target. Lempeng target terbuat dari material berinti berat, tungsten. Setelah menumbuk target, terjadi efek *bremsstrahlung* yang menghasilkan foton. *Bremsstrahlung* adalah foton yang dihasilkan akibat dari elektron yang diperlambat.

Berkas foton ini selanjutnya dibentuk sesuai dengan bentuk lapangan terapi melalui komponen-komponen pada kepala akselerator. Lalu berkas foton *bremsstrahlung* melewati kolimator utama. Kolimator utama juga terbuat dari material berat berbentuk kerucut. Selanjutnya adalah *flattening filter*. Filter ini berbentuk tebal di tengah dan tipis di ujung-ujungnya yang berfungsi untuk menghasilkan paparan radiasi yang datar (*flat*) pada kedalaman tertentu. Karena pengaruh dari bentuk filter yang sedemikian rupa, maka distribusi foton primer yang dihasilkan memiliki intensitas yang tinggi di tengah medan paparan dan sedemikian jauh dari medan paparan, intensitasnya makin melemah. Komponen selanjutnya adalah *ionization chamber* yang berfungsi sebagai pengukur besarnya dosis radiasi yang diberikan pada saat pemaparan. Sebagai komponen terakhir dari rangkaian pesawat linac adalah kolimator sekunder sebagai pengaman untuk menjaga kualitas bentuk lapangan (Kristiadi, 2006).



Gambar 2.1 Diagram blok akselerator linier
(telah diolah kembali)

2.2 Dosis Absorpsi

Ketika berkas radiasi mengenai pasien, maka dosis yang diterima tubuh pasien bergantung kepada kedalaman, daya tembus radiasi (energi), jenis jaringan (otot, tulang atau jaringan lemak), jarak dari sumber radiasi menuju permukaan kulit (source surface distance atau SSD), ukuran lapangan pada permukaan kulit, dan bentuk kolimator (Bentel, 1992).

Dosis serap dapat didefinisikan sebagai energi yang diberikan kepada medium, dan digunakan untuk ionisasi dan eksitasi sepanjang lintasan elektron. Karena lintasan elektron cukup panjang, maka kerma dan dosis absorpsi tidak terjadi pada tempat yang sama.

Penyerapan energi radiasi dipakai untuk ionisasi dan eksitasi atom medium. Oleh karena itu, dosis serap pada suatu titik sebanding dengan jumlah ion yang terjadi pada titik tersebut. Dosis berkaitan dengan titik, bukan dengan volume. Konsep dosis hanya benar untuk titik individual dalam medium yang diradiasi.

Perlu diperhatikan bahwa dosis sangat tidak mungkin untuk homogen dalam suatu volume.

Dengan satuan gray (Gy) yang ekuivalen dengan 1 joule (J) per kilogram massa (kg) (Cember, 1987). Satuan dosis lama adalah rad (r) yang didefinisikan 1 r = 100 erg/gram. Dengan demikian diperoleh hubungan 1 Gy = 100 r.

Gray merupakan satuan universal yang dapat diaplikasikan dalam berbagai jenis pengukuran dosimetri radiasi ionisasi, baik penyinaran yang dilakukan secara eksternal sinar gamma, neutron, atau partikel bermuatan maupun penyinaran secara internal (Cember, 1987).

2.3 Dosis kedalaman (*depth dose*)

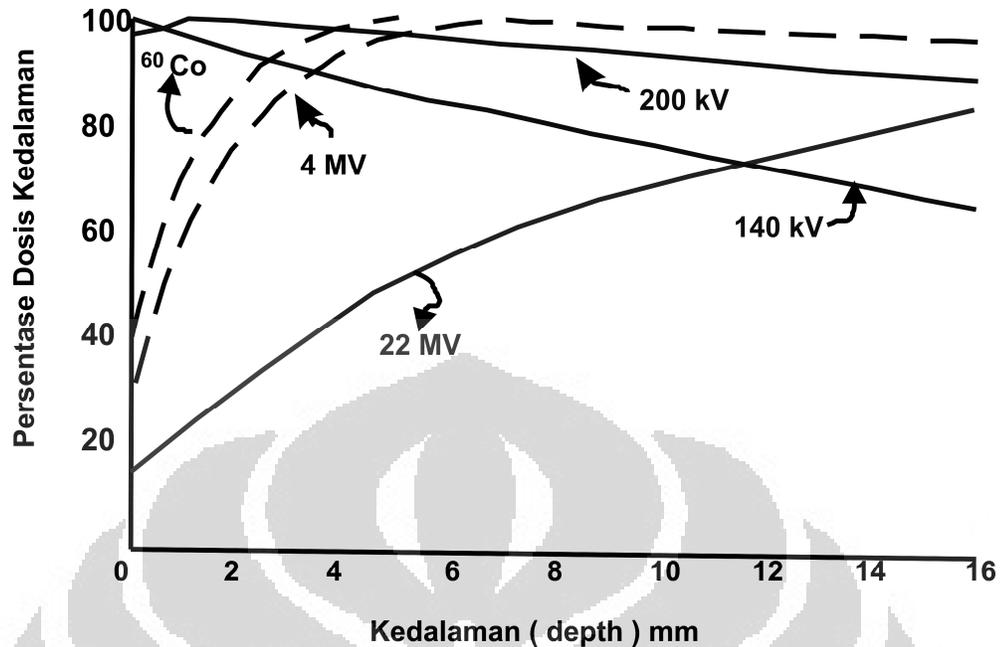
Saat sebuah material (*phantom*) diradiasi, dosis serap akan bervariasi terhadap kedalaman. Perbedaan besar dosis serap tergantung dari beberapa kondisi, diantaranya : energi kedalaman, besarnya medan paparan, dan jarak titik hitung dosis (SSD atau SAD), pada phantom yang diradiasi.

Salah satu cara untuk mengkarakterisasi distribusi dosis pada setiap kedalaman dengan dosis pada kedalaman yang dijadikan acuan (*reference depth*). Distribusi dosis ini dinyatakan dalam satuan persen.

Reference depth yang biasa digunakan pada radioterapi energi tinggi, *reference depth* yang biasa digunakan adalah *Percent Depth Dose* (PDD), yang dinyatakan pada persamaan berikut :

$$PDD = \frac{\text{dosis pada kedalaman tertentu}}{\text{dosis pada kedalaman acuan}} \times 100\% \quad (2.1)$$

Jarak antara permukaan sampai dengan titik dengan dosis maksimum disebut kedalaman maksimum atau kedalaman build-up. Untuk energi radiasi tinggi, elektron sekunder hasil interaksi cenderung bergerak ke depan, sehingga jumlah ionisasi meningkat dan maksimum pada saat mencapai kedalaman sama dengan jangkauan elektron. Setelah itu dosis menurun beriring dengan kedalaman medium. Bentuk grafik PDD pada berbagai tingkatan energi dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Persentase dosis kedalaman terhadap kedalaman pada beberapa energi berkas foton
(telah diolah kembali)

Dalam praktek setelah maksimum dicapai, jumlah ionisasi menurun dengan kenaikan kedalaman karena pengaruh *inverse square law* dan atenuasi foton. Kedalaman dosis maksimum juga sering disebut kedalaman *build-up*, dan daerah dari permukaan sampai dosis maksimum disebut daerah *build-up*. Kedalaman buildup dipengaruhi oleh lapangan radiasi dan energi radiasi primer. Kedalaman *build-up* hanya beberapa mm untuk sinar X orthovoltage, sekitar 5 mm untuk radiasi gamma ^{60}Co , sekitar 1 cm untuk sinar X 4 MV, dan sekitar 1.5 cm untuk sinar X 6 MV.

Tabel 2.1 Dosis Kedalaman Maksimum (d_{maks}) pada variasi energi berkas foton

Beam energy	Superficial	Orthovoltage	Co-60	4MV	6MV	10MV	18MV	25MV
Z_{max} (cm)	0	0	0.5	1	1.5	2.5	3.5	5

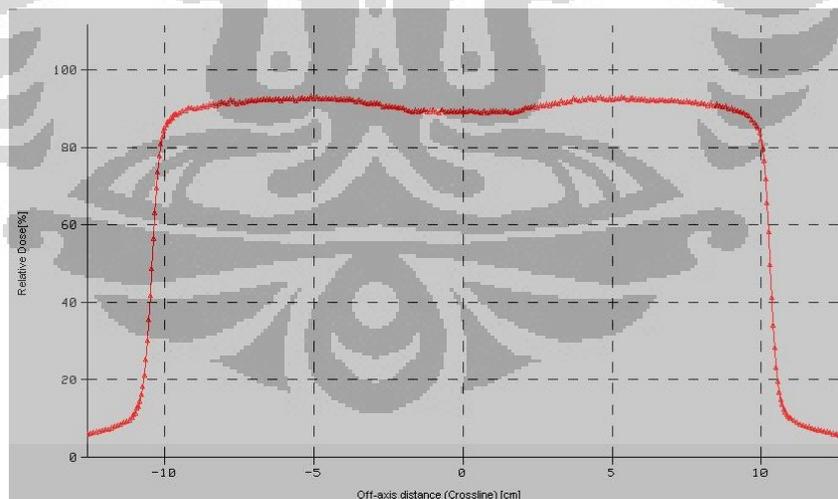
(telah diolah kembali)

2.5 Dosis pada luar sumbu utama berkas

Hubungan antara dosis pada sumbu utama dan diluarnya sangat kompleks, tergantung pada : energi radiasi, SSD, sudut antara sumbu utama berkas dengan permukaan medium, sifat kolimator, ukuran lapangan, penumbra, ukuran sumber, *flattening filter*, blok pembentuk lapangan.

Karena banyaknya faktor yang berpengaruh, maka dosis diluar sumbu utama tidak dapat dinyatakan dengan formula matematis, sehingga untuk mengetahuinya harus diukur. Beberapa metoda yang dipakai untuk membuat ilustrasi dosis di luar sumbu utama, salah satunya adalah dengan profil dosis pada kedalaman tertentu.

Pertama daerah tengah lapangan yang mempunyai dosis sedikit meningkat ataupun menurun terhadap pusat lapangan. Daerah demikian disebut seluruh bagian utama lapangan. Daerah kedua yakni daerah pinggir yang disebut penumbra (bayangan parsial), dosis cepat menurun pada lokasi kearah luar lapangan. Daerah ketiga disebut umbra (bayangan total) yang tidak mengandung radiasi primer. Dosis dalam daerah umbra seluruhnya diakibatkan oleh radiasi hambur (Podgorsack, 2003).



Gambar 2.3. Grafik Profil berkas sinar-x Pesawat *Linac* Primus 2D untuk energi 6 MV, kedalaman 5cm, lapangan 40x20cm Rumah Sakit Pusat Pertamina.

(telah diolah kembali)

2.3 *Ionization Chamber* (bilik ionisasi)

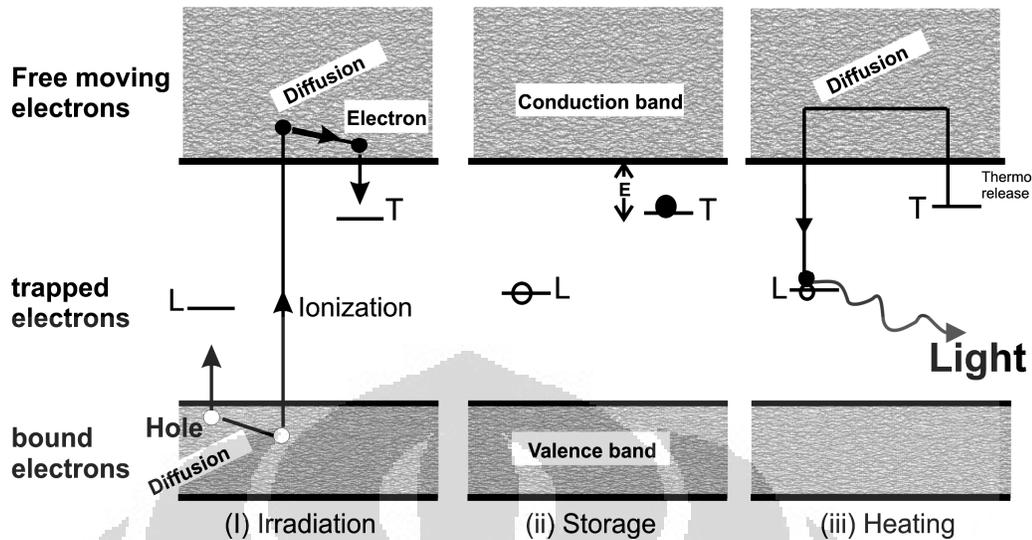
Ionization chamber atau bilik ionisasi adalah salah satu dosimeter yang digunakan untuk mengukur dosis dalam medium. Dosimeter ini dijadikan acuan untuk menkomparasi hasil bacaan dosimeter termoluminisensi yang akan digunakan pada penelitian ini. Hal ini dikarenakan metode pengukuran dosis dengan menggunakan *ionization chamber* adalah yang dapat dipercaya hasil bacaannya (Bentel, 1992). Jenis *ionization chamber* yang digunakan untuk data dalam penelitian kali ini adalah tipe farmer dengan nama Wellhöfer IC 70 Farmer. Keluaran dari dosimeter ini adalah banyaknya muatan yang dibebaskan dalam *chamber* (dengan satuan coulomb), untuk kemudian dibaca oleh elektrometer dan langsung dikonversikan kedalam satuan dosis serap (Gray).

2.4 **Dosimeter Termoluminisensi (TLD)**

Thermoluminisensi Dosimetri (TLD) adalah alat dosimetri (pemantau) yang terbuat dari kristal yang mempunyai sifat luminesensi jika terpapar radiasi.

Pada prinsipnya ketika bahan yang bersifat luminesensi terpapar oleh radiasi, maka elektron pada kristal akan tereksitasi ke tingkat energi yang berada di atasnya dengan menciptakan *hole* pada tingkat energi awalnya, dan ketika elektron tersebut akan kembali kepada kondisi awalnya *electron trap* kemudian menangkap elektron tersebut dan menahannya pada kondisi *metastabil* untuk waktu yang cukup lama dalam suhu kamar. TLD merupakan teknik dosimetri yang sudah cukup lama diaplikasikan lebih dari 100 tahun yang lalu (Calfe, Kron dan Hoban, 1997).

Akumulasi jumlah elektron yang terperangkap pada elektron trap ini yang kemudian dijadikan acuan untuk mengetahui besarnya paparan radiasi yang diterima. Ketika bahan yang telah terpapar radiasi tadi dipanaskan, maka elektron yang berada pada elektron trap tadi kembali keada kondisi awal dan menempati *hole* sambil melepaskan emisi foton. Pelepasan emisi foton oleh elektron ini yang kemudian disebut sebagai peristiwa termoluminisensi.



Gambar 2.4. Prinsip kerja TLD. (i) elektron yang terpapar radiasi tereksitasi ke pita konduksi. (ii) elektron terperangkap di *hole* ketika akan kembali pada kondisi awalnya. (iii) ketika dipanaskan, elektron kembali kepada kondisi awal sambil melepaskan energi berupa cahaya (luminisensi).

(telah diolah kembali)

Cahaya luminisensi ini kemudian diubah menjadi arus dengan menggunakan tabung fotomultiplier (PMT) dan amplifier. Besarnya arus yang terakumulasi ini yang kemudian dianggap ekuivalen dengan besarnya paparan radiasi yang diterima, sehingga kita dapat menggunakan alat ini sebagai dosimeter. Ketika alat ini dibaca maka catatan memori mengenai dosis yang terakumulasi ini akan terhapus sehingga kita tidak dapat membacanya untuk kedua kalinya.

TLD yang digunakan pada penelitian kali ini adalah *Lithium Fluorine* (LiF). TLD jenis material LiF dipilih karena tingkat kesensitifannya yang kurang lebih mendekati tubuh manusia (*man equivalent*) dengan nilai nomor atom efektif ($Z_{\text{eff}} = 8,1$ cukup ekuivalen dengan Z efektif jaringan tubuh manusia yang nilainya 7,4 (Yuliati dan Akhadi, 2004).

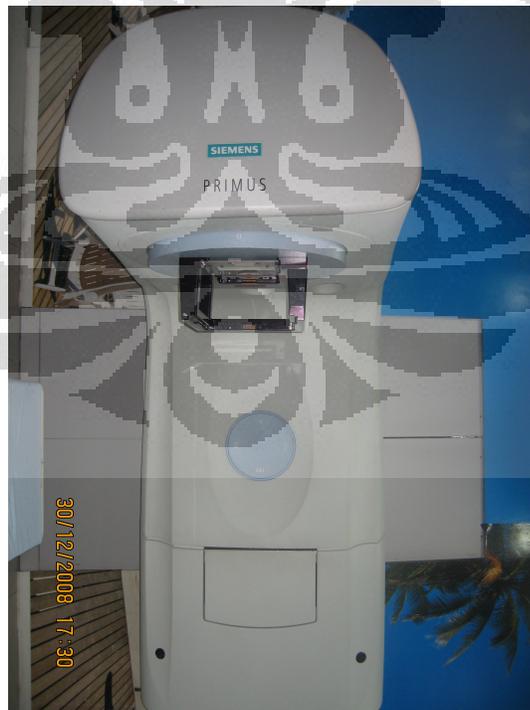
BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Alat dan Bahan

Penelitian dilakukan di Rumah Sakit Pusat Pertamina (RSPP), Jakarta Selatan dengan menggunakan pesawat terapi *Linac* Primus 2D Plus buatan Siemens.

Untuk pengukuran persiapan, digunakan fantom air *Wellhofer Dosimetrie* dengan volume $400 \times 400 \times 400 \text{ mm}^3$. Selain itu pula, digunakan minifantom akrilik untuk melakukan pengukuran dosis primer. Dosimetri yang digunakan adalah dosimeter *Wellhofer* yang terdiri dari elektrometer, dosimeter tipe farmer untuk pengukuran dosis pada fantom air dan minifantom akrilik untuk pengukuran dosis primer pesawat. Untuk preparasi pengukuran dosis permukaan digunakan fantom orang, dengan dosimeter termoluminisensi (TLD).

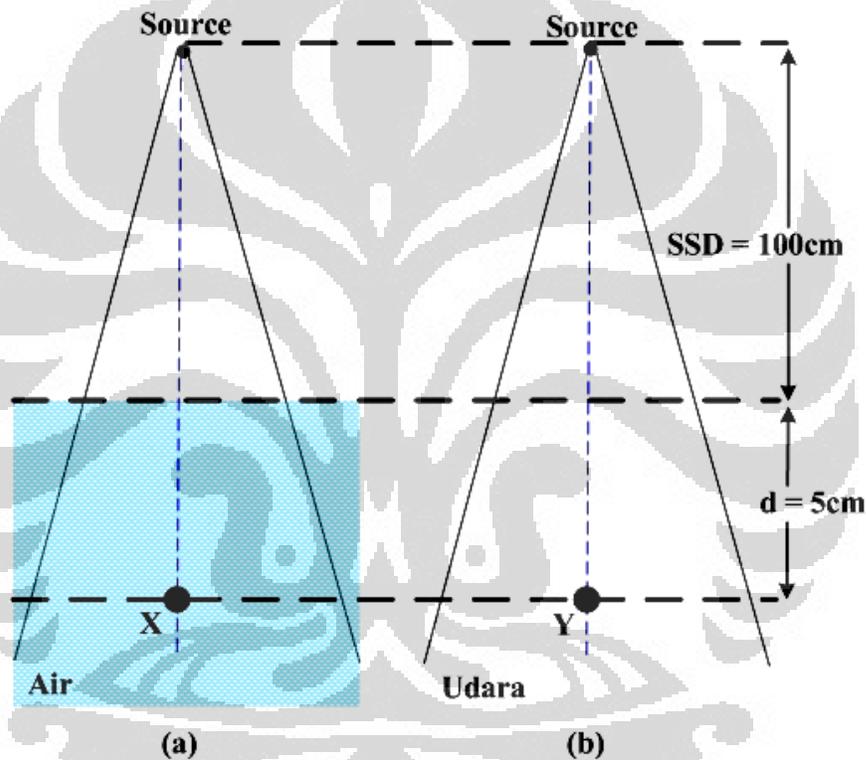
Pengukuran dosis pasien TBI in-vivo menggunakan sistem pengukuran TLD yang terdiri atas 98 keping TLD tipe LiF 100, TLD Reader Harshaw 3500 dan oven TLD milik Departemen Fisika FMIPA UI.



Gambar 3.1 Pesawat *Linac* milik instalasi Radioterapi RS. Pusat Pertamina

Pengukuran persiapan

Dalam penelitian ini, hal pertama yang dilakukan adalah pengukuran output pesawat *Linac* pada energi 6MV pada SSD 100 cm dan SSD 360 cm, lapangan pengukuran disesuaikan dengan kondisi lapangan yang akan digunakan pada saat terapi. Hal ini dilakukan untuk mencari nilai hamburan (*scatter factor*) yang terjadi pada medium pada kedalaman 5 cm. Skema pengukuran untuk mencari nilai hamburan, dapat dilihat pada Gambar 3.3.



● = posisi *ionization chamber*

Gambar 3.2 Skema pengukuran faktor hamburan pada kedalaman 5 cm. (a) pengukuran dengan menggunakan fantom air pada kedalaman 5 cm (b) pengukuran pada minifantom (udara) pada kedalaman yang sama.

Nilai faktor hamburan didapat dengan menbandingkan hasil bacaan pada fantom air dengan hasil bacaan pada udara (minifantom akrilik). Secara matematis persamaan untuk mendapatkan nilai hamburan, dapat dituliskan pada persamaan berikut.

$$SF = \frac{D_{\max \text{ air}}}{D_{\max \text{ udara}}}$$

(3.1)

dimana :

SF = faktor hamburan pada kedalaman 5 cm.

D_{air} = Dosis yang didapat oleh bilik ionisasi pada air (Gy).

D_{udara} = Dosis yang didapat oleh bilik ionisasi pd fantom akrilik (Gy).

Kedua, dilakukan uji respon terhadap 98 keping TLD yang akan digunakan pada penelitian dalam medium air yang diekspose dengan sinar x 6 MV, pada kedalaman 10 cm, SSD 100 cm, lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ dengan lama waktu penyinaran 200 MU. Hasil bacaan TLD digunakan untuk mengelompokkan TLD berdasarkan tingkat sensitifitasnya. Tujuan dari pengelompokkan TLD ini adalah untuk memudahkan pengukuran nilai faktor kalibrasi TLD, karena pada pengkalibrasian TLD, pengukuran dilakukan pada beberapa TLD yang dianggap mewakili tiap-tiap grup TLD.

Ketiga, dilakukan pengukuran untuk menentukan faktor kalibrasi TLD. Respons TLD dikalibrasi dengan menggunakan bilik ionisasi farmer pada kedalaman 10 cm dalam medium air. Disamping itu ditentukan pula faktor pembanding dosis permukaan dengan dosis pada kedalaman 10 cm dalam air. Skema pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3.4. Dari pengukuran TLD dipermukaan (*entrance*), hasil pengukuran kemudian dibandingkan dengan bacaan dari bilik ionisasi untuk mendapatkan nilai faktor kalibrasi. Secara matematis, nilai faktor kalibrasi dapat diketahui dengan persamaan berikut.

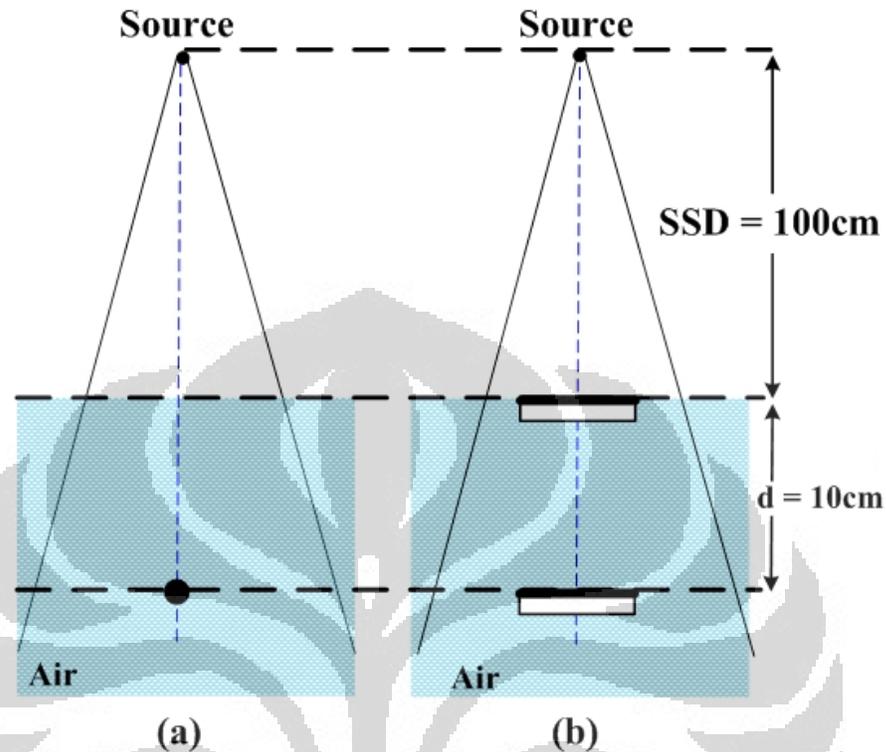
$$F_{\text{KTLD}} = \frac{D_{\text{IC}}}{R_{\text{E}}} \quad (3.2)$$

dimana :

F_{KTLD} = Faktor kalibrasi TLD (Gy/nC).

D_{IC} = Dosis yang didapat oleh bilik ionisasi (Gy).

R_E = Bacaan TLD di permukaan fantom (nC).



● = posisi *ionization chamber*

Gambar 3.3. Skema pengukuran faktor kalibrasi TLD. (a) pengukuran dengan menggunakan bilik ionisasi pada kedalaman 10 cm. (b) pengukuran dengan menggunakan TLD pada posisi entrance dan pada kedalaman 10 cm untuk mendapatkan nilai faktor kalibrasi.

Keempat, pengukuran pemberian dosis TBI *in vivo* dengan menggunakan fantom akrilik, pada energi 6MV, SSD 360 cm, lapangan yang dipakai 144x72 cm², kedalaman 5cm. Hal ini dilakukan untuk menentukan nilai *monitoring unit* (MU) yang akan diberikan kepada pasien. Skema pengukuran dilihat pada Gambar 3.5

Dari pengukuran, kemudian didapatkan nilai dosis diudara pada SSD 360 yang merupakan posisi pasien pada saat terapi TBI *in vivo*. Hasil bacaan dosis kemudian dikalikan dengan nilai hamburan untuk mendapatkan nilai dosis di air pada SSD 360. Setelah didapatkan dosis pada air, nilai lama waktu penyinaran (MU) secara matematis dapat dihitung dengan persamaan (3.4).

$$MU = \left(\frac{D \times 100}{\left(\frac{D_{\max}}{MU} \right)_{\max, 360, \text{Water}} \times \%D} \right) \quad (3.4)$$

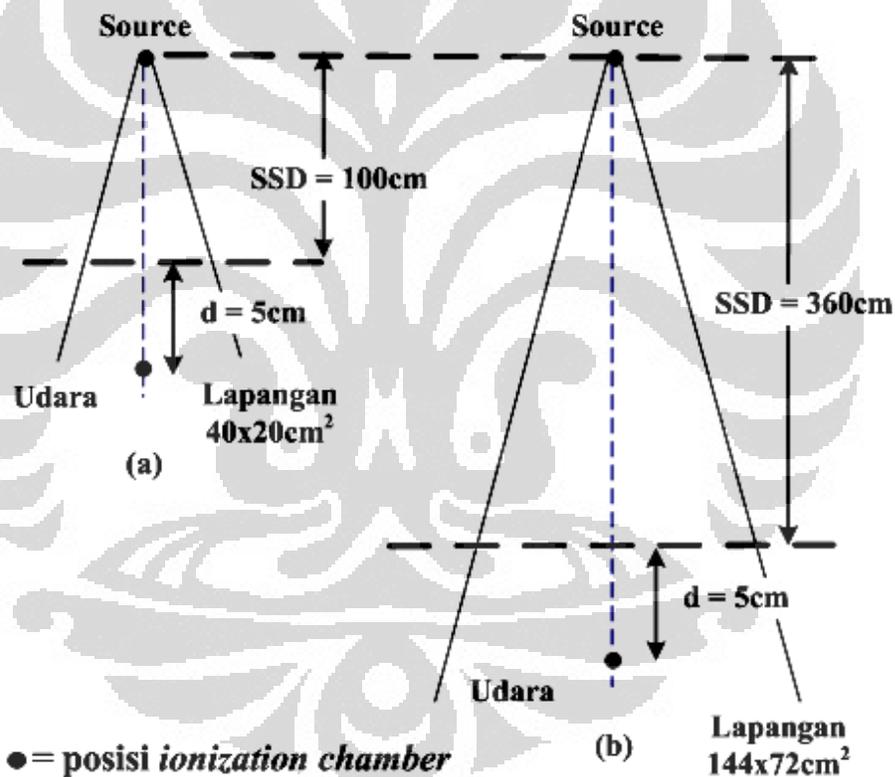
dimana :

MU = Lama waktu penyinaran pasien / *monitoring unit* (MU)

D = Dosis preskripsi yang diberikan pada pasien (Gy).

$\left(\frac{D_{\max}}{MU} \right)_{\max, 360, \text{Water}}$ = Dosis yang didapat pada keadaan SSD 360 cm, lapangan 144x72 cm² kedalaman maksimum referensi (Gy).

%D = PDD pada kedalaman target dengan di SSD 360 cm.



Gambar 3.4 Skema pengukuran untuk mendapat nilai dosis pada SSD 360 cm. (a) pengukuran referensi untuk mendapatkan nilai hamburan, dilakukan pada SSD 100 cm (b) pengukuran diudara juga dilakukan pada posisi pasien di SSD 360 cm untuk mendapatkan lama waktu penyinaran.



Gambar 3.5 Fantom orang yang digunakan untuk simulasi pengukuran dosis untuk persiapan terapi TBI *in vivo*.

Kelima, pengukuran simulasi perlakuan TBI dengan menggunakan fantom orang dan dosimeter TLD, dengan sinar x 6MV, SSD 360 cm, lapangan yang dipakai 144x72 cm². Pada pengukuran ini, TLD diletakkan pada 8 titik, yaitu :

1. Mata
2. Tyroid
3. Axilla kiri
4. Axilla kanan
5. cetral axis
6. Femoralis kiri
7. Femoralis kanan
8. Gonad

3.2 Pengukuran Dosis TBI *in vivo*

Pasien dalam penelitian ini berjenis kelamin laki-laki berusia 19 tahun dengan jenis kanker *malignant lymphoma*. Dosis preskripsi pada *midline* yang diharapkan 15 cGy dalam 10 fraksi. Pelaksanaan pengukuran dengan cara meletakkan TLD pada 8 titik, dengan 3 keping TLD di letakkan pada setiap titik. Ketebalan pada kedelapan titik pengamatan tersebut dapat dilihat dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Kedalaman 8 titik pengukuran psaien TBI *in vivo*

No.	Lokasi Titik	Ketebalan (cm)	Kedalaman Target (cm)
1	Mata	18	5
2	Tyroid	12	6
3	Axilla kiri	14	7
4	Axilla kanan	14	7
5	Central axis	14	7
6	Gonad	18	9
7	Femorallis kiri	17	8,5
8	Femorallis kanan	17	8,5

Untuk mempertahankan konsistensi jarak pengukuran setiap hari pada setiap penyinaran, posisi ditetapkan terlebih dahulu, penyinaran dilakukan *anterior-posterior* (AP) dan *posterior-anterior* (PA). Foto pasien pada saat perlakuan dapat dilihat dalam lampiran.

BAB IV HASIL PENELITIAN

4.1. Pengukuran persiapan

Hasil pengukuran keluaran Linac untuk sinar-x 6MV pada kedalaman 5cm dengan kondisi eksposi SSD 100 cm, lapangan 40x20 cm², lama waktu penyinaran 200 MU, di peroleh dosis pada fantom air sebesar 2,007 Gy. Pengukuran dengan menggunakan minifantom akrilik pada kondisi eksposi yang sama, diperoleh dosis 1,709 Gy. Penghitungan data hasil bacaan elektrometer menjadi nilai dosis dilakukan oleh komputer yang perangkat lunaknya dibuat berdasarkan TRS 398.

Dari data diatas kemudian bisa dicari nilai hamburan untuk sinar x 6 MV, SSD 100 cm, lapangan 40x20 cm², pada kedalaman maksimum, dengan persamaan (3.1);

$$SF = \frac{D_{\max\text{air}}}{D_{\max\text{udara}}} = \frac{2.257}{1.829} = 1.234$$

Selanjutnya adalah pengukuran pada SSD 360 cm, pada sinar x 6 MV, lapangan 144x72 cm², kedalaman 5 cm, dan lama penyinaran 200 MU, menggunakan fantom akrilik, diperoleh dosis 0,130 Gy.

Dari hasil pengukuran uji respon TLD, Hasil Bacaan TLD terdapat pada rentang 17000 nC hingga 21000 nC. Untuk selanjutnya TLD dikelompokkan dalam 2 group, yaitu group A dengan nilai intensitas 17000 – 19000 nC dan group B dengan intensitas 19000 – 21000 nC.

Pada kalibrasi TLD, kalibrasi dilakukan kalibrasi untuk masing-masing group TLD. Dari pengukuran, diperoleh . Kalibrasi dilakukan dengan kondisi penyinaran SSD 100 cm lapangan 10x10 cm², sinar x 6MV kedalaman 10 cm. Didapatkan nilai faktor kalibrasi dengan menggunakan persamaan (3.2). Data faktor kalibrasi untuk masing-masing group TLD dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1. Nilai faktor kalibrasi TLD

Group	Entrance (nC)	Dosis (Gy)	F _{KTLD} (Gy/nC)
A	10535,384	1,638	1,598 x 10 ⁻⁵
B	10425,785	1,638	1,571 x 10 ⁻⁵

Pengukuran pemberian dosis TBI *in vivo* dengan menggunakan minifantom akrilik, pada sinar x 6MV, SSD 360 cm, lapangan yang dipakai $144 \times 72 \text{ cm}^2$, kedalaman 5 cm. Dari hasil pengukuran diperoleh dosis 0,130 Gy. Dengan menggunakan *inverse square law* didapat dosis pada kedalaman maksimum sebesar 0,139 Gy.

Sehingga besarnya dosis pada air untuk sinar x 6 MV lapangan $144 \times 72 \text{ cm}^2$ dapat dicari dengan mengalikan nilai hamburan dengan dosis yang didapat dengan fantom akrilik pada SSD 360 cm untuk lapangan yang sama;

$$D_{(\text{max air}, 360)} = D_{(\text{max udara}, 360)} \times \text{SF} = 0.139 \text{Gy} \times 1.234 = 0.172 \text{Gy} \quad (4.1)$$

Pada akhirnya dapat ditentukan, besarnya lama waktu penyinaran untuk terapi TBI *in vivo* dapat kita cari dengan menggunakan persamaan (3.4). Pada pelaksanaan terapi TBI *in vivo* lama waktu penyinaran pasien sebesar 20 MU. Untuk perhitungan lengkap mengenai lama waktu penyinaran, dapat dilihat pada Lampiran C.

Setelah mendapatkan lama waktu penyinaran, maka selanjutnya dilakukan simulasi perlakuan pasien dengan menggunakan fantom orang yang ditemplei dengan TLD pada 8 titik yang telah ditetapkan. Hasil pengukuran dosis pada simulasi dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil pengukuran dosis simulasi TBI dengan menggunakan TLD

Bagian	Dosis Simulasi TBI <i>in vivo</i> (cGy)	
	AP	PA
Mata	1,403	1,269
Tyroid	1,05	1,02
Axilla Kiri	1,033	1,143
Axilla Kanan	1,174	0,849
Central Axis	0,894	0,812
Femoralis Kiri	0,925	0,847
Femoralis Kanan	0,938	0,943
Gonad	0,987	0,923

4.1. Pengukuran dosis TBI *in vivo*

Pengukuran dosis 10 fraksi penyinaran dilakukan di Instalasi Radioterapi RS. Pusat Pertamina pada tanggal 5 – 16 Januari 2009 dengan posisi *anterior-posterior* (AP) dan *posterior-anterior* (PA). Hasil pengukuran dosis rata-rata pada tiap fraksinasi selama terapi TBI *in vivo*, dapat dilihat dalam Tabel 4.3. Seluruh data dosis harian selama pelaksanaan terapi diberikan pada Lampiran D.

Tabel 4.3. Rerata dosis harian selama pelaksanaan TBI *in vivo*.

Bagian	Rerata Dosis harian Pelaksanaan TBI <i>in vivo</i> (cGy)	
	AP	PA
Mata	1,229	1,249
Tyroid	1,001	1,010
Axilla Kiri	0,895	0,938
Axilla Kanan	1,042	0,881
Central Axis	0,870	0,899
Femoralis Kiri	0,863	0,957
Femoralis Kanan	1,063	0,880
Gonad	0,222	0,247

BAB V
PEMBAHASAN

Di RS. Pusat Pertamina, terapi TBI *in vivo* baru pertama kali dilaksanakan. Pengukuran dosis untuk TBI ini sangat penting sebagai verifikasi, karena radiasi yang diberikan tidak bersifat lokal, tetapi pada seluruh tubuh. Verifikasi dilakukan pada 8 titik yang mewakili organ target, organ kritis dan titik pusat tubuh sebagai acuan. Untuk organ target titik pengamatan yaitu *axilla* dan *femorallis*, untuk organ kritis yang diamati adalah mata, *thyroid* dan *gonad*. Sedangkan *central axis* digunakan sebagai titik sentral pengamatan.

Untuk verifikasi besar dosis yang diberikan pada tiap fraksi, penulis menggunakan dosimeter TLD untuk mengukur besar dosis yang diberikan. Data hasil verifikasi dosis antara pengukuran simulasi dan rerata dosis harian pelaksanaan terapi TBI *in vivo* dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Hasil perbandingan dosis simulasi dengan rerata dosis harian pelaksanaan TBI *in vivo*

Bagian	Dosis Simulasi TBI <i>in vivo</i> (cGy)		Rerata Dosis Harian Pelaksanaan TBI <i>in vivo</i> (cGy)		Deviasi (%)	
	AP	PA	AP	PA	AP	PA
Mata	1,403	1,269	1,229	1,249	12,40	1,58
<i>Thyroid</i>	1,050	1,020	1,001	1,010	4,67	0,98
<i>Axilla</i> Kiri	1,033	1,143	0,895	0,938	13,36	17,94
<i>Axilla</i> Kanan	1,174	0,849	1,042	0,881	11,24	3,77
<i>Central Axis</i>	0,894	0,812	0,870	0,899	2,68	10,71
<i>Femorallis</i> Kiri	0,925	0,847	0,863	0,957	6,70	12,99
<i>Femorallis</i> Kanan	0,938	0,943	1,063	0,880	13,33	6,68
<i>Gonad</i>	0,987	0,923	0,222	0,247	77,51	73,24

Dari tabel dapat dilihat bahwa rentang perbedaan hasil pengukuran antara simulasi dan pelaksanaan terapi TBI *in vivo* untuk titik pengukuran yang mewakili organ target sebesar 3,77% hingga 17,94% dengan rincian untuk titik pengukuran *axilla* kiri sebesar 13,36% pada posisi AP dan 17,94% pada posisi PA, untuk titik pengukuran *axilla* kanan sebesar 11,24% pada posisi AP dan 3,77% pada posisi PA, untuk titik pengukuran *femorallis* kiri sebesar 6,70% pada posisi AP dan 12,99% pada posisi PA, untuk titik pengukuran *femorallis* kanan sebesar 13,33% pada posisi AP dan 6,68% pada posisi PA. Perbedaan rentang hasil pengukuran simulasi dan pelaksanaan terapi TBI untuk titik pengukuran yang mewakili organ kritis, perbedaan pengukuran sebesar 0,98% hingga 77,51% dengan rincian untuk titik pengukuran mata sebesar 12,40% pada posisi AP dan 1,58% pada posisi PA, untuk titik pengukuran *thyroid* sebesar 4,67% pada posisi AP dan 0,98% pada posisi PA, untuk titik pengukuran *gonad* sebesar 77,51% pada posisi AP dan 73,24% pada posisi PA. Sedangkan untuk titik pengukuran *central axis* rentang perbedaan pengukuran antara simulasi dan pelaksanaan terapi sebesar 2,68% pada posisi AP dan 10,71% pada posisi PA.

Pada titik pengukuran *gonad*, perbedaan antara hasil pengukuran simulasi dengan pelaksanaan sangat besar yaitu 73,24% dan 77,51%. Hal ini dikarenakan perbedaan perlakuan antara simulasi dan pelaksanaan terapi dengan menggunakan blok. Penggunaan blok sendiri dimaksudkan untuk melindungi organ *gonad* dari paparan radasi yang dinilai membahayakan organ tersebut. Pada simulasi pengukuran dosis TBI *in vivo* titik pengukuran *gonad* tidak ditutup dengan blok, dan didapatkan dosis 0,987 cGy pada posisi AP dan 0,923 cGy pada posisi PA. Penggunaan blok pada pelaksanaan terapi TBI *in vivo* menyebabkan dosis pada titik pengukuran *gonad* turun cukup signifikan menjadi 0,222 cGy pada posisi AP dan 0,247 cGy pada posisi PA.

Jika titik pengukuran *gonad* tidak diikutsertakan, maka rentang perbedaan pengukuran pada organ kritis antara pengukuran simulasi dan pelaksanaan terapi TBI *in vivo* menjadi 0,98% hingga 12,40%. Sehingga rentang pengukuran untuk seluruh titik pengukuran tanpa mengikutsertakan organ *gonad* sebesar 2,68% hingga 13,36% pada posisi AP dan 0,98% hingga 17,94%.

Selain pada *mata* dan *thyroid* yang berbeda kedalaman, pengukuran lainnya dilakukan pada kedalaman target yang sama. Bentuk profil berkas sinar x yang tidak homogen mengakibatkan dosis pada masing-masing titik tidak sama besar. *Center axis* yang terletak pada pusat lapangan mendapatkan dosis paling rendah, hal ini dikarenakan pada bentuk profil berkas sinar x di pusat lapangan memang menurun, sedangkan pada titik *of axis* yaitu pada *axilla* dan *femorallis* mendapatkan dosis yang lebih besar.

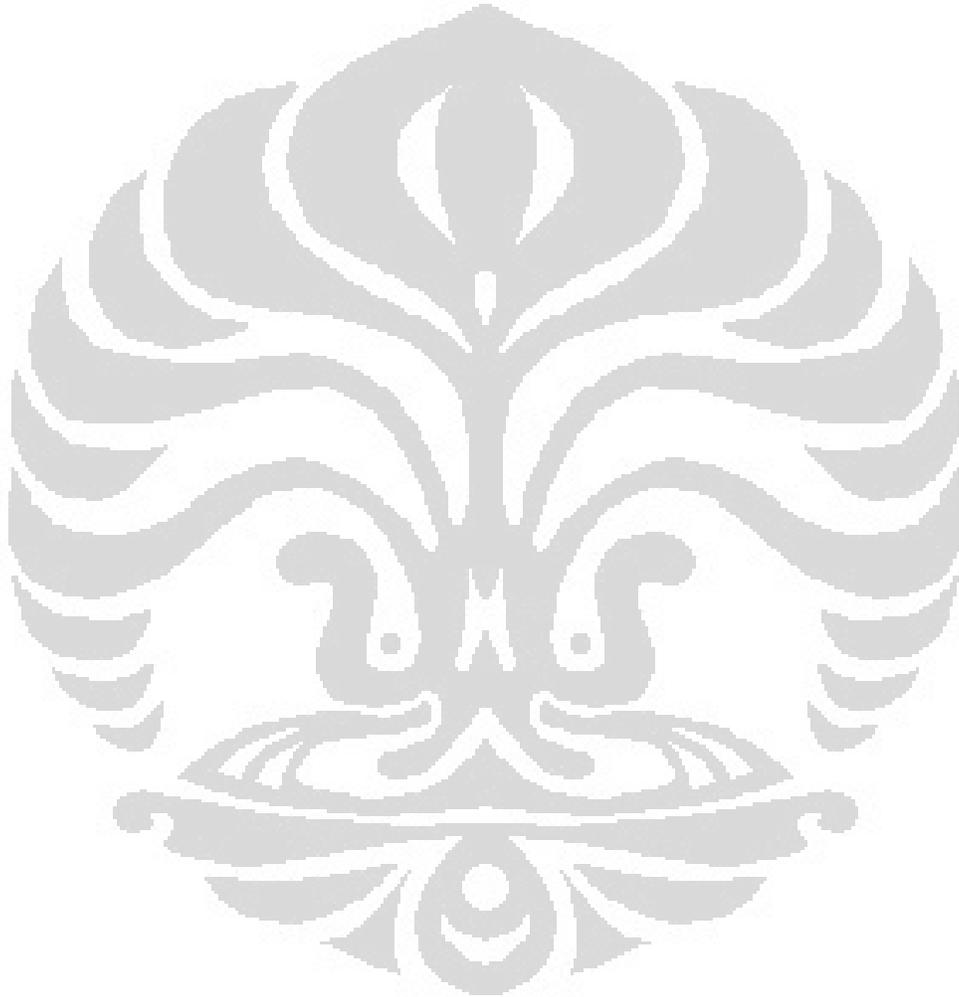
Secara radiobiologi, besarnya dosis yang didapat oleh pasien dalam pelaksanaan terapi juga harus berada dibawah dosis ambang radiasi yang dapat menyebabkan kerusakan pada organ dan jaringan, terutama untuk organ-organ kritis seperti gonad, thyroid, dan mata. Besarnya dosis ambang organ-organ kritis ditampilkan pada Tabel 5.1. Dari data tersebut diketahui bahwa dosi yang diberikan masih jauh dari dosis ambang yang menyebabkan kerusakan pada organ kritis tersebut, dengan rincian untuk organ mata, dosis yang diterima pasien TBI masih berada pada 4,15% dari dosis ambang yang menyebabkan kerusakan pada kornea mata, untuk testis hanya 2.35% dari dosis ambang yang dapat menyebabkan sterilitas, dan untuk kelenjar *thyroid* hanya 0.45% dari dosis ambang yang menyebabkan *Hypothyroidism*.

Tabel 5.1 Data tingkat kesensitifan organ terhadap radiasi

Organ	Kerusakan yg Terjadi	Dosis ambang (Gy)
Mata	Kerusakan pada kornea	6
<i>Gonad</i>	Steril	2
<i>Thyroid</i>	<i>Hypothyroidism</i>	45

Dari grafik fluktuasi dosis harian (Gambar E.1 s.d Gambar E.16), dapat dilihat bahwa hanya 22 dari 160 titik pengukuran atau 13,75% titik yang berada diluar batas garis toleransi yang ditentukan yaitu $\pm 10\%$ dari dosis rata-rata harian, dengan rincian untuk mata (AP-PA) 2 titik, *thyroid* (AP-PA) 2 titik, *axilla* kiri (AP-PA) 1 titik, *axilla* kanan (AP-PA) semua titik berada dalam wilayah toleransi, *center axis* (AP-PA) 3 titik, *femorralis* kiri (AP-PA) 3 titik, *femorallis* kanan (AP-PA) 3 titik, dan *gonad* (AP-PA) 9 titik. Pada bagian gonad terdapat paling banyak titik yang telah melewati wilayah toleransi yaitu 9 titik dari 20 titik atau sebesar

45%. Hal ini dikarenakan dosis pada gonad sangat kecil sehingga berpengaruh juga pada batas wilayah toleransi yang semakin sempit. Dari data dosis harian pada Lampiran D, dapat dilihat bahwa rentang fluktuasi dosis untuk *gonad* sangat kecil yaitu 0,136 cGy hingga 0,334 cGy pada posisi AP dan 0,189 cGy hingga 0,315 cGy pada posisi PA. Sehingga dapat dikatakan pelaksanaan terapi sudah terencana dengan baik dan tepat sasaran.



BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini telah dilakukan pengukuran dosis pada pasien TBI dengan berkas sinar-X 6 MV yang dilakukan pada SSD 360 cm. Dari hasil penelitian diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perbedaan hasil pengukuran antara simulasi dan pelaksanaan terapi TBI *in vivo* untuk seluruh titik pengukuran sebesar 2,68% hingga 77,51% pada posisi AP dan 0,98% hingga 73,24% pada posisi PA.
2. Perbedaan hasil pengukuran simulasi dengan pelaksanaan terapi TBI *in vivo* pada titik pengukuran *gonad* sangat besar, yaitu 77,51% pada posisi AP dan 73,24% pada posisi PA dikarenakan perbedaan perlakuan antara simulasi dan pelaksanaan terapi, yaitu dengan pemasangan blok yang menyebabkan dosis pada gonad turun secara signifikan.
3. Organ kritis seperti mata, *thyroid*, dan gonad yang harus dilindungi, masih memperoleh dosis total yang jauh dari dosis ambang yang memungkinkan terjadi kerusakan akibat radiasi. Untuk mata posisi AP memperoleh dosis 12,29 cGy atau sebesar 2,05%, mata posisi PA 12,49 cGy atau 2,08% dari dosis ambang 6 Gy yang menyebabkan kerusakan retina, untuk *thyroid* memperoleh dosis 10,01 cGy atau 0,22% pada posisi AP dan 10,10 cGy atau 0,23% pada posisi PA dari dosis ambang 45 Gy yang menyebabkan *Hypothyroidism*, sedangkan untuk *gonad* memperoleh dosis 2,22 cGy atau 1,11% pada posisi AP, dan gonad 2,47 cGy atau 1,24% pada posisi PA dari dosis ambang 2 Gy yang menyebabkan sterilitas pada pasien.
4. Dari analisa grafik fluktuasi dosis harian pelaksanaan terapi TBI *in vivo*, didapat bahwa hanya 22 dari 160 titik pengukuran titik yang berada diluar batas garis toleransi yang ditentukan yaitu $\pm 10\%$ dari dosis rata-rata harian, dengan rincian untuk mata (AP-PA) 2 titik, *thyroid* (AP-PA) 2 titik, *axilla* kiri (AP-PA) 1 titik, *axilla* kanan (AP-PA) semua titik berada dalam wilayah toleransi, *center axis* (AP-PA) 3 titik, *femorralis* kiri (AP-

PA) 3 titik, *femorallis* kanan (AP-PA) 3 titik, dan *gonad* (AP-PA) 9 titik. Sehingga dapat dikatakan pelaksanaan terapi sudah terencana dengan baik dan tepat sasaran.

5.2 Saran

Berikut ini merupakan saran-saran yang dapat peneliti ajukan agar dapat memberi manfaat pada penelitian selanjutnya.

1. Jumlah titik pengukuran sebagai bahan verifikasi terapi TBI *in vivo* sebaiknya ditambah dengan memasukan paru-paru sebagai organ kritis yang rentan terhadap radiasi.
2. Pada penelitian berikutnya, diharapkan dapat mencoba berbagai variasi teknik terapi TBI *in vivo* agar mendapatkan teknik yang paling optimal untuk mencapai keberhasilan terapi ini.
3. Kompensator bolus atau akrilik dapat digunakan untuk mengkompensasi ketebalah pasien demi tercapainya homogenitas dosis pada pasien.

DAFTAR PUSTAKA

Bentel, Gunnila Carleson.(1992). *Radiation Therapy Planning*. McGraw-Hill Company,USA.

Calfe, Peter Met, Kron, Thomas, dan Hoban, Peter. (1997). *The Physics of Radiotherapy X-ray and Electron..* Medical Physics Publishing, Madison, Wisconsin.

Cember, Herman. (1987).*Inroduction to Health Physics..* Pergamon Press. NewYork10523, USA.

Hall, Eric J. *Radiology for the Radiologist*. (2000). Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, USA.

Johns, Harold Elford., Cuningham, John Robert. (1983). *The Physics of Radiology*. Charles C Thomas Publisher.,USA.

Kristiadi. (2006). *Diktat Instrumentasi Linear Accelerator*, Departemen Fisika FMIPA UI. Depok

Made, I Wena , Arif ,Idam, dan Ratini, Ni Nyoman. .(2002). *Pengaruh Bentuk Sumber Terhadap Sebaran Dosis Radiasi Pesawat Teleterapi Co-60*.Jurnal Fisika Himpunan Fisika Indonesia A5 (2002)0550.

Podgorsack, Ervin B.(2003) *Review of Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria,

Quast, U., & Sack, H. (2003). Whole Body Radiotherapy. *Deutsche Gesellschaft für Medizinische Physik (DGMP)*. Report no.18.

Sisworo.(2002). *Peran Radioterapi pada Pengobatan Kanker.*
<http://www.gizi.net/cgi-bin/berita/fullnews.cgi?newsid101037611,48600>,

Yuliati,Helfi dan Akhadi,M.(2004).*Faktor-Faktor Koreksi Dalam Evaluasi Dosis Perorangan Dengan Dosimeter Thermoluminesensi.* 8 Mei 2009.
<http://www.batan.go.id/ptkmr/Alara/120.pdf>.

Yustina.,Sugito. (2008). *Diktat Pratikum Thermoluminescence Dosimeter.*,
Pusdiklat Batan.Jakarta.



Lampiran A Data Hasil Pengukuran Keluaran Pesawat Linac

Pengukuran dengan menggunakan phantom air dengan sinar x 6MV, lapangan 40 x 20 cm², kedalaman 5 cm, pada SSD 100 cm, lama penyinaran 200 MU.

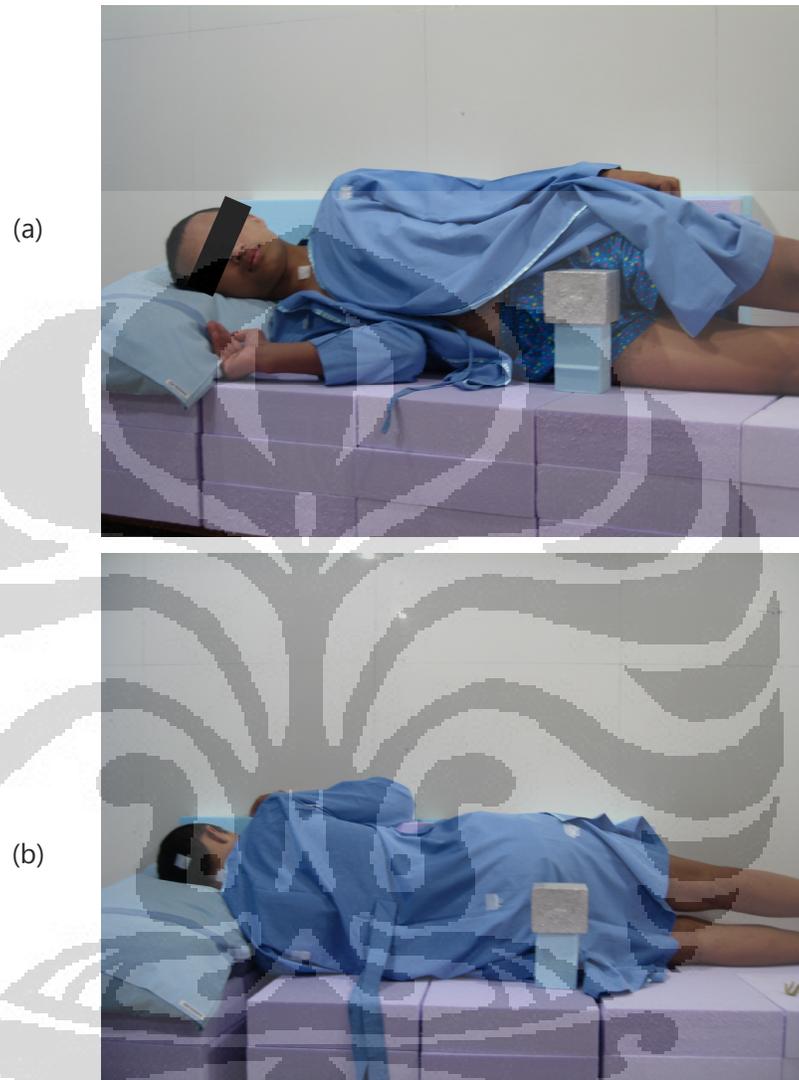
No	Muatan (nC)	Dosis (Gy)
1	41,98	2,007
2	42,01	2,008
3	41,99	2,007
4	41,98	2,007
5	41,98	2,007
\bar{X}	41,99	2,007

Pengukuran dengan menggunakan mini phantom dengan sinar x 6MV, lapangan 40 x 20 cm², kedalaman 5 cm, pada SSD 100 cm, lama penyinaran 200 MU.

No	Muatan (nC)	Dosis (Gy)
1	35,76	1,709
2	35,72	1,708
3	35,75	1,709
4	35,76	1,709
5	35,77	1,710
\bar{X}	35,75	1,709

Pengukuran dengan menggunakan mini phantom dengan sinar x 6MV, lapangan 10 x 10 cm², kedalaman 10 cm, pada SSD 360 cm, lama penyinaran 200 MU

No	Muatan (nC)	Dosis (Gy)
1	2,715	0,130
2	2,717	0,130
3	2,718	0,130
4	2,722	0,130
5	2,722	0,130
\bar{X}	2,719	0,130

Lampiran B Gambar Pelaksanaan Terapi TBI *in vivo*

Gambar B.1. Titik-titik pengamatan TLD pada tubuh pasien. (a) untuk posisi AP (b) untuk posisi PA



Gambar B.2. Perlakuan pasien dengan menggunakan pesawat linac.



Lampiran C Perhitungan Lama Waktu Penyinaran Pasien

Persamaan Mayneord kita gunakan untuk mendapatkan nilai PDD pada SSD 360 cm :

$$\begin{aligned} M &= \left(\frac{f + d_{\text{ref}}}{f + d_{\text{max}}} \right)^2 \times \left(\frac{f' + d_{\text{max}}}{f' + d_{\text{ref}}} \right)^2 \\ &= \left(\frac{100 + 10}{100 + 1,5} \right)^2 \times \left(\frac{360 + 1,5}{360' + 10} \right)^2 \\ &= 1,1212 \end{aligned}$$

Setelah itu mencari nilai PDD dengan rumus berikut :

$$\begin{aligned} \%D(10,360) &= \%D(10,100) \times \frac{\text{PSF}\left(\frac{S}{F}\right)}{\text{PSF}(S)} \times M \\ &= 72,59 \times 1 \times 1,1212 \\ &= 76,22 \end{aligned}$$

sehingga nilai MU (*monitoring unit*) yang akan diberlakukan pada terapi dicari dengan memasukkan nilai PDD kedalam persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \text{MU} &= \left(\frac{D \times 100}{\left(\frac{D}{\text{MU}} \right)_{\text{max},360,\text{Water}} \times \%D} \right) \\ &= \left(\frac{15 \times 100}{(1,129) \times 76,22} \right) \\ &= 17,43 \end{aligned}$$

pada perlakuan lapangan, lama waktu penyinaran pasien disesuaikan menjadi 20 MU.

Lampiran D Daftar Tabel Dosis Harian Pasien TBI *in vivo*

Tabel D.1 Dosis Harian Pasien TBI *in vivo* Pada Mata

Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)	Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)
Mata (AP)	5	1,908	1,335	Mata (PA)	5	1,405	0,996
	6	1,723	1,213		6	1,885	1,327
	7	2,083	1,458		7	1,956	1,383
	8	1,838	1,293		8	1,888	1,329
	9	1,606	1,124		9	1,706	1,208
	12	1,644	1,157		12	1,745	1,228
	13	1,724	1,206		13	1,773	1,256
	14	1,748	1,230		14	1,785	1,256
	15	1,717	1,201		15	1,810	1,281
	16	1,519	1,069		16	1,742	1,226
Rata-rata		1,751	1,229	Rata-rata		1,769	1,249
Standar Deviasi		1,60E10-1	1,12E10-1	Standar Deviasi		1,50E10-1	1,05E10-1

Tabel D.2 Dosis Harian Pasien TBI *in vivo* Pada *Thyroid*

Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)	Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)
Thyroid (AP)	5	1,732	0,979	Thyroid (PA)	5	1,249	0,713
	6	1,856	1,050		6	1,794	1,006
	7	1,687	0,954		7	2,065	1,178
	8	1,912	1,082		8	1,905	1,068
	9	1,731	0,979		9	2,003	1,143
	12	1,627	0,921		12	1,628	0,913
	13	1,781	1,007		13	1,833	1,046
	14	1,828	1,034		14	1,865	1,046
	15	1,819	1,028		15	1,794	1,024
	16	1,714	0,970		16	1,714	0,961
Rata-rata		1,769	1,001	Rata-rata		1,785	1,010
Standar Deviasi		8,62E10-2	4,89E10-2	Standar Deviasi		2,28E10-1	1,30E10-1

Tabel D.3 Dosis Harian Pasien TBI *in vivo* Pada *Axilla* Kiri

Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)	Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)
Axilla Kiri (AP)	5	1,432	0,818	Axilla Kiri (PA)	5	1,745	0,999
	6	1,446	0,818		6	1,621	0,918
	7	1,959	1,119		7	1,524	0,871
	8	1,792	1,014		8	1,761	0,997
	9	1,535	0,876		9	1,774	1,012
	12	1,571	0,890		12	1,616	0,914
	13	1,480	0,845		13	1,606	0,918
	14	1,515	0,857		14	1,674	0,948
	15	1,552	0,886		15	1,599	0,914
	16	1,466	0,829		16	1,567	0,887
Rata-rata		1,575	0,895	Rata-rata		1,649	0,938
Standar Deviasi		1,69E10-1	9,70E10-2	Standar Deviasi		8,61E10-2	4,94E10-2

Tabel D.4 Dosis Harian Pasien TBI *in vivo* Pada *Axilla* Kanan

Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)	Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)
Axilla kanan (AP)	5	1,799	1,027	Axilla Kanan (PA)	5	1,494	0,822
	6	1,806	1,013		6	1,570	0,849
	7	1,729	0,986		7	1,698	0,914
	8	2,019	1,132		8	1,735	0,924
	9	1,768	1,010		9	1,685	0,908
	12	1,954	1,096		12	1,565	0,847
	13	1,925	1,099		13	1,601	0,870
	14	1,847	1,036		14	1,703	0,909
	15	1,752	1,001		15	1,532	0,839
	16	1,814	1,017		16	1,750	0,930
Rata-rata		1,841	1,042	Rata-rata		1,633	0,881
Standar Deviasi		9,51E10-2	4,94E10-2	Standar Deviasi		9,13E10-2	3,98E10-2

Tabel D.5 Dosis Harian Pasien TBI *in vivo* Pada *Central Axis*

Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)	Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)
Central Axis (AP)	5	1,396	0,798	Central Axis (PA)	5	1,465	0,844
	6	1,501	0,842		6	1,544	0,866
	7	1,722	0,984		7	1,893	1,091
	8	1,628	0,913		8	1,593	0,893
	9	1,570	0,897		9	1,642	0,946
	12	1,383	0,775		12	1,301	0,729
	13	1,434	0,819		13	1,528	0,881
	14	1,740	0,976		14	1,671	0,937
	15	1,422	0,812		15	1,617	0,932
	16	1,576	0,883		16	1,548	0,868
Rata-rata		1,537	0,870	Rata-rata		1,580	0,899
Standar Deviasi		1,31E10-1	7,29E10-1	Standar Deviasi		1,52E10-1	9,17E10-2

Tabel D.6 Dosis Harian Pasien TBI *in vivo* Pada *Gonad*

Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)	Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)
<i>Gonad</i> (AP)	5	0,263	0,152	<i>Gonad</i> (PA)	5	0,425	0,241
	6	0,238	0,136		6	0,361	0,206
	7	0,580	0,334		7	0,557	0,315
	8	0,492	0,281		8	0,469	0,268
	9	0,414	0,238		9	0,400	0,227
	12	0,271	0,155		12	0,331	0,189
	13	0,456	0,262		13	0,437	0,247
	14	0,400	0,229		14	0,357	0,204
	15	0,389	0,224		15	0,561	0,317
	16	0,370	0,211		16	0,448	0,256
Rata-rata		0,387	0,222	Rata-rata		0,435	0,247
Standar Deviasi		1,08E10-1	6,24E10-2	Standar Deviasi		7,86E10-2	4,41E10-2

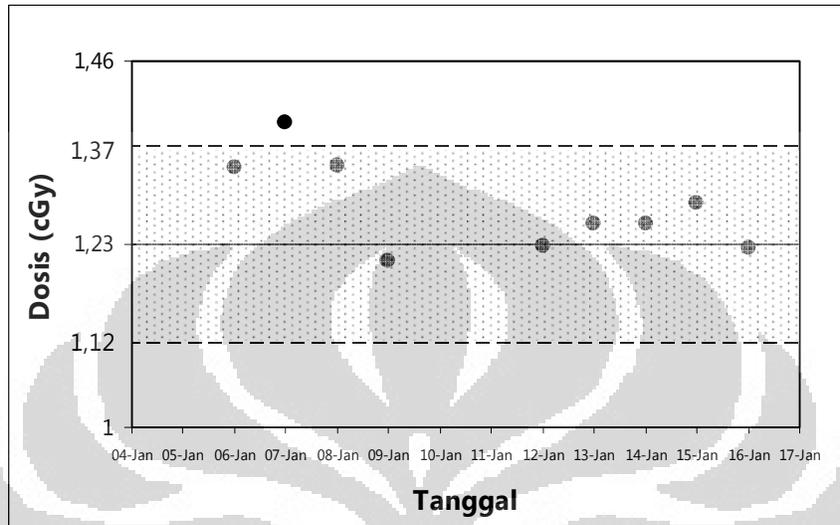
Tabel D.7 Dosis Harian Pasien TBI *in vivo* Pada *Femorallis* Kiri

Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)	Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)
Femoralis Kiri (AP)	5	1,572	0,897	Femoralis Kiri (PA)	5	1,748	1,007
	6	1,438	0,806		6	1,435	0,827
	7	1,874	1,073		7	1,844	1,062
	8	1,494	0,838		8	1,724	0,994
	9	1,275	0,728		9	1,589	0,915
	12	1,451	0,814		12	1,398	0,806
	13	1,496	0,855		13	1,764	1,016
	14	1,515	0,850		14	1,654	0,953
	15	1,591	0,909		15	1,716	0,989
	16	1,525	0,855		16	1,743	1,004
Rata-rata		1,523	0,863	Rata-rata		1,661	0,957
Standar Deviasi		1,51E10-1	8,95E10-2	Standar Deviasi		1,46E10-1	8,39E10-2

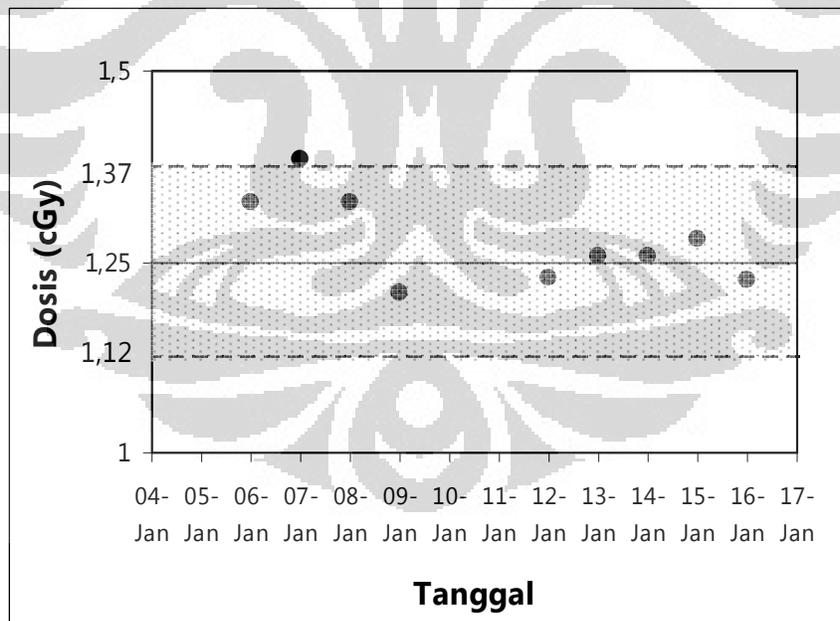
Tabel D.8 Dosis Harian Pasien TBI *in vivo* Pada *Femorallis* Kanan

Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)	Bagian	Tgl	Dosis Permukaan (cGy)	Perkiraan Dosis Target (cGy)
<i>Femorallis</i> Kanan (AP)	5	1,698	0,961	<i>Femorallis</i> Kanan (PA)	5	1,465	0,844
	6	2,052	1,169		6	1,926	1,099
	7	1,679	0,951		7	1,537	0,886
	8	2,013	1,148		8	1,644	0,938
	9	2,091	1,183		9	1,302	0,750
	12	1,825	1,041		12	1,461	0,835
	13	2,102	1,189		13	1,415	0,815
	14	1,535	0,876		14	1,597	0,912
	15	1,812	1,025		15	1,411	0,813
16	1,904	1,086	16	1,586	0,906		
Rata-rata		1,871	1,063	Rata-rata		1,534	0,880
Standar Deviasi		1,95E10-1	1,10E10-1	Standar Deviasi		1,72E10-1	9,55E10-2

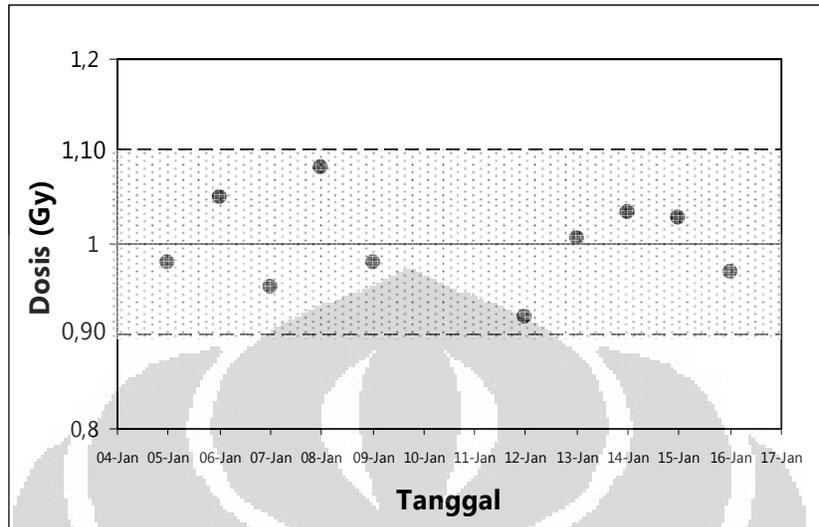
Lampiran E Daftar Grafik Fluktuasi Dosis Harian Pasien TBI *in vivo*



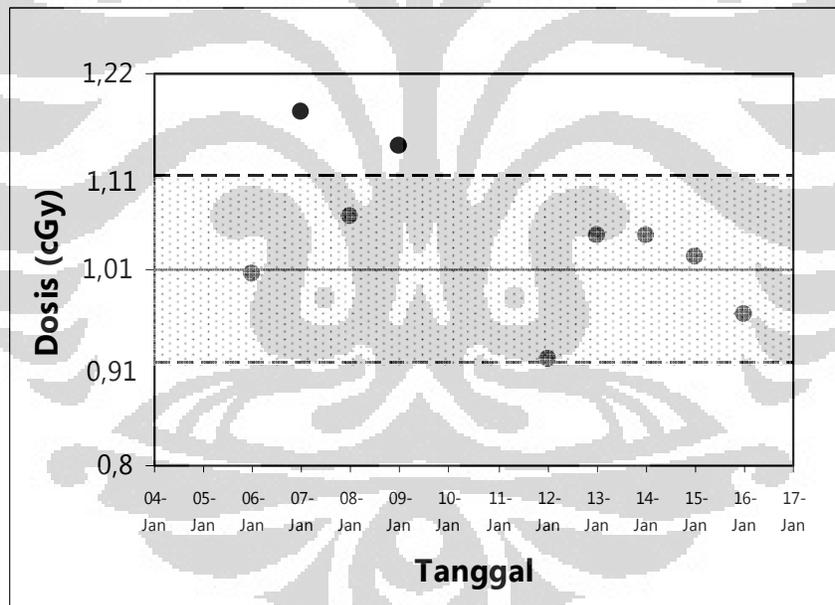
Gambar E.1 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan mata posisi AP.



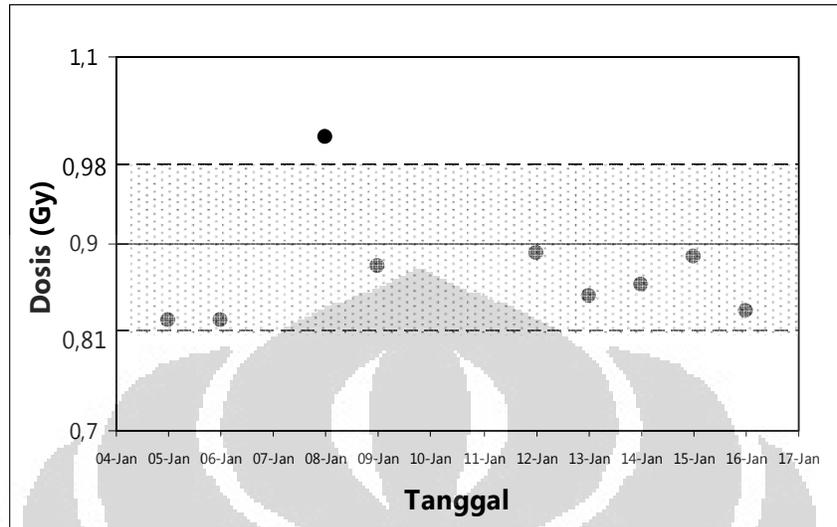
Gambar E.2 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan mata posisi PA.



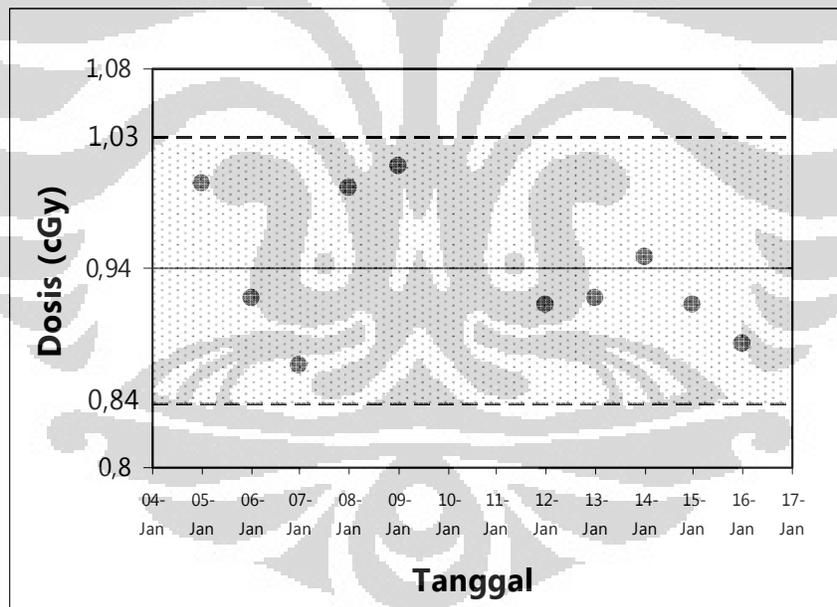
Gambar E.3 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan thyroid posisi AP.



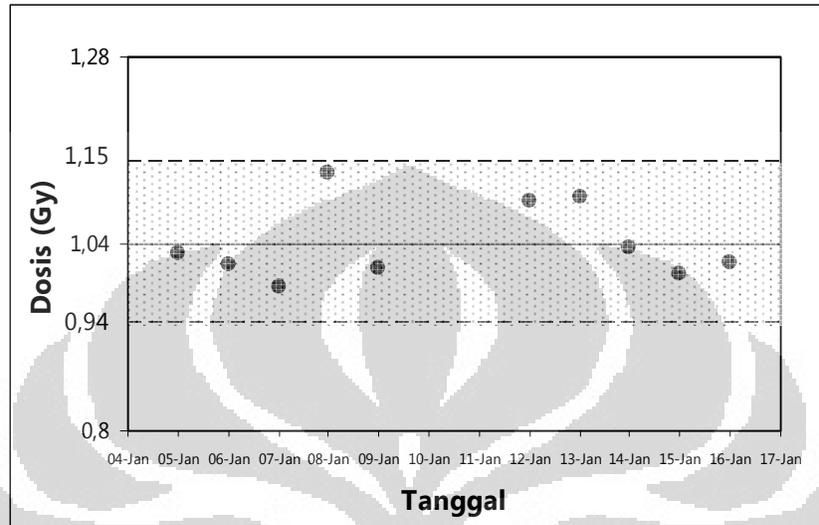
Gambar E.4 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan thyroid posisi PA.



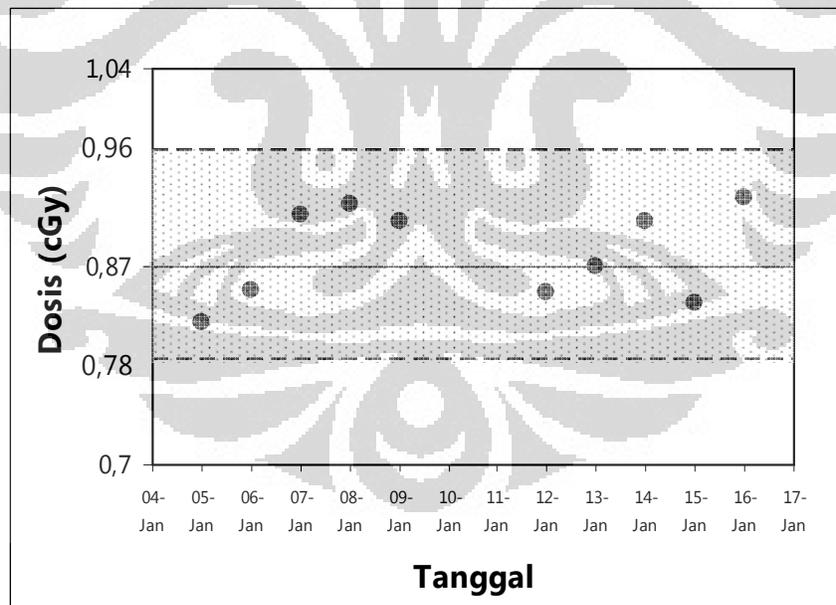
Gambar E.5 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan Axilla kiri posisi AP.



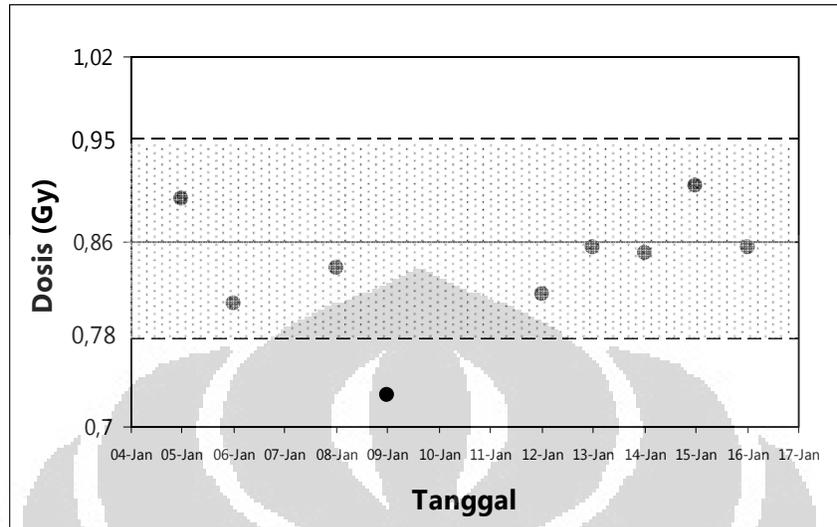
Gambar E.6 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan Axilla kiri posisi PA.



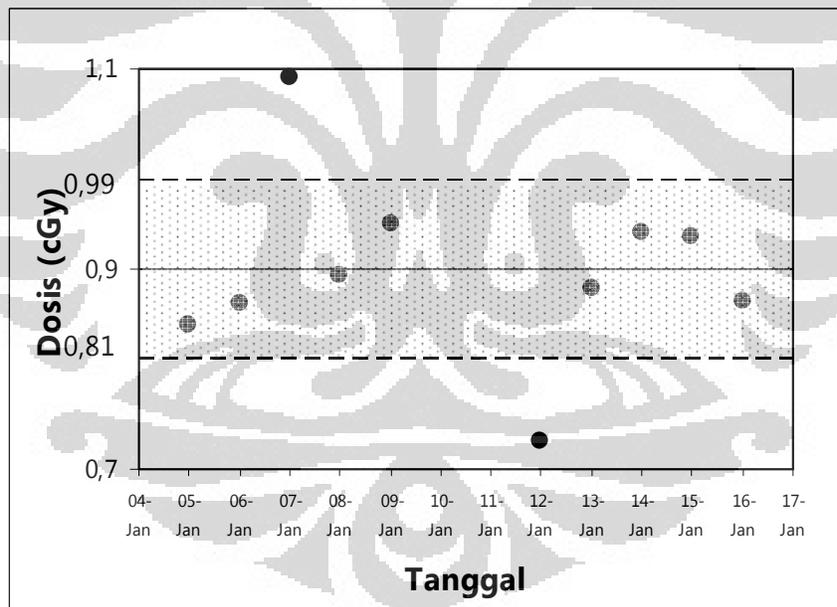
Gambar E.7 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan Axilla kanan AP.



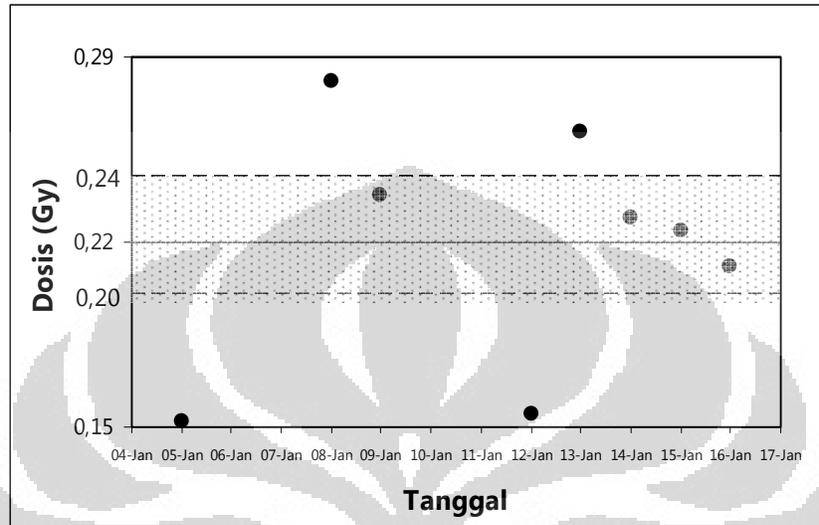
Gambar E.8 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan Axilla kanan PA.



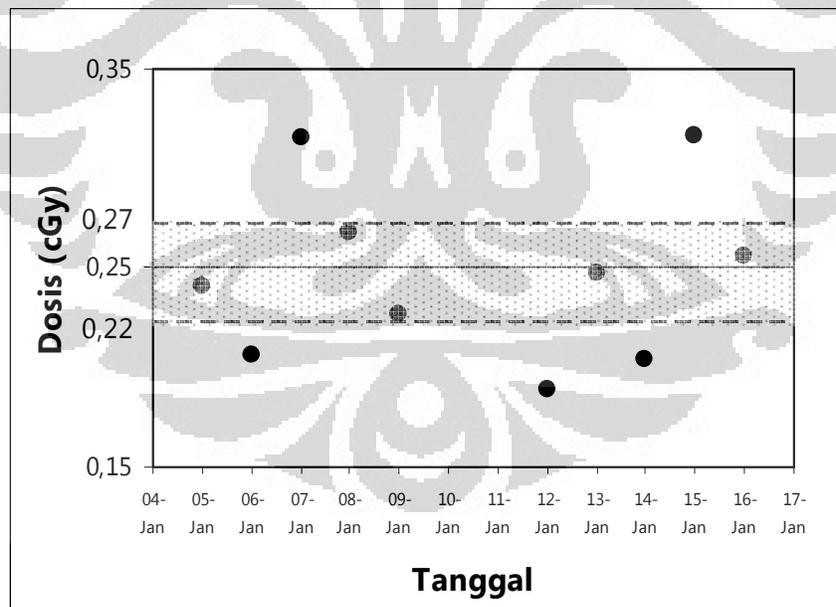
Gambar E.9 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan *center axis* posisi AP.



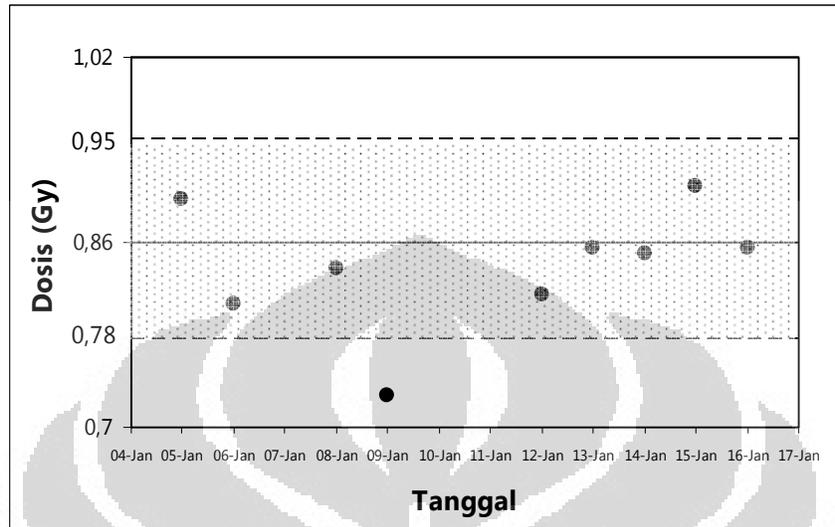
Gambar E.10 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan *center axis* posisi PA.



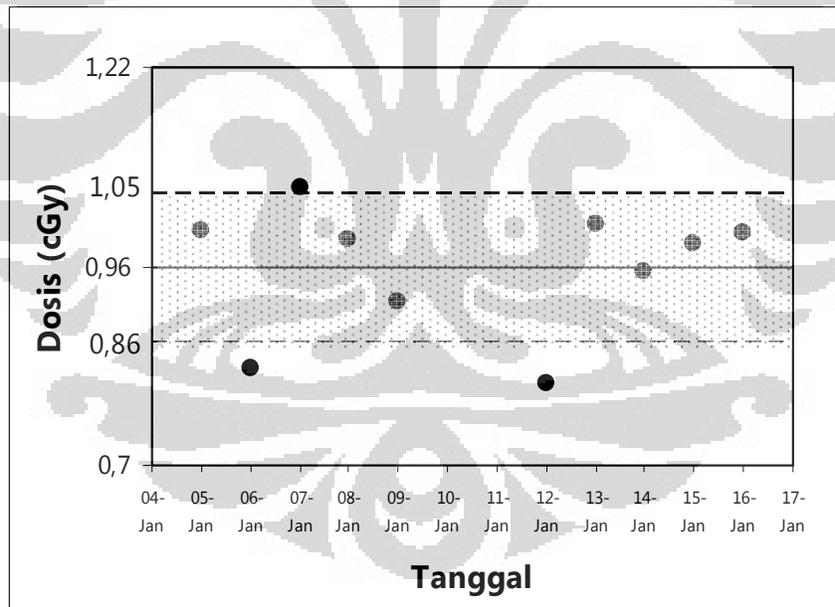
Gambar E.11 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan gonad posisi AP.



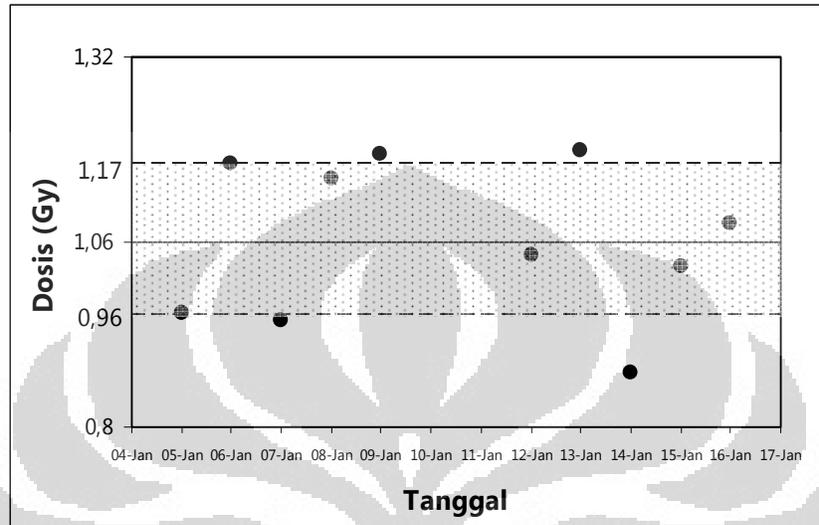
Gambar E.12 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan gonad posisi PA.



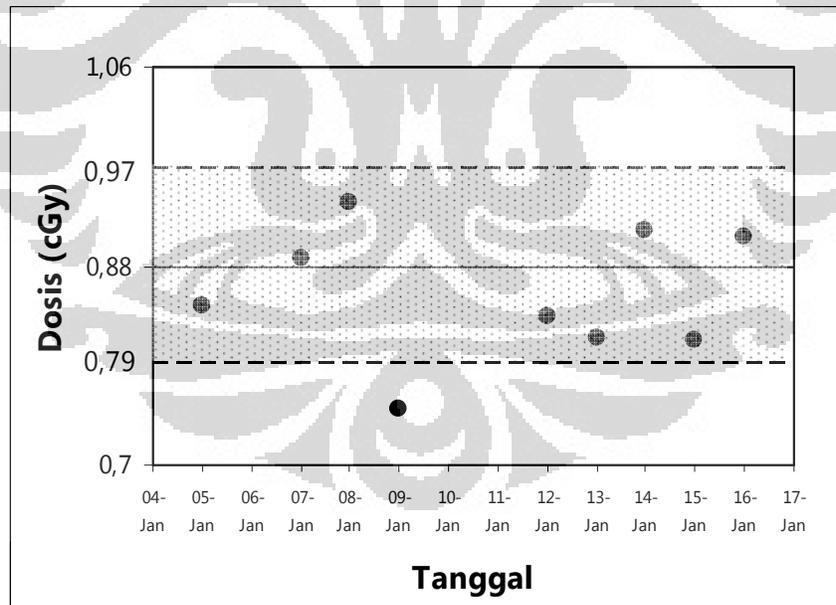
Gambar E.13 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan *femorallis* kiri AP.



Gambar E.14 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan *femorallis* kiri PA.



Gambar E.15 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan *femorallis* kanan AP.



Gambar E.16 Grafik fluktuasi dosis harian pada titik pengamatan *femorallis* kanan PA.

Pertamina Central Hospital

Percentage Depth Dose SSD = 100 cm

Siemens Primus X-rays 6 MV

Depth (cm)	Field Size																		
	2x2	3x3	4x4	5x5	6x6	7x7	8x8	9x9	10x10	12x12	14x14	15x15	16x16	18x18	20x20	25x25	30x30	35x35	40x40
0.0	43.31	43.77	44.63	45.18	45.89	46.52	47.23	48.08	48.74	50.59	51.59	52.34	53.00	54.61	55.87	59.11	61.42	63.24	64.72
0.5	81.76	81.83	81.98	82.32	82.57	82.85	83.26	82.93	83.39	83.66	85.08	85.15	85.65	86.06	86.56	87.71	88.47	89.31	89.33
1.0	97.32	97.15	97.53	97.06	97.06	97.46	97.44	97.30	97.19	97.69	97.72	97.51	98.16	97.89	98.28	98.74	98.50	98.79	99.05
1.5	99.85	99.98	99.84	99.87	99.99	100.00	99.97	99.87	99.99	99.93	98.94	99.84	99.99	99.84	99.92	99.86	99.83	99.99	99.87
2.0	98.78	98.71	98.78	98.93	98.83	98.88	98.21	99.00	98.96	98.19	98.88	98.46	99.10	98.64	99.18	99.04	98.75	99.14	99.19
2.5	95.83	96.47	96.90	96.40	96.98	96.86	97.22	97.12	96.74	97.12	97.05	96.98	97.24	97.12	97.33	97.16	97.33	97.48	97.58
3.0	93.21	93.69	94.10	94.32	94.50	94.86	94.98	94.79	94.87	95.62	95.52	95.44	95.49	95.37	95.69	95.70	95.67	95.83	96.21
3.5	90.49	90.97	91.78	91.87	92.23	92.66	92.69	92.64	92.78	93.22	93.36	93.37	93.56	93.21	93.75	93.87	93.87	94.32	94.64
4.0	87.39	88.49	89.22	89.49	89.75	90.04	90.69	90.60	90.63	91.05	91.40	91.41	91.66	91.46	91.86	92.12	92.00	92.79	92.95
4.5	84.78	85.66	86.68	87.16	87.39	88.31	88.47	88.41	88.58	89.15	89.68	89.69	89.95	89.72	90.04	90.40	90.37	91.05	91.41
5.0	82.08	83.33	84.05	85.12	84.97	85.73	86.12	86.22	86.57	87.03	87.25	87.49	87.87	87.88	88.16	88.84	89.11	89.26	89.63
5.5	79.66	80.73	82.03	82.19	83.11	83.46	83.89	84.00	84.47	85.40	85.71	85.67	86.04	85.98	86.58	87.29	87.45	87.70	88.54
6.0	77.20	78.55	79.52	80.13	80.68	81.30	81.67	82.12	82.38	83.24	83.73	83.89	84.23	84.21	84.86	85.30	85.72	86.31	86.76
6.5	74.67	75.92	77.19	77.51	78.49	79.45	79.87	80.08	80.19	81.29	81.69	81.98	82.45	82.50	83.24	83.66	83.98	84.60	85.31
7.0	72.25	73.45	75.02	75.75	76.54	77.09	77.87	78.17	78.47	79.37	79.98	80.20	80.47	80.61	81.02	81.91	82.29	83.42	83.55
7.5	69.99	71.50	72.76	73.72	74.47	74.96	75.70	75.98	76.62	77.72	78.07	78.29	78.45	78.66	79.42	80.16	81.00	81.52	82.03
8.0	67.60	69.21	70.77	71.58	72.41	73.31	73.97	74.10	74.52	75.56	76.20	76.47	76.96	77.09	77.72	78.55	79.28	80.07	80.51
8.5	65.61	67.07	68.56	69.10	70.23	71.03	71.85	72.31	72.40	73.59	74.41	74.56	75.23	75.15	76.22	77.05	77.79	78.49	78.84
9.0	63.61	65.09	66.37	67.25	68.34	69.21	69.66	70.19	70.68	71.70	72.38	72.90	73.40	73.57	74.22	75.32	76.04	76.80	77.37
9.5	61.69	63.15	64.42	65.28	66.20	66.99	67.92	68.60	68.86	69.87	70.81	71.05	71.53	71.98	72.69	73.88	74.51	75.25	75.74
10.0	59.71	61.26	62.49	63.32	64.21	65.31	66.19	66.85	67.15	68.27	69.09	69.50	69.88	70.36	71.14	72.34	73.10	73.79	74.55
10.5	57.76	59.41	60.89	61.71	62.71	63.41	64.35	64.76	65.43	66.76	67.57	67.93	68.50	68.87	69.39	70.79	71.67	72.44	72.87
11.0	56.27	57.55	58.78	59.88	60.64	61.73	62.61	63.17	63.63	64.92	65.66	66.12	66.43	67.06	68.05	69.16	69.92	70.69	71.52
11.5	54.67	55.71	57.04	57.99	58.89	59.89	60.66	61.40	61.94	62.92	64.30	64.43	65.07	65.60	66.34	67.64	68.45	69.31	70.04
12.0	52.79	53.96	55.42	56.38	57.36	58.37	59.17	59.84	60.10	61.65	62.60	62.96	63.59	64.04	64.57	65.96	66.97	67.89	68.69
12.5	51.21	52.31	53.71	54.75	55.75	56.95	57.59	58.03	58.65	60.97	61.16	61.73	62.48	63.40	64.64	65.72	66.42	67.11	67.11
13.0	49.43	50.73	52.05	53.09	54.03	55.13	56.03	56.49	57.38	59.39	59.31	59.95	60.40	60.91	61.83	63.12	64.23	65.06	65.78
13.5	48.10	49.23	50.72	51.45	52.43	53.59	54.33	55.12	55.57	57.00	58.02	58.48	58.80	59.32	60.33	61.86	62.93	63.66	64.56
14.0	46.32	47.67	48.96	49.94	50.88	51.96	52.71	53.29	54.10	55.39	56.52	56.81	57.43	58.16	58.79	60.39	61.52	62.27	63.05
14.5	44.91	46.24	47.64	48.42	49.35	50.42	51.49	51.93	52.62	53.88	54.83	55.57	56.05	56.66	57.58	58.75	60.00	61.10	61.65
15.0	43.73	45.04	46.09	47.11	48.31	49.02	49.90	50.61	51.16	52.48	53.62	54.11	54.69	55.39	56.31	57.63	58.91	59.86	60.41