

**DOSIS FETUS PADA FANTOM PASIEN KANKER
PAYUDARA DENGAN RADIOTERAPI SINAR X 6 MV**

TESIS

**NENG NENDEN MULYANINGSIH
0706172172**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM MAGISTER FISIKA
KEKHUSUSAN FISIKA MEDIS
JAKARTA
JULI 2010**

**DOSIS FETUS PADA FANTOM PASIEN KANKER
PAYUDARA DENGAN RADIOTERAPI SINAR X 6 MV**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister

**NENG NENDEN MULYANINGSIH
0706172172**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM MAGISTER FISIKA
KEKHUSUSAN FISIKA MEDIS
JAKARTA
JULI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Neng Nenden Mulyaningsih

NPM : 0706172172

Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Neng Nenden Mulyaningsih
NPM : 0706172172
Program Studi : Fisika Medis
Judul Tesis : Dosis Fetus pada Fantom Pasien Kanker Payudara dengan Radioterapi Sinar x 6 MV

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko (.....)
Penguji : Dr. Musaddiq Musbach (.....)
Penguji : Dr. Warsito (.....)
Penguji : Dr. Freddy Haryanto (.....)

Ditetapkan di :

Tanggal :

SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Nama : Neng Nenden Mulyaningsih
NPM : 0706172172
Judul Tesis : **Dosis Fetus pada Fantom Pasien Kanker Payudara
dengan Radioterapi Sinar x 6 MV**

Penulisan Tesis ini telah selesai dan siap untuk dapat maju Sidang Tugas Akhir.

Jakarta, 22 Juni 2010

Mengetahui,

Pembimbing,

(Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko)

NIP. 130 319 678

Menyetujui

Program Magister Fisika

Program Pascasajana FMIPA UI

Ketua,

Dr. Yunus Daud

NIP. 196811041995121001

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMAKASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains Program Studi Fisika Medis pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Saya menyadari, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan samapai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terimakasih kepada:

- (1) Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko selaku dosen pembimbing dan Ibu Sugiyantari, M.Si selaku pengarah di lapangan yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) Pihak Radioterapi Rumah Sakit Persahabatan Jakarta Timur yang telah membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan;
- (3) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (4) Sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 23 Juni 2010

Penulis

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

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

Nama : Neng Nenden Mulyaningsih

NPM : 0706172172

Program Studi : Fisika Medis

Departemen : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Jenis Karya : Tesis

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

“Dosis Fetus pada Fantom Pasien Kanker Payudara dengan Radioterapi Sinar x 6 MV”

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di :

Pada tanggal :

Yang menyatakan

(.....)

ABSTRAK

Nama : Neng Nenden Mulyaningsih
Program Studi : Fisika Medis
Judul Tesis : Dosis Fetus pada Fantom Pasien Kanker Payudara dengan Radioterapi Sinar x 6 MV

Telah dilakukan pengukuran dosis pada fantom pasien kanker payudara yang sedang hamil dengan sinar x 6 MV keluaran pesawat linac Varian model CLINAC 2100C milik Radioterapi Rumah Sakit Umum Persahabatan Jakarta. Penyinaran dilakukan dengan menggunakan empat lapangan radiasi, yaitu lapangan tangensial *medio lateral*, lapangan tangensial *latero medial*, lapangan *supraclave* dan lapangan *axilla*. Simulasi pasien menggunakan fantom air untuk bagian abdomennya, fantom *cirs* untuk bagian dadanya dan fantom lilin untuk bagian payudaranya. Dosis diukur dengan menggunakan TLD (*Thermoluminescence Dosimeter*) yang diletakkan di dalam fantom air, sehingga dosis yang terukur oleh TLD merupakan dosis hambur karena berasal dari sumber radiasi sekunder. TLD diletakkan pada sembilan titik umur kandungan 12, 16, 20, 22, 24, 26, 28, 36, dan 40 minggu, masing-masing dengan tiga posisi kedalaman 2 cm, 5 cm dan 10 cm, yang diukur pada kondisi fantom air konstan dengan tebal 20 cm dan pada kondisi fantom air berubah sesuai dengan umur kandungan yang sebenarnya. Umur kandungan dikelompokkan menjadi tiga kelompok yaitu kandungan berumur 0 – 12 minggu disebut trimester 1 dengan fantom air 20 cm, 13 – 24 minggu disebut trimester 2 dengan fantom air 22 cm, dan 25 – 40 minggu disebut trimester 3 dengan fantom air 23 cm. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa persentase dosis fetus menurun secara eksponensial terhadap jarak fetus sebagai akibat faktor atenuasi terhadap jaringan yang dilewatinya. Persentase dosis fetus maksimum terhadap dosis target untuk kedalaman 2, 5, dan 10 cm berturut-turut 4,40%, 2,83% dan 1,85% pada trimester satu, 8,84%, 5,25% dan 3,65% pada trimester dua, dan 9,74 %, 5,69 % dan 3,97% pada trimester tiga. Dosis total sebesar 6000 cGy pada target menyebabkan dosis fetus lebih dari 50 cGy. Efek radiasi yang mungkin terjadi pada fetus yaitu kematian prenatal, atau jika fetus tetap bertahan hidup, setelah bayi dilahirkan bisa terjadi retardasi mental, pertumbuhannya kerdil ataupun kanker dikemudian harinya.

Kata kunci : sinar x 6 MV, dosis fetus, TLD (*thermoluminescence dosimeter*)

ABSTRACT

Nama : Neng Nenden Mulyaningsih
Program Studi : Medical Physics
Judul Tesis : Fetus Dose on Breast Cancer Patients Phantom Radiotherapy with 6 MV x-ray

Dose measurements have been carried out on phantom breast cancer patients who are pregnant with 6 MV x-ray output Varian CLINAC 2100C linac's Persahabatan Hospital Jakarta. Irradiation was conducted using four radiation field, namely the tangential medio lateral, tangential latero medial, supraclave and axilla. Simulated patients for the use of water phantom abdomen, phantom cirs to the chest and candles for the breast phantom. Doses measured using TLD (Thermoluminescence Dosimeters) are placed inside the water phantom, so that the dose measured by TLD is scattered dose of radiation because it comes from secondary sources. TLD placed on the content of the age of nine points 12, 16, 20, 22, 24, 26, 28, 36, and 40 weeks, each with three position depth of 2 cm, 5 cm and 10 cm, measured in constant conditions of water phantom with a thickness of 20 cm and the phantom water conditions change according to the age of the actual content. Age contents are grouped into three age groups, which contain 0-12 weeks called first trimester with the water phantom 20 cm, 13-24 weeks is called second trimester with the water phantom 22 cm, and 25-40 weeks called third trimester with a 23 cm water phantom. The results showed that the percentage of fetal dose decreases exponentially with distance attenuation factor of fetuses as a result of the network passed. The percentage of the maximum fetal dose to the target dose to a depth of 2, 5, and 10 cm respectively 4.40%, 2.83% and 1.85% in first trimester, 8.84%, 5.25% and 3.65 % in the second trimester, and 9.74%, 5.69% and 3.97% in the third trimester. Total dose of 6000 cGy dose to the target causes the fetus more than 50 cGy. Radiation effects that may occur in the fetus are prenatal death, or if the fetus survived, after the baby is born can occur mental retardation, stunted growth or cancer in later day.

Keywords : 6 MV x-ray, fetal dose, TLD (thermoluminescence dosimeter)

DAFTAR ISI

| | |
|---|-----------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS..... | ii |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | iii |
| LEMBAR PERSETUJUAN..... | iv |
| KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMAKASIH..... | v |
| HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS..... | vi |
| ABSTRAK..... | vii |
| ABSTRACT..... | viii |
| DAFTAR ISI..... | ix |
| DAFTAR GAMBAR..... | x |
| DAFTAR TABEL..... | xi |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xii |
| 1. PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 2 |
| 1.5 Hipotesis..... | 2 |
| 2. TINJAUAN PUSTAKA..... | 3 |
| 2.1 Interaksi Radiasi dengan Materi..... | 3 |
| 2.2 Dosis Fetus..... | 5 |
| 2.3 Fantom..... | 6 |
| 2.4 Efek Biologi Radiasi pada Fetus..... | 6 |
| 2.5 <i>Thermoluminence Dosimeter</i> | 8 |
| 3. METODE PENELITIAN..... | 12 |
| 3.1 Tahap Persiapan..... | 12 |
| 3.2 Penyinaran..... | 15 |
| 3.3 Pembacaan TLD (<i>thermoluminescent dosimeter</i>)..... | 16 |
| 4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... | 18 |
| 5. KESIMPULAN DAN SARAN..... | 31 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 31 |
| 5.2 Saran..... | 31 |
| LAMPIRAN..... | 32 |
| DAFTAR REFERENSI..... | 53 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1. Proses ionisasi dan eksitasi | 4 |
| Gambar 2.2. Titik-titik acuan yang biasa digunakan untuk memperkirakan dosis pada janin..... | 5 |
| Gambar 2.3. Proses terjadinya peristiwa termoluminensi pada fosfor..... | 9 |
| Gambar 3.1. Fantom <i>cirs</i> model 002H5 yang digunakan dalam penyinaran dengan sinar-x 6 MV..... | 12 |
| Gambar 3.2. Box akrilik dan selongsong TLD serta <i>cirs</i> yang siap disinari..... | 14 |
| Gambar 3.3. Skema fantom (a) Tampak lengkap (b) Tampak 3 dimensi (c) Tampak samping (d) Tampak atas..... | 15 |
| Gambar 3.4. Selongsong akrilik untuk menempatkan TLD (<i>Thermoluminescent Dosimeter</i>)..... | 17 |
| Gambar 4.1. Kurva persentase dosis fetus terhadap posisi pengukuran ke tepi lapangan tangensial dengan ketebalan fantom konstan..... | 20 |
| Gambar 4.2. Interval persentase dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II pada kedalaman 2 cm, 5 cm, dan 10 cm dengan ketebalan fantom konstan 20 cm..... | 22 |
| Gambar 4.3 Kurva persentase dosis fetus terhadap posisi pengukuran ke tepi lapangan tangensial, <i>supraclave</i> dan <i>axilla</i> dengan ketebalan fantom konstan..... | 24 |
| Gambar 4.4 Interval persentase dosis fetus untuk lapangan tangensial, <i>supraclave</i> dan <i>axilla</i> pada kedalaman 2 cm, 5 cm dan 10 cm dengan ketebalan fantom konstan 20 cm..... | 25 |
| Gambar 4.5. Kurva persentase dosis fetus untuk trimester 1, trimester 2, dan trimester 3, pada kedalaman (a) 2 cm, (b) 5 cm dan (c) 10 cm..... | 28 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1. Risiko berhubungan dengan irradiasi selama perkembangan fetus | 7 |
| Tabel 2.2. Tingkat risiko pada fetus berkaitan dengan dosis radiasi | 8 |
| Tabel 3.1. Komposisi fantom <i>cirs</i> | 13 |
| Tabel 3.2. Jarak pengukuran (cm) dan umur kandungan (minggu) | 17 |
| Tabel 4.1. Dosis fetus yang berasal dari penyinaran lapangan tangensial I dan tangensial II pada kedalaman 2 cm, 5 cm, dan 10 cm dengan ketebalan fantom konstan 20 cm..... | 20 |
| Tabel 4.2. Dosis fetus untuk lapangan tangensial, <i>axilla</i> dan <i>supraclave</i> untuk kedalaman 2 cm, 5 cm, dan 10 cm dengan ketebalan fantom konstan 20 cm..... | 23 |
| Tabel 4.3. Persentase dosis fetus untuk penyinaran target dari gabungan empat lapangan penyinaran (lapangan tangensial <i>medio lateral</i> , tangensial <i>latero medial</i> , <i>supraklave</i> dan <i>axilla</i>) untuk trimester 1, trimester 2, dan trimester 3 dengan ukuran fantom sesuai umur kandungan..... | 26 |
| Tabel 2.4 Interval persentase dosis untuk masing-masing trimester Dengan ketebalan fantom konstan dan berubah..... | 29 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1.1 <i>Percentage Depth Doses</i> untuk energi 6 MV dan SSD 100 cm..... | 32 |
| Lampiran 1.2 Hasil Simulasi Lapangan dengan Simulator dan TPS..... | 34 |
| Lampiran 1.3 Konversi nilai <i>Field Size ekuivalen</i> dengan 1/OF (Hasil Kalibrasi BATAN Tahun 2007)..... | 36 |
| Lampiran 1.4 Hasil <i>Treatment Planning System</i> | 37 |
| Lampiran 1.5 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 2 cm pada ulangan pertama..... | 39 |
| Lampiran 1.6 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 5 cm pada ulangan pertama..... | 39 |
| Lampiran 1.7 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 10 cm pada ulangan pertama..... | 40 |
| Lampiran 1.8 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 2 cm pada ulangan kedua..... | 40 |
| Lampiran 1.9 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 5 cm pada ulangan kedua..... | 41 |
| Lampiran 1.10 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 10 cm pada ulangan kedua..... | 41 |
| Lampiran 1.11 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 2 cm pada ulangan ketiga..... | 42 |
| Lampiran 1.12 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 5 cm pada ulangan ketiga..... | 42 |
| Lampiran 1.13 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 10 cm pada ulangan ketiga..... | 43 |

| | |
|--|----|
| Lampiran 1.14 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan supraclavicula dan lapangan axilla untuk kedalaman 2 cm pada ulangan pertama..... | 43 |
| Lampiran 1.15 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan supraclavicula dan lapangan axilla untuk kedalaman 5 cm pada ulangan pertama..... | 44 |
| Lampiran 1.16 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan supraclavicula dan lapangan axilla untuk kedalaman 10 cm pada ulangan pertama..... | 44 |
| Lampiran 1.17 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan supraclavicula dan lapangan axilla untuk kedalaman 2 cm pada ulangan kedua..... | 45 |
| Lampiran 1.18 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan supraclavicula dan lapangan axilla untuk kedalaman 5 cm pada ulangan kedua..... | 45 |
| Lampiran 1.19 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan supraclavicula dan lapangan axilla untuk kedalaman 10 cm pada ulangan kedua..... | 46 |
| Lampiran 1.20 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan supraclavicula dan lapangan axilla untuk kedalaman 2 cm pada ulangan ketiga..... | 46 |
| Lampiran 1.21 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan supraclavicula dan lapangan axilla untuk kedalaman 5 cm pada ulangan ketiga..... | 47 |
| Lampiran 1.22 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan supraclavicula dan lapangan axilla untuk kedalaman 10 cm pada ulangan ketiga..... | 47 |
| Lampiran 1.23 Data Hasil Kalibrasi TLD yang dibandingkan dengan Ion Chamber model TM 30013 – 0821 | 48 |
| Lampiran 1.24 Hasil pengukuran dosis pada TLD untuk kalibrasi | 50 |

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut data yang dipublikasikan oleh AAPM (*The American Association of Physicists in Medicine*) pada tahun 1994, di beberapa Negara seperti di Amerika Serikat tiap tahunnya terdapat sekitar 4000 wanita hamil yang melakukan radioterapi, baik terapi kanker limfoma, leukemia, kanker kulit, kanker payudara, kanker serviks uterus ataupun kanker tiroid dan kasus tersebut bukanlah tidak mungkin terjadi di Indonesia. Bahkan bisa terjadi pada pasien yang sedang berlangsung melakukan radioterapi dan tiba-tiba hamil tanpa direncanakan¹¹.

Pada wanita hamil yang melakukan terapi radiasi harus diperhatikan paparan sinar yang akan diterima oleh janinnya, karena janin yang dikandungnya akan menerima paparan radiasi yang dapat menyebabkan kematian sel embrionik dalam jumlah yang lebih banyak jika dibandingkan dengan sel yang terpapar radiasi pada orang dewasa¹². Jaringan embrionik sangat sensitif terhadap radiasi, karena sel pada janin mempunyai tingkat proliferasi yang sangat tinggi dan belum terdiferensiasi dengan baik⁵.

Pada embrio dan fetus, hilangnya sejumlah kecil sel akan sangat berpengaruh. Tubuh janin tersusun dari sejumlah kecil sel dan setiap sel nantinya akan menjadi cikal bakal untuk sejumlah besar sel dalam tubuh¹⁴. Sel tersebut, jika mengalami kematian, tidak dengan mudah dapat digantikan. Dengan demikian efek radiasi *in utero* pada janin atau efek teratogenik dapat berupa anak dengan ukuran tubuh lebih kecil dengan pertumbuhan yang tidak sempurna⁸. Jika sebagian sel mati pada periode perkembangan awal janin maka sel yang tersisa terlalu sedikit untuk dapat menghasilkan organisme hidup, dan mengakibatkan kematian intrauterin¹⁵. Jika kematian sel terjadi pada perkembangan janin lebih lanjut, yakni setelah terbentuk embrio yang tersusun dari sel dengan jumlah yang cukup, maka kehilangan sedikit sel tidak bersifat letal. Meskipun demikian, organ tubuh yang terbentuk mungkin tersusun dengan jumlah sel yang lebih sedikit dan mengakibatkan terjadinya deformasi¹⁷. Hal ini juga dapat menyebabkan terbentuknya bayi dengan ukuran lebih kecil dari normal saat lahir¹⁸.

Hal ini menjadi dilematis jika pasien ingin mempertahankan bayinya tetap hidup secara normal sementara dia harus tetap melakukan radioterapi, karena jika menunggu bayi lahir akan menyebabkan tumor atau kanker semakin menyebar.

1.2 Rumusan Masalah

Berbagai masalah tersebut di atas terjadi jika dosis yang diberikan selama terapi melebihi batas ambang yang sudah ditentukan. Sehingga dalam penelitian ini akan dilakukan pengukuran dosis yang diterima oleh fetus pada ibu hamil yang melakukan terapi kanker payudara dengan menggunakan penyinaran sinar x 6 MV.

1.3 Batasan Masalah

Mengingat sangat banyaknya data yang harus diamati maka penelitian ini dibatasi hanya pada hal-hal yang sangat memungkinkan di lapangan, yaitu:

- 1.3.1 Pengukuran dosis pada fetus hanya dilakukan dengan linac Varian model CLINAC 2100C dengan sinar x 6 MV.
- 1.3.2 Lapangan untuk kasus pasien kanker payudara (*tangensial latero medial*, *tangensial medio lateral*, *supraclave*, dan *axilla*) masing-masing disinari sebanyak tiga kali ulangan yang diukur dengan tiga buah TLD untuk tiap posisi fetus yang ingin diketahui dosisnya. Bagian fetus yang diukur dosisnya masing-masing pada kedalaman 2 cm, 5 cm dan 10.

1.4 Tujuan Penelitian

Melakukan pengukuran dosis fetus pada fantom pasien radioterapi kanker payudara dengan sinar-x 6 MV.

1.5 Hipotesis

- 1.5.1 Dosis fetus akan meningkat dengan bertambahnya umur kehamilan.
- 1.5.2 Dosis fetus akan menurun dengan bertambahnya kedalaman.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Interaksi Radiasi dengan Materi

Perjalanan radiasi pengion menerobos materi akan diikuti dengan terjadinya interaksi antara radiasi itu dengan materi yang dilaluinya misalnya lemak atau jaringan. Hampir semua peristiwa interaksi selalu melibatkan pemindahan energi radiasi kepada materi. Radiasi pengion dapat berinteraksi baik dengan elektron orbital maupun inti atom materi¹. Pada setiap peristiwa interaksi, atom-atom dapat mengalami proses ionisasi dan keadaan tereksitasi. Kedua peristiwa tersebut ternyata dapat menimbulkan berbagai fenomena fisika maupun kimia yang dapat diamati².

Proses utama yang terjadi ketika radiasi melewati materi yaitu efek fotolistrik, efek Compton, dan produksi pasangan. Efek fotolistrik dan efek Compton timbul akibat interaksi sinar-x atau gamma dengan elektron pada atom, sedangkan produksi pasangan timbul karena interaksi dengan medan inti atom.

Efek fotolistrik terjadi apabila foton berinteraksi dengan elektron yang terikat pada sebuah orbit atom medium. Pada proses ini energi foton $h\nu$ akan digunakan untuk membebaskan ikatan elektron pada atom dan digunakan untuk energi kinetik elektron yang keluar dari atom tersebut. Interaksi ini dominan untuk energi foton yang rendah. Pada efek fotolistrik, energi foton yang datang diserap seluruhnya oleh elektron orbit untuk melepaskan diri dari energi ikat atom dan juga digunakan sebagai energi kinetik elektron¹¹.

Apabila energi foton lebih besar dari $2m_e c^2$, foton dapat berinteraksi dengan atom medium melalui proses produksi pasangan. Dalam proses ini foton berinteraksi kuat dengan medan inti, dan berubah menjadi pasangan partikel elektron dan positron. Foton yang energinya lebih besar dari $4m_e c^2$ dapat juga berinteraksi dengan elektron atom, dan sebagai hasil interaksinya dihasilkan 2 elektron dan 1 positron. Mengingat positron memiliki waktu hidup pendek, maka setelah positron kehilangan energi, secepatnya akan bergabung dengan elektron dan membentuk 2 foton (proses annihilasi)¹¹.

Jika foton berinteraksi dengan elektron yang berada dalam keadaan “bebas” (terikat sangat lemah), maka fenomena ini disebut efek Compton. Energi

ikat elektron tersebut lebih kecil dari energi foton datang. Bila proses Compton terjadi pada foton energi rendah, energi yang ditransfer pada elektron sangat rendah, sehingga sebagian energinya dihamburkan.

Interaksi radiasi pengion dengan materi biologi diawali dengan interaksi fisika yaitu proses ionisasi. Elektron yang dihasilkan dari proses ionisasi akan berinteraksi secara langsung maupun tidak langsung. Secara langsung bila penyerapan energi terjadi pada molekul organik dalam sel seperti DNA. Sedangkan interaksi secara tidak langsung bila terlebih dahulu terjadi interaksi radiasi dengan molekul air dalam sel yang efeknya kemudian akan mengenai molekul organik dalam sel (DNA). Mengingat sekitar 80% dari tubuh manusia terdiri dari air, maka sebagian besar interaksi radiasi dalam tubuh terjadi secara tidak langsung.

2.2 Radioterapi Kanker Payudara

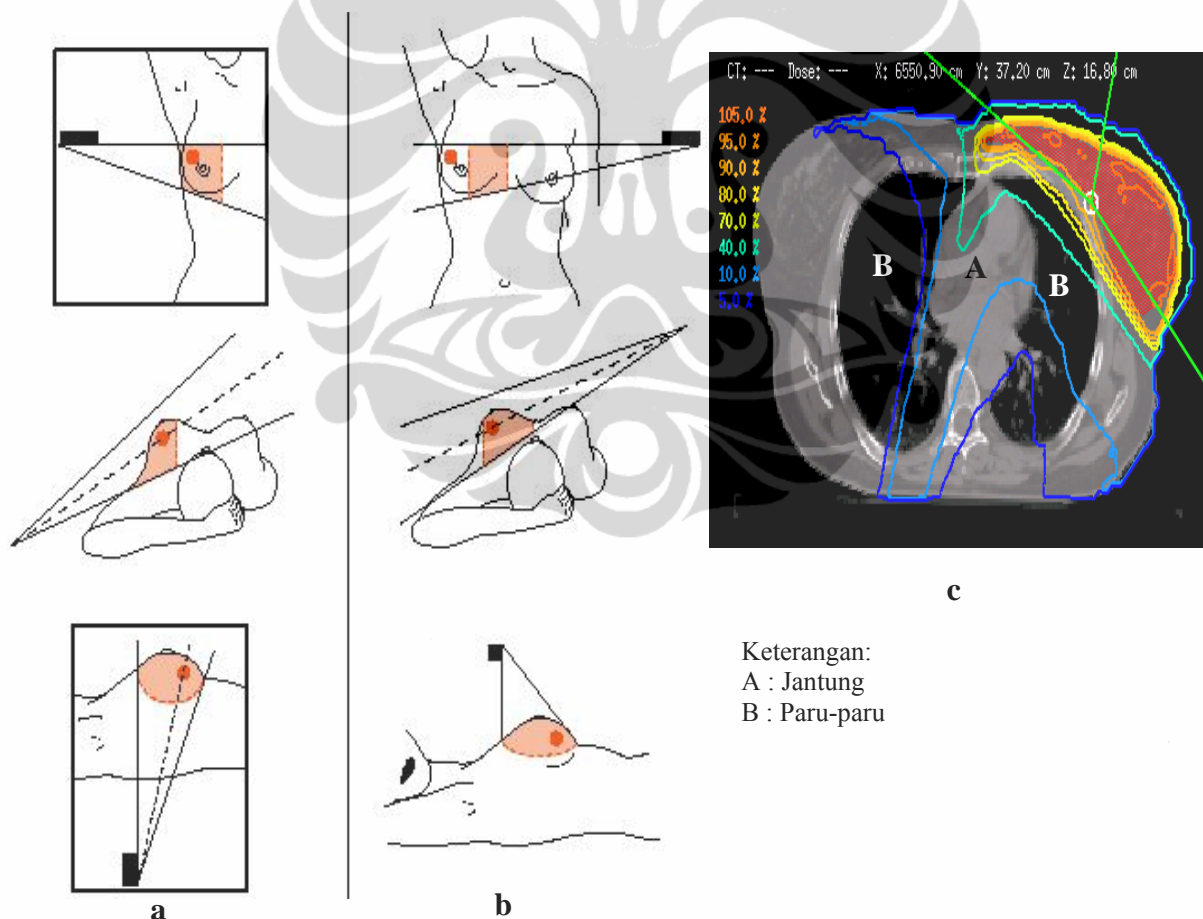
Menurut WHO 8-9% wanita akan mengalami kanker payudara. Ini menjadikan kanker payudara sebagai jenis kanker yang paling banyak ditemui pada wanita. Setiap tahun lebih dari 250.000 kasus baru kanker payudara terdiagnosa di Eropa dan kurang lebih 175.000 di Amerika Serikat. Masih menurut WHO, tahun 2000 diperkirakan 1,2 juta wanita terdiagnosis kanker payudara dan lebih dari 700.000 meninggal karenanya. Belum ada data statistik yang akurat di Indonesia, namun data yang terkumpul dari rumah sakit menunjukkan bahwa kanker payudara menduduki ranking pertama diantara kanker lainnya pada wanita⁸.

Kanker payudara merupakan penyebab utama kematian pada wanita akibat kanker. Setiap tahunnya, di Amerika Serikat 44.000 pasien meninggal karena penyakit ini sedangkan di Eropa lebih dari 165.000 meninggal setiap tahunnya. Setelah menjalani perawatan, sekitar 50% pasien mengalami kanker payudara stadium akhir hanya bertahan hidup 18 – 30 bulan.

Dalam banyak kasus, dokter akan bekerjasama dengan pasien untuk menentukan rencana pengobatan, meskipun pengobatan tiap pasien akan di sesuaikan oleh dokter. Pengobatan kanker payudara tergantung dari ukuran dan

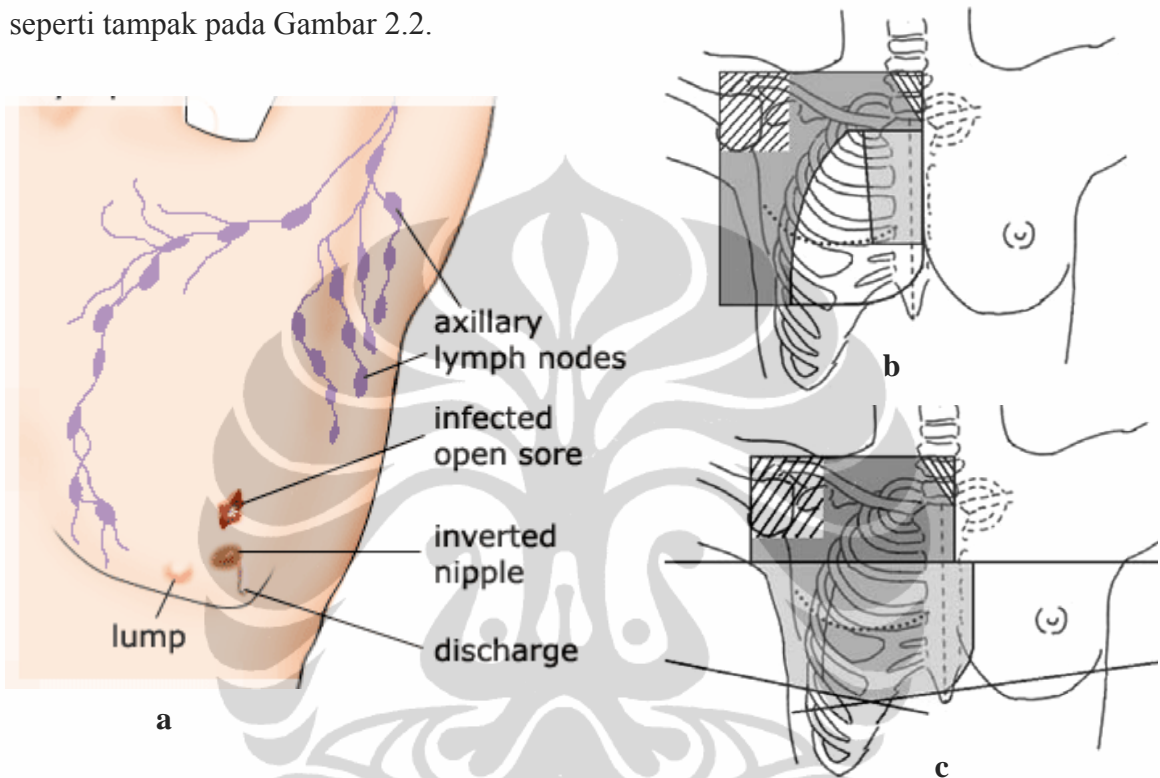
letak kanker, daerah penyebaran kanker dan kondisi kesehatan pasien secara keseluruhan¹⁷.

Radioterapi kanker payudara dilakukan dengan radiasi gamma atau sinar-x megavolt yang diproduksi pesawat *linear accelerator*. Dosis radiasi pada target diusahakan semaksimal mungkin dan dosis hambur pada jaringan sehat diusahakan seminimal mungkin. Upaya yang dilakukan untuk memenuhi kondisi seperti ini, radioterapi kanker payudara dipilih dengan menggunakan teknik penyinaran lapangan tangensial *medio lateral* dan lapangan tangensial *latero medial* sehingga dapat mengurangi resiko paparan pada organ lain seperti paru-paru dan jantung, seperti tampak pada Gambar 2.1. Terapi radiasi dilakukan setiap hari (biasanya 5 hari dalam seminggu) selama 6 minggu (30 kali penyinaran) masing-masing dengan dosis 200 cGy tiap kali penyinarannya.



Gambar 2.1 Teknik penyinaran lapangan tangensial (a) *latero medial*, (b) *medio lateral*, (c) potongan melintang dari pasien area payudara yang sedang di radiasi.

Sel kanker payudara dapat menyebar (metastasis) dengan lokasi penyebaran yang paling umum adalah pada kelenjar getah bening (terletak di bagian bawah lengan). Jika sel kanker telah menyebar ke bagian tersebut, akhirnya muncul benjolan. Sehingga dalam radioterapi kanker payudara dapat ditambah dengan teknik penyinaran lapangan *supraclave* dan lapangan *axilla*, seperti tampak pada Gambar 2.2.



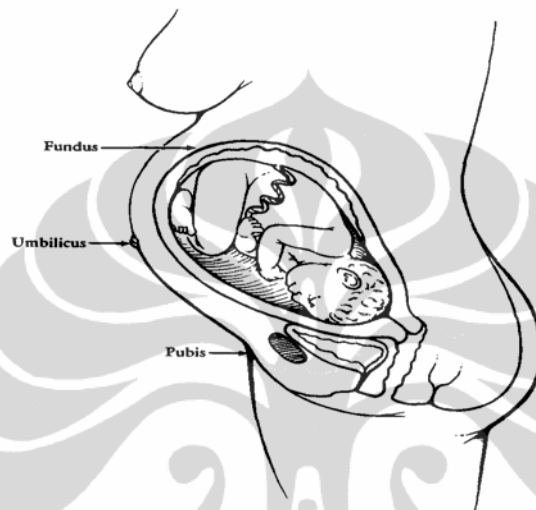
Gambar 2.2 (a) Metastasis sel kanker payudara, (b) Abu-abu gelap (*supravlave*), abu-abu terang (*mamaria*), (c) Abu-abu gelap (*axilla*), abu-abu terang (*tangensial*).

2.3 Dosis Fetus

Radioterapi pada wanita yang sedang hamil akan berisiko tinggi pada fetus yang dikandungnya. Untuk radioterapi di luar daerah rahim, fetus kemungkinan akan menerima dosis dari 3 macam radiasi²⁶, yaitu:

1. Radiasi hamburan dalam tubuh pasien itu sendiri.
2. Radiasi bocor yang berasal dari *head source* atau bagian kepala pesawat radioterapi.
3. Radiasi hambur dari kolimator atau pengatur lapangan berkas radiasi.

Dalam perencanaan terapi radiasi pada wanita hamil harus memperhatikan ukuran dan letak janin pada saat awal terapi maupun selama terapi berlangsung karena seiring dengan bertambahnya waktu letak dan ukuran janin akan selalu berubah. Terdapat tiga daerah yang biasanya digunakan sebagai titik acuan letak janin yaitu fundus, simfisis pubis dan umbilicus (daerah diantara fundus dan simfisis pubis)¹⁸, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Titik-titik acuan yang biasa digunakan untuk memperkirakan dosis pada janin.

Dosis yang akan diterima oleh janin dapat dikurangi dengan memodifikasi teknik terapi radiasi atau dengan menggunakan *shielding*, tetapi penggunaan *shielding* membutuhkan biaya yang relatif mahal. Teknik lain yang biasa digunakan untuk mengurangi dosis yang diterima fetus dilakukan dengan cara mengatur sudut lapangan, mengurangi luas lapangan ataupun pemilihan energi radiasi yang akan digunakan¹⁰.

2.4 Fantom

Fantom merupakan medium yang mempunyai sifat menyerap dan menghamburkan berkas mendekati jaringan. Material fantom yang digunakan harus memiliki sifat mendekati suatu material (misalnya jaringan atau udara) paling tidak dalam tiga parameter yaitu densitas massa, jumlah elektron per gram dan nomor atom efektif⁹. Untuk keperluan pengukuran foton maupun elektron, air dipakai sebagai fantom standar ekuivalen jaringan, karena air mempunyai

kemampuan menyerap foton hampir sama dengan jaringan basah. Sedangkan untuk menjaga keamanan alat ukur yang digunakan seperti dosimeter TLD, maka selain fantom cair juga dibuat fantom padat yang dimodifikasi sehingga kedap air. Material yang sering digunakan untuk fantom padat ini diantaranya polysterin, lucite, akrilik, plastik ekuivalen jaringan, Solid Water (WT1), Solid Water (WT-475) dan lilin¹⁷.

2.5 Efek Biologi Radiasi pada Fetus

Efek radiasi pada fetus mempunyai mekanisme yang secara umum sama dengan efek pada orang dewasa¹³. Kematian sel akan menimbulkan efek deterministik. Sedangkan kerusakan pada DNA yang tidak dapat diperbaiki atau mengalami perbaikan yang salah akan menimbulkan efek stokastik. Pada efek deterministik, seperti retardasi mental, terdapat dosis ambang, dan semakin besar dosis semakin parah efek yang terjadi. Efek deterministik akibat pajanan radiasi selama kehamilan antara lain kematian, abnormalitas sistem syaraf pusat, katarak, retardasi pertumbuhan, malformasi, dan bahkan kelainan tingkah laku. Karena sistem syaraf fetus adalah paling sensitif dan mempunyai periode perkembangan yang paling panjang, abnormalitas yang terjadi akibat radiasi jarang terjadi pada manusia tanpa disertai dengan *neuropathology*. Sedangkan pada efek stokastik seperti induksi leukemia, tidak terdapat dosis ambang, dan semakin besar dosis semakin besar kemungkinan timbulnya efek ini. Keparahan efek stokastik tidak bergantung pada dosis radiasi yang diterima¹⁶.

Efek biologi radiasi pengion pada fetus dalam kandungan sangat bergantung pada umur kandungan pada saat terkena radiasi (Tabel 2.1). Dosis ambang yang dapat menimbulkan efek yang sangat signifikan pada fetus juga bergantung pada umur kandungan¹⁷ (Tabel 2.2).

Tabel 2.1. Risiko berhubungan dengan irradiasi selama perkembangan fetus ⁷

| | Preimplan tation | Organog enesis | Early Fetal | Mid- Fetal | Late Fetal |
|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Postconception time, days | 0 to 8 | 9 to 50 | 51 to 105 | 106 to 175 | > 175 |
| Postconception time, weeks | 1 | 2 to 7 | 8 to 15 | 16 to 25 | > 25 |
| Effects : | | | | | |
| Lethality | +++ | + | + | - | - |
| Gross malformations | - | +++ | + | + | - |
| Growth retardation | - | +++ | ++ | + | + |
| Mental retardation | - | - | +++ | + | - |
| Sterility | - | + | ++ | + | + |
| Cataracts | - | + | + | + | + |
| Other neuropathology | - | +++ | + | + | + |
| Malignant disease | - | + | + | + | + |

- No observed effect ++ Readily apparent effect
 + Demonstrated effect +++ Occurs in high incidence

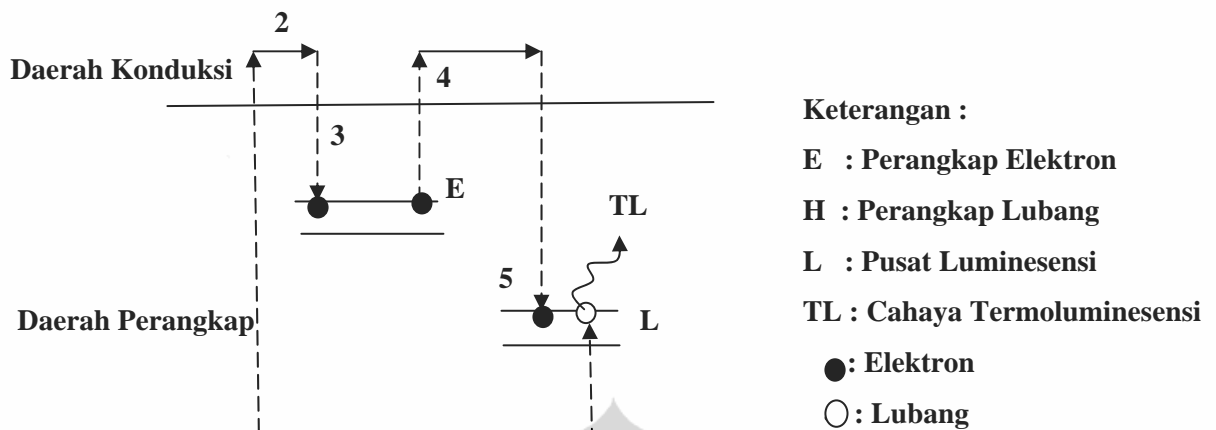
Pajanan radiasi pengion dapat menyebabkan efek sangat parah pada embrio dan fetus. Efek radiasi pada fetus dalam kandungan sangat bergantung pada umur kandungan pada saat terpapar radiasi, dosis dan juga laju dosis yang diterima. Perkembangan fetus dalam kandungan dapat dibagi atas 3 tahap. Tahap pertama yaitu preimplantasi yang dimulai sejak proses pembuahan sampai menempelnya zigot pada dinding rahim yang terjadi pada umur kehamilan 1 minggu. Tahap kedua adalah organogenesis pada masa kehamilan 2 – 8 minggu. Tahap ketiga adalah tahap fetus pada usia kehamilan 9 – 40 minggu, tahap ketiga ini dikelompokkan lagi menjadi tiga bagian yaitu tahap awal (*early fetal*), *mid fetal* dan *late fetal*. Tahap satu dan dua di tambah dengan tahap awal fetus (*early fetal*) disebut trimester satu, tahap *mid fetal* disebut trimester dua, dan tahap *late fetal* disebut trimester tiga¹⁹.

Tabel 2.2. Tingkat risiko pada fetus berkaitan dengan dosis radiasi¹⁷

| Trimester | Tahap kehamilan | Umur kehamilan (minggu) | Efek radiasi | Dosis ambang |
|-----------|--------------------|-------------------------|---|--------------|
| 1 | Preimplantasi | 1 | Kematian prenatal | 10 cGy |
| | Organogenesis | 2 – 8 | Malformasi Retardasi mental | 5 -25 cGy |
| | <i>Early fetal</i> | 9 – 15 | <i>Small Head Size</i> Retardasi mental | 12 -100 Gy |
| | | | Kemandulan Kanker | > 100 cGy |
| 2 | <i>Mid fetal</i> | 16 – 25 | <i>Severe Mental Retardation (SMR)</i> | 65 cGy |
| | | | <i>Small Head Size</i> Retardasi mental (kerdil) | >50 cGy |
| 3 | <i>Late fetal</i> | > 25 | Kanker | >50 cGy |

2.6 Thermoluminescence Dosimeter (TLD)

Bahan yang mampu menunjukkan fenomena termoluminesensi termasuk bahan isolator yang mempunyai model pita energi terdiri atas pita valensi, daerah perangkap dan daerah konduksi. Oleh sebab itu, konsep dasar untuk menjelaskan fenomena termoluminesensi adalah konsep pita energi elektron (model pita). Dalam model ini digambarkan bahwa pada kristal terdapat tingkat-tingkat energi tertentu yang dipisahkan oleh suatu pita larangan. Bahan termoluminesensi termasuk bahan isolator yang mempunyai model pita energi terdiri atas pita valensi, daerah perangkap dan daerah konduksi²⁴. Mekanisme termoluminesensi dapat dijelaskan seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.4 Proses terjadinya peristiwa termoluminesensi pada fosfor.

Interaksi antara radiasi pengion dengan fosfor dapat terjadi melalui proses fotolistrik, hamburan Compton, produksi pasangan serta ionisasi langsung. Peristiwa tersebut dapat menimbulkan ionisasi pada materi sehingga dihasilkan pasangan ion berupa elektron bebas bermuatan negatif dan ion positif berupa atom atau molekul yang kekurangan elektron dan disebut *lubang*. Elektron bebas yang telah menyerap energi radiasi memiliki energi yang cukup sehingga dapat melompat dari pita valensi menuju pita konduksi (langkah 1). Dalam pita konduksi ini elektron dapat bergerak bebas (langkah 2), sehingga akhirnya terperangkap di dalam pusat muatan positif atau perangkap elektron (langkah 3). Jumlah elektron yang terperangkap akan sebanding dengan jumlah ionisasi yang terjadi, sedang jumlah ionisasi ini sebanding pula dengan energi atau dosis radiasi yang sebelumnya diterima materi⁴. Loncatan elektron ke pita konduksi akan meninggalkan lubang bermuatan positif yang dapat bergerak bebas di dalam pita valensi (langkah 2'). Lubang bebas ini pada akhirnya juga terperangkap di dalam pusat muatan negatif atau perangkap lubang (langkah 3')²⁰.

Banyak perangkap-perangkap yang tidak stabil secara termik sehingga tidak kuat dalam mengikat tangkapannya, sehingga perangkap-perangkap dalam

kristal yang tidak stabil secara termik (perangkap dangkal) akan melepaskan tangkapan elektronnya pada suhu lingkungan. Jika jangka waktu antara terjadinya penyinaran dan pembacaan respon intensitas termoluminensi relatif lama, maka akan banyak elektron-elektron dalam perangkap meta stabil yang terlepas dari perangkap. Peristiwa ini disebut pemudaran yang mengakibatkan berkurangnya hasil bacaan tanggapan dosimeter terhadap radiasi, sehingga hasil bacaan intensitas termoluminensi yang diperoleh lebih rendah dibandingkan dengan energi radiasi sebenarnya yang diterima dosimeter²¹.

Pada perangkap yang stabil, elektron maupun lubang akan tetap terperangkap karena tidak mampu melepaskan diri untuk keluar dari perangkap-perangkap tersebut. Elektron-elektron yang terperangkap baru dapat keluar apabila mendapatkan energi yang cukup untuk melepaskan diri dari ikatan perangkap (langkah 4 dan 4'). Cara yang paling umum untuk melepaskan elektron tersebut adalah dengan memberi pemanasan dari luar³. Elektron dan lubang yang terlepas dari perangkap ini selanjutnya akan melakukan penggabungan dengan pasangan semula di pusat luminesensi (langkah 5). Proses bergabungnya elektron dengan lubang itu akan disertai dengan terjadinya pancaran cahaya tampak yang disebut cahaya termoluminesensi dan intensitasnya dapat diukur²².

Pancaran cahaya termoluminesensi 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 pada umumnya dapat dikeluarkan dengan cara menyinari bahan dengan radiasi elektromagnetik, biasanya digunakan sinar ultra violet¹.

Penyinaran dengan sinar ultraviolet ini dimaksudkan untuk memberikan energi pada elektron-elektron yang berada dalam *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 termoluminesensi 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* yang intensitasnya juga dapat diukur⁴.

Bahan yang memiliki sifat luminesensi disebut dengan nama thermoluminescent detektor atau TLD. Beberapa jenis materi yang bersifat luminesensi antara lain $\text{CaSO}_4:\text{Mn,Dy}$, LiF:Mg,Ti , LiF:Mg,Cu,P . Sebelum digunakan TLD harus dipanaskan terlebih dahulu pada suhu tertentu untuk menghapus energi yang masih tersisa didalam TLD²³.

TLD mempunyai jangkauan pengukuran yang lebar antara 5×10^{-5} sampai 5×10^3 Gy (dapat mengukur dosis radiasi sampai dengan 4.000 rem). Bacaan TLD dinyatakan dalam satuan nC dan dengan faktor kalibrasi diubah ke dalam satuan mGy. Sensitivitasnya tidak konstan sehingga untuk melakukan pengukuran dengan tingkat presisi yang tinggi TLD harus dikalibrasi dengan kualitas radiasi dan jangkauan yang sesuai dengan kualitas radiasi yang dimaksud. Bentuk TLD ada yang berupa rod/batang, chip dan ada juga yang berbentuk serbuk. TLD bentuk rod/batang kecil atau chip bila dikalibrasi secara individual memberikan sedikit lebih presisi dibandingkan dengan TLD yang berbentuk serbuk, dan pemakaian berikutnya menunjukkan deviasi hanya sekitar 2 %.

Material TLD LiF mempunyai nomor atom efektif 8,31 yang mendekati nomor atom jaringan tubuh (otot nomor atom efektifnya sekitar 7,64), sehingga sesuai untuk pengukuran dalam bidang medis. Material dengan nomor atom yang lebih tinggi seperti CaF_2 dan CaSO_4 dengan berbagai impuritas cocok untuk dosimetri $\text{Co } 60$ karena memiliki sensitivitas 10 sampai 100 kali sensitivitas LiF. Namun kedua TLD mempunyai tanggapan yang sangat bervariasi pada rentang energi antara 30 keV dan $\text{Co } 60$ ²⁰. Kelebihan penggunaan TLD yaitu dapat digunakan ulang, tetapi kekurangannya tidak dapat dibaca langsung¹⁵.

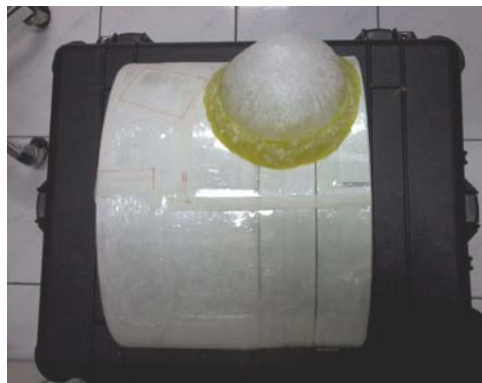
BAB 3 METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari tiga tahapan, tahap pertama persiapan yang meliputi persiapan fantom, simulasi lapangan dengan simulator dan TPS (*treatment planing system*). Tahap kedua penyinaran fantom sebagai simulasi pasien kanker payudara (*carsinoma mammae*) menggunakan sinar-x 6 MV yang diproduksi oleh pesawat linac VARIAN model CLINAC 2100C milik Rumah Sakit Persahabatan Jakarta. Tahap ketiga pembacaan TLD (*thermoluminescent dosimeter*), dilakukan di Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia, Depok.

3.1 Tahap Persiapan

Fantom yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga bagian, yaitu bagian payudara, dada dan perut (abdomen). Fantom yang digunakan untuk bagian payudara terbuat dari lilin yang diukur densitasnya sampai mendekati densitas payudara yaitu sekitar $1,056 \text{ gram/cm}^3$. Sementara untuk menempelkan lilin batangan tersebut dengan adanya digunakan lilin yang lebih lunak (lilin *malam*) dengan densitas $0,9 \text{ gram/cm}^3$ (Gambar 3.1). Diameter fantom payudara ini 19 cm dan ketebalan bagian tengahnya 6 cm.

Fantom yang digunakan untuk bagian dada yaitu fantom *cirs* model 002H5 milik laboratorium Fisika Medis Universitas Indonesia. Fantom *cirs* yang digunakan untuk penelitian ini berdiameter horisontal 30 cm dan diameter vertikal 20 cm serta panjangnya 27 cm.



Gambar 3.1. Fantom *cirs* model 002H5 yang digunakan dalam penyinaran dengan sinar-x 6 MV.

Fantom *cirs* yang digunakan merupakan hasil pabrikasi yang sudah siap untuk digunakan. *Cirs* berbahan dasar *epoxy resin* yang merupakan [polimer epoxide thermosetting](#) yang mempunyai sifat bertambah bagus bila dicampur dengan sebuah agen [katalis](#) atau "pengeras". Kebanyakan [resin epoxy](#) diproduksi dari reaksi antara *epichlorohydrin* dan [bisphenol-A](#). Berikut komposisi fantom *cirs* yang secara kuantitatif komposisinya sama dengan komposisi tubuh manusia⁸.

Tabel 3.1 Komposisi fantom *cirs*⁹

| Komposisi <i>Cirs</i> | Massa Jenis (g/cm ³) | Kerapatan Elektron per cc x 10 ²³ | Kerapatan Elektron Relatif Terhadap H ₂ O |
|--------------------------|--|--|--|
| Lung | 0,21 | 0,69 | 0,207 |
| Bone | 1,60 | 5,03 | 1,506 |
| Muscle | 1,06 | 3,48 | 1,042 |
| Adipose | 0,96 | 3,17 | 0,949 |

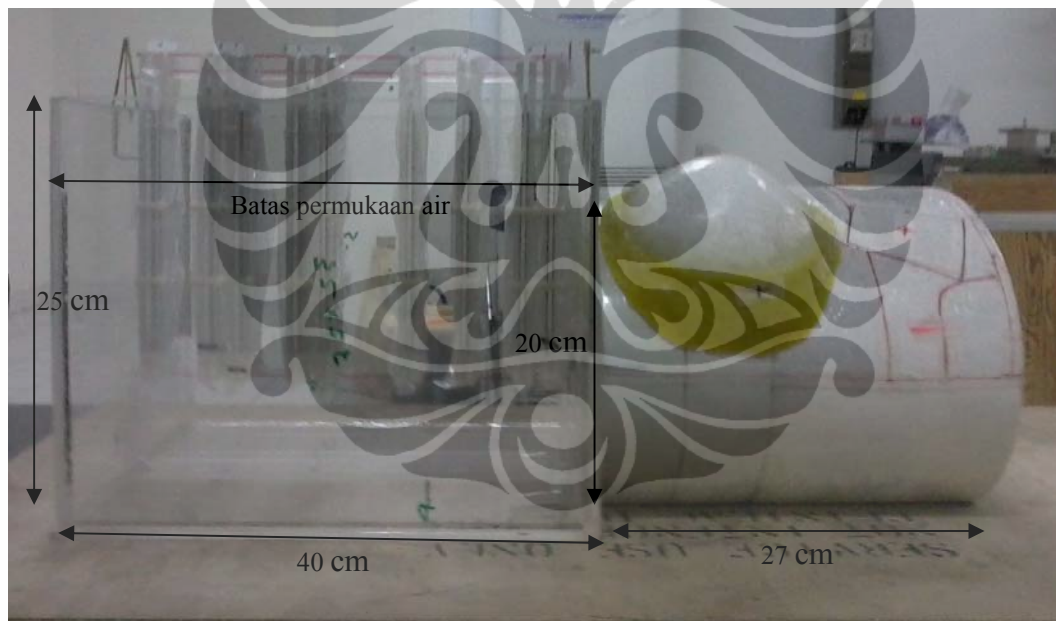
Fantom *cirs* yang sudah digambar lapangannya disimulasi dengan simulator untuk mendapatkan ukuran lapangan radiasi pada fantom tersebut, serta untuk mengetahui besarnya sudut kolimator dan sudut *gantry*-nya. Data-data tersebut berperan penting sebagai data masukkan untuk melakukan penyinaran dengan pesawat linac. Dari simulator ini juga diperoleh foto masing-masing lapangan dan separasinya.

Foto lapangan yang diperoleh dari simulator dibawa ke TPS (*Treatment Planning Systems*) untuk dihitung output faktornya serta PDD (*Percentage Depth Doses*)-nya kemudian dihitung nilai *monitor unitnya* (MU) untuk mengetahui lamanya waktu penyinaran. (Semua perhitungan tercantum dalam lampiran).

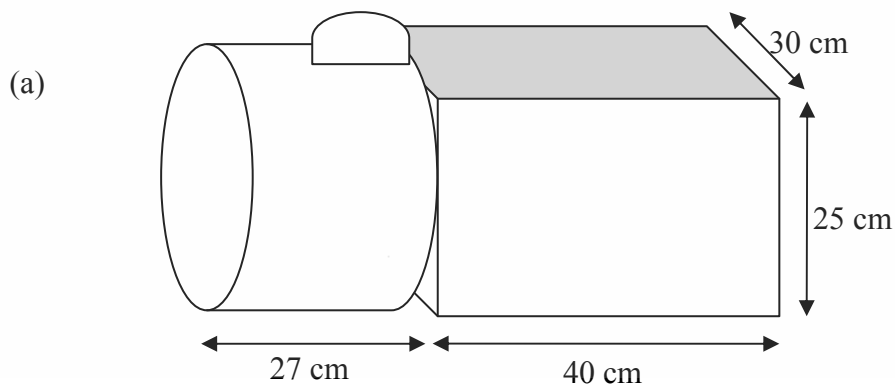
Sedangkan untuk bagian perutnya dibuat dari box akrilik dengan ukuran panjang x lebar x tingginya yaitu 40 x 30 x 25 cm³, bagian tengah atas dan bagian tengah bawahnya diberi gantungan untuk menggantungkan selongsong tempat menyimpan TLD. Box akrilik ini diisi aquades sampai setinggi 20 cm untuk pengambilan data pada semua umur kandungan dengan ketebalan fantom konstan,

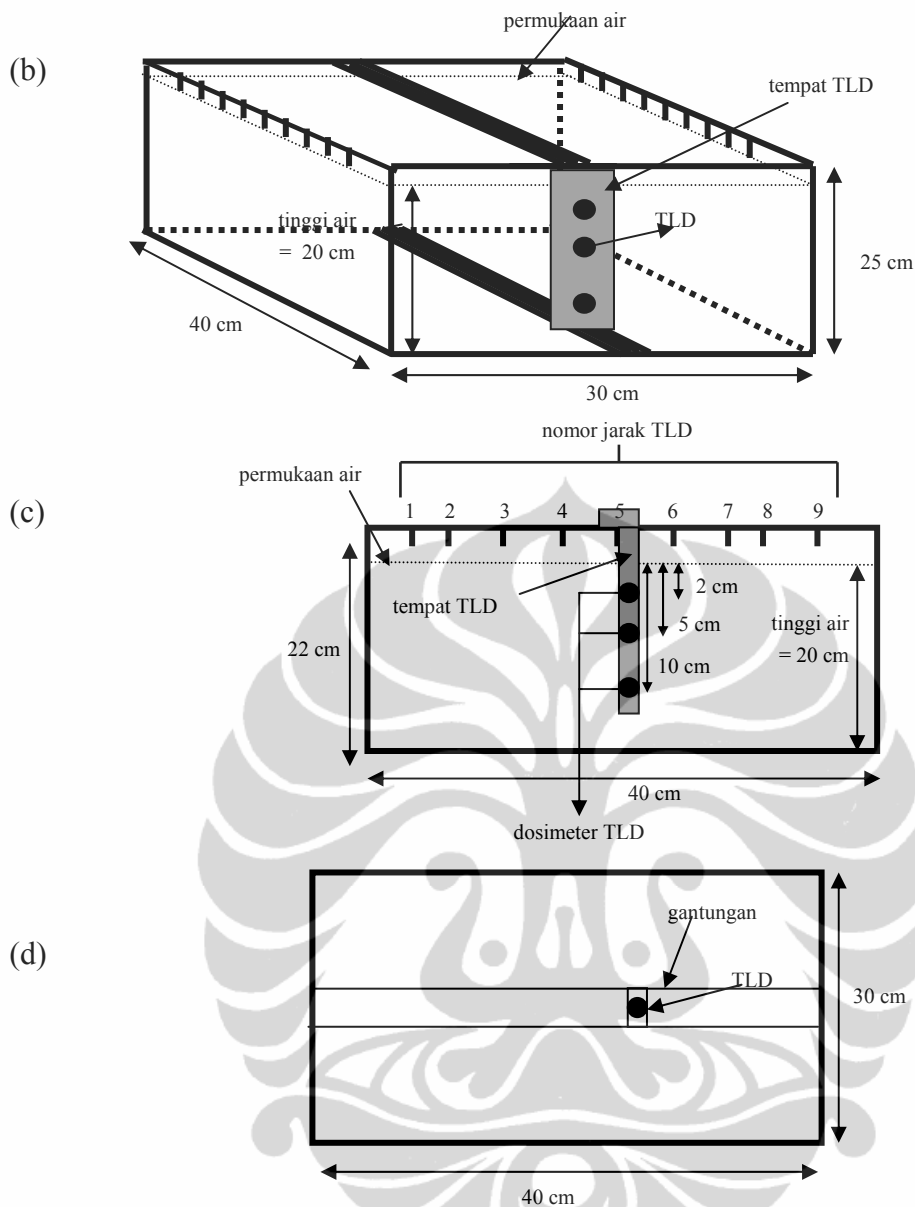
22 cm untuk pengambilan data trimester 2 dan 23 cm untuk pengambilan data trimester 3 untuk umur kandungan sesuai dengan yang sebenarnya.

Selongsong untuk menyimpan TLD berukuran panjang x lebar x tebalnya yaitu $22 \times 5 \times 1,3 \text{ cm}^3$, dalam selongsong tersebut dibuat lubang pada tiga posisi kedalaman, berjarak 2 cm, 5 cm dan 10 cm dari permukaan air. Variasi kedalaman TLD ini merepresentasikan bagian tubuh fetus yang berada di atas, tengah dan bawah dengan posisi tubuh ibunya terlentang, dan pada masing-masing kedalaman diletakkan tiga buah TLD secara sejajar yang terpisah sejauh 0,3 cm antara satu TLD dengan TLD yang lainnya. Jarak TLD ke tepi lapangan terdekat dibuat bervariasi dan jaraknya diberi nomor 1 sampai 9. TLD diposisikan di tengah-tengah lebar fantom. Posisi TLD dibuat demikian untuk merepresentasikan ukuran dan posisi fetus yang tumbuh dan berkembang di dalam rahim ibunya.



Gambar 3.2. Box akrilik dan selongsong TLD serta *cirs* model 002H5 yang siap disinari.





Gambar 3.3. Skema fantom (a) Tampak lengkap (b) Tampak 3 dimensi (c) Tampak samping (d) Tampak atas.

3.2 Penyinaran

Fantom diasumsikan pasien yang melakukan penyinaran kanker payudara. Penyinaran dilakukan dengan menggunakan empat lapangan yaitu lapangan tangensial *medio lateral* (tangensial I), lapangan tangensial *latero medial* (tangensial II), lapangan *supraclave* (lapangan III) dan lapangan *axilla* (lapangan IV). Penyinaran lapangan I, II dan III dilakukan dengan teknik SSD = 100 cm, sedangkan untuk lapangan IV dilakukan dengan teknik SSD = 92 cm dan teknik SAD = 100 cm.

Pada fantom dengan ketebalan konstan 20 cm, penyinaran dibedakan menjadi dua tahapan, tahap pertama penyinaran lapangan tangensial I dan tangensial II, tahap ke dua penyinaran lapangan *supraclave* dan lapangan *axilla*, masing-masing tahapan diulang sebanyak tiga kali. Dalam setiap tahapnya, setelah selesai penyinaran TLD langsung dibaca.

Pada fantom dengan ketebalan sesuai dengan umur kandungan 22 cm untuk trimester 2, dan 23 cm untuk trimester 3, penyinaran dilakukan secara langsung untuk ke empat lapangan penyinaran. Masing-masing penyinaran dilakukan tiga kali pengulangan.

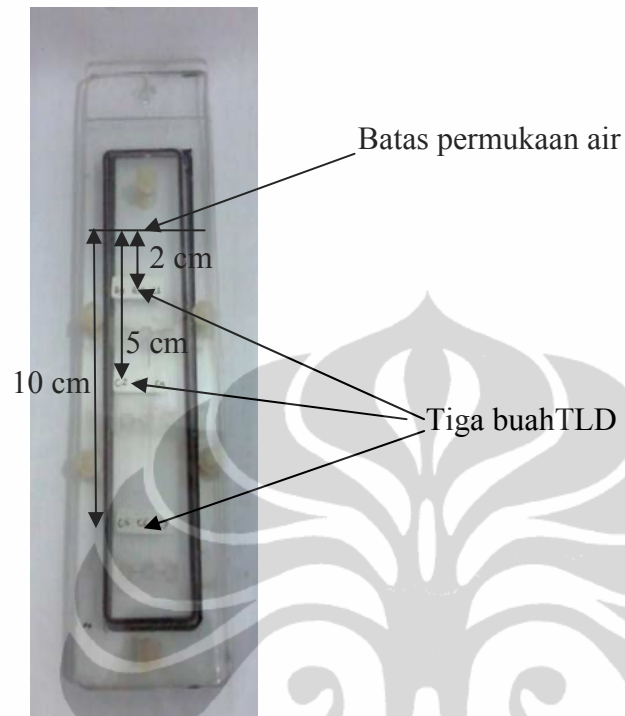
3.3 Pembacaan TLD (*Thermoluminescent Dosimeter*)

Dosimeter TLD yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe TLD 100 yang berbentuk *chips* (keping persegi kecil) dengan dimensi 3,175 x 3,175 x 0,889 mm³ merk Harshaw, USA, milik Laboratorium Fisika Medis Universitas Indonesia dan mempunyai rentang dosis pengukuran dari 5×10^{-5} hingga 5×10^3 Gray. Bacaan TLD dinyatakan dalam satuan nC dan dengan faktor kalibrasi diubah ke dalam satuan mGy. Faktor kalibrasi untuk setiap TLD yang digunakan dapat dilihat dalam Lampiran 1.24. Kalibrasi TLD dilakukan oleh Radioterapi Rumah Sakit Umum Persahabatan Jakarta terhadap radiasi gamma Cs-137 pada kedalaman 10 cm dan ukuran lapangan 20 x 20 cm² dengan dosis per fraksi 200 cGy yang dibandingkan dengan dosimeter ion chamber.

Dalam penelitian ini TLD (*Thermoluminescent Dosimeter*) diletakkan dalam selongsong akrilik pada tiga posisi kedalaman, 2 cm, 5 cm dan 10 cm dengan selongsong akrilik berada pada posisi berdiri, dan untuk tiap kedalaman diletakkan tiga buah TLD dengan posisi sejajar horisontal yang berjarak 0,3 cm antara satu TLD dengan TLD yang lainnya. Selanjutnya selongsong akrilik ini digantungkan dalam box akrilik berisi aquades sebagai simulasi fantom abdomen. Selongsong akrilik ini bisa dilihat pada Gambar 3.4.

Selongsong akrilik untuk menempatkan TLD dibuat sebanyak sembilan buah dan digantung pada jarak yang bervariasi terhadap tepi payudara bagian terdekat dengan abdomen yang selanjutnya disebut sebagai jarak pengukuran. Variasi jarak pengukuran berdasarkan pada perubahan posisi fetus untuk umur

kandungan yang berbeda tiap minggunya. Variasi jarak pengukuran untuk umur kandungan yang berbeda dapat dilihat pada tabel 3.1.



Gambar 3.4. Selongsong akrilik untuk menempatkan TLD (*Thermoluminescent Dosimeter*).

Tabel 3.2. Jarak pengukuran (cm) dan umur kandungan (minggu)

| No | Umur Kandungan (minggu) | Jarak Pengukuran (cm) |
|----|-------------------------|-----------------------|
| 1 | 12 | 36 |
| 2 | 16 | 32 |
| 3 | 20 | 30 |
| 4 | 22 | 26 |
| 5 | 24 | 24 |
| 6 | 26 | 18 |
| 7 | 28 | 14 |
| 8 | 36 | 8 |
| 9 | 40 | 10 |

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kanker payudara terjadi karena adanya pertumbuhan abnormal sel pada payudara. Organ-organ dan kelenjar dalam tubuh (termasuk payudara) terdiri dari jaringan-jaringan berisi sel-sel. Umumnya, pertumbuhan sel normal mengalami pemisahan dan mati ketika sel menua, sehingga dapat digantikan sel-sel baru¹⁶. Tetapi ketika sel-sel lama tidak mati dan sel-sel baru terus tumbuh (padahal belum diperlukan), jumlah sel yang berlebihan bisa berkembang tidak terkendali sehingga membentuk tumor. Akan tetapi, tidak semua tumor merupakan kanker, terutama pada payudara. Ada jenis tumor jinak (non kanker), ada juga tumor yang ganas yang disebut dengan kanker²¹.

Dalam praktek, perlakuan radioterapi pada pasien kanker payudara tergantung pada kondisi pasien. Apakah sudah mengalami operasi radioterapi atau belum dan tergantung pada stadium penyakitnya. Bila pasien telah mengalami operasi radikal, penyinaran pada daerah payudara umumnya dilakukan dengan berkas elektron ditambah dengan penyinaran *supraclave* dan *axilla*¹¹. Pasien dengan payudara utuh dan stadium dini, penyinaran dilakukan pada payudara dengan 2 lapangan tangensial. Sedangkan untuk pasien tanpa mengalami operasi dan diperkirakan dengan stadium lanjut, penyinaran dilakukan pada payudara dengan 2 lapangan tangensial ditambah dengan lapangan *supraclave* dan *axilla*.

Dalam penelitian ini, telah dilakukan penyinaran payudara dengan 2 lapangan tangensial, *supraclave* serta *axilla*. Lapangan tangensial I disebut tangensial medio lateral dan lapangan tangensial II disebut tangensial latero medial. Dosis fetus dihitung untuk kedalaman 2 cm, 5 cm, dan 10 cm dengan jarak dari tepi lapangan yang bervariasi disesuaikan umur kehamilan. Variasi kedalaman ini berturut-turut menunjukkan posisi umbilikus, fundus dan pubis³. Sedangkan variasi jarak fetus terhadap tepi lapangan radiasi penyinaran yang selanjutnya disebut jarak fetus diamati pada 9 posisi usia kehamilan yaitu 12, 16, 20, 22, 24, 26, 28, 36, 40, minggu. Awal kehamilan diambil ketika umur fetus 12 minggu karena diperkirakan fetus sudah mulai tumbuh dan sudah dapat dideteksi, sedangkan akhir kehamilan diambil sampai fetus berumur 40 minggu. Diharapkan untuk orang Indonesia, jarak fetus ini tidak banyak berbeda.

Dosis yang diberikan pada payudara ditentukan pada pertengahan separasi yang berada dalam volume target 200 cGy/fraksi untuk lapangan tangensial, dengan perbandingan persentase 50% - 50% untuk masing-masing lapangan tangensial I (*medio lateral*) dan lapangan tangensial II (*latero medial*). Demikian pula dosis yang diterima target yang berasal dari penyinaran lapangan *supraclave* dan *axilla* juga berjumlah 200 cGy/fraksi. Dalam praktek klinik radioterapi kanker payudara dilakukan dalam 30 fraksi dengan dosis total target 6000 cGy.

Radiasi yang diterima fetus adalah radiasi hambur karena fetus terletak di luar lapangan radiasi primer. Interaksi sinar x 6 MV dengan fantom sebagian besar terjadi dengan proses hamburan Compton, dan probabilitas arah hamburan maju lebih tinggi dibanding dengan arah hamburan balik. Akibatnya dosis hamburan pada jarak fetus yang paling jauh sekalipun yaitu 36 cm dari tepi payudara tidak dapat diabaikan.

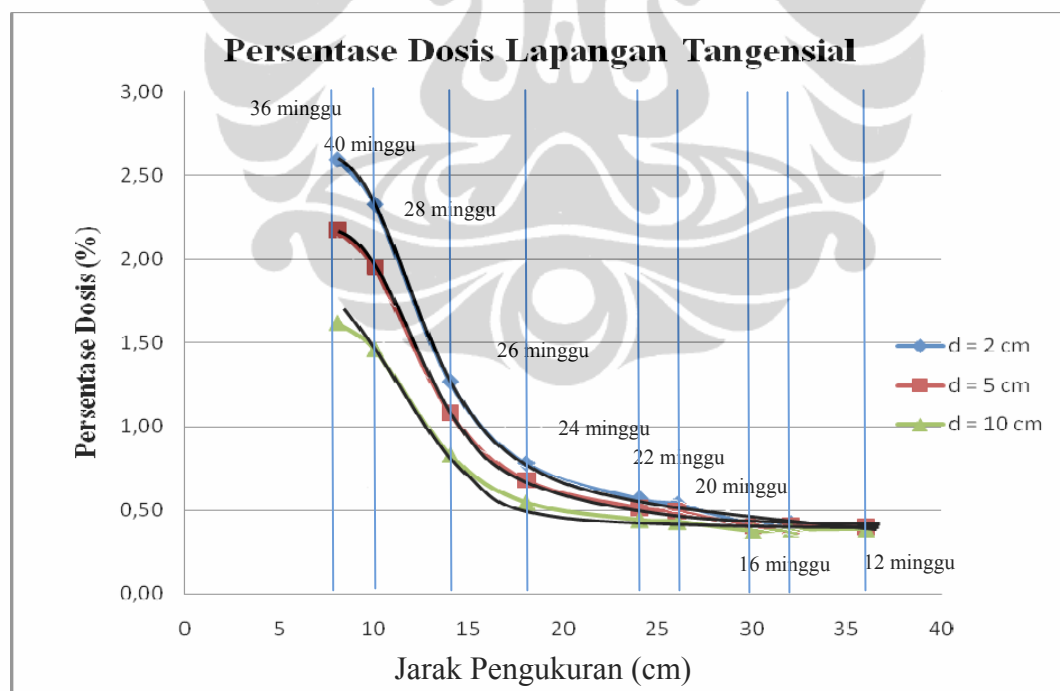
Persentase dosis fetus menggunakan fantom air (simulasi abdomen) dengan ketebalan 20 cm dinyatakan terhadap dosis target 200 cGy untuk lapangan tangensial dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan kurva hubungan antara persentase dosis dengan jarak fetus dapat dilihat pada Gambar 4.1. Dosis pada semua titik pengamatan dengan kedalaman 2 cm pada umumnya lebih besar dibandingkan dengan dosis pada kedalaman 5 cm dan 10 cm.

Persentase dosis yang paling besar yaitu 2,60 % yang diterima fetus pada kedalaman 2 cm dengan jarak fetus 8 cm. Sedangkan persentase dosis yang paling kecil yaitu 0,37 % yang diterima fetus pada kedalaman 10 cm dengan jarak fetus 30 cm. Hal ini menunjukkan bahwa dosis yang diterima fetus selain bervariasi terhadap kedalaman, juga bervariasi terhadap jarak fetus. Persentase dosis fetus menurun secara eksponensial akibat atenuasi dan peningkatan jarak fetus.¹⁰

Perbedaan signifikan persentase dosis fetus antara ketiga kurva tampak pada jarak fetus kurang dari 25 cm, dan selanjutnya kurva menunjukkan saling berdekatan. Hal ini berarti pada umur kandungan 12 sampai 24 minggu dosis yang diterima fetus hampir sama untuk ketiga jenis kedalaman yang berbeda.

Tabel 4.1. Dosis fetus yang berasal dari penyinaran lapangan tangensial I dan tangensial II pada kedalaman 2 cm, 5 cm dan 10 cm dengan ketebalan fantom konstan 20 cm.

| No | Umur Kandungan (minggu) | Jarak Pengukuran (cm) | Dosis per Fraksi (cGy) | | | | | |
|----|-------------------------|-----------------------|------------------------|---------|----------|---------|-----------|---------|
| | | | d = 2 cm | % dosis | d = 5 cm | % dosis | d = 10 cm | % dosis |
| 1 | 12 | 36 | 0,81 | 0,40 | 0,79 | 0,40 | 0,77 | 0,39 |
| 2 | 16 | 32 | 0,84 | 0,42 | 0,81 | 0,40 | 0,76 | 0,38 |
| 3 | 20 | 30 | 0,84 | 0,42 | 0,80 | 0,40 | 0,75 | 0,37 |
| 4 | 22 | 26 | 1,08 | 0,54 | 0,98 | 0,49 | 0,86 | 0,43 |
| 5 | 24 | 24 | 1,14 | 0,57 | 1,02 | 0,51 | 0,88 | 0,44 |
| 6 | 26 | 18 | 1,56 | 0,78 | 1,35 | 0,68 | 1,09 | 0,55 |
| 7 | 28 | 14 | 2,54 | 1,27 | 2,16 | 1,08 | 1,66 | 0,83 |
| 8 | 40 | 10 | 4,66 | 2,33 | 3,90 | 1,95 | 2,92 | 1,46 |
| 9 | 36 | 8 | 5,19 | 2,60 | 4,35 | 2,18 | 3,23 | 1,62 |

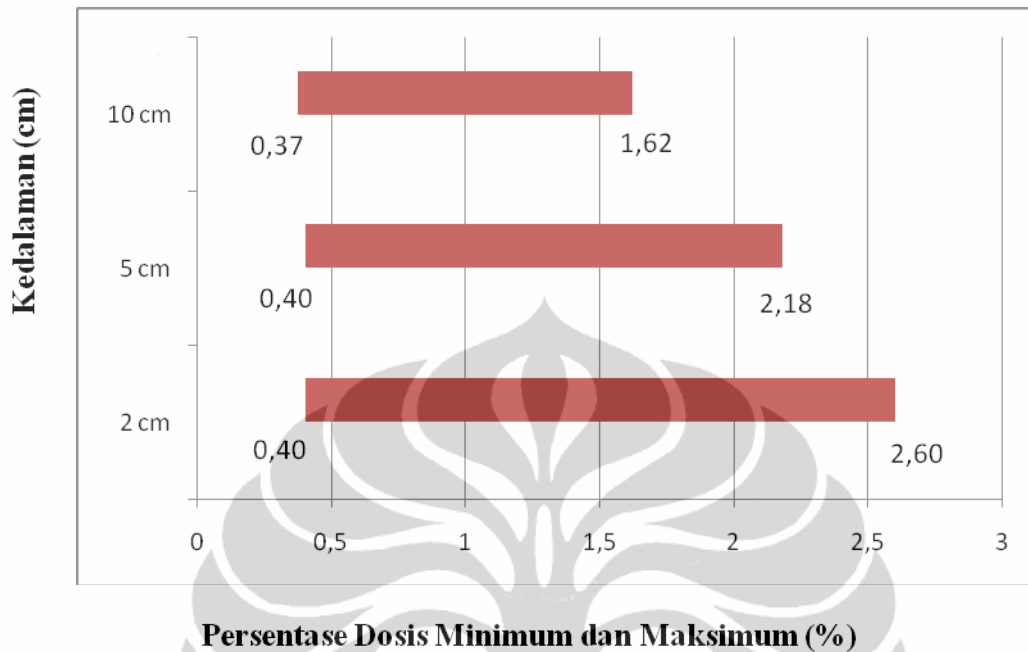


Gambar 4.1 Kurva persentase dosis fetus terhadap jarak pengukuran dengan ketebalan fantom konstan.

Pada awal masa kehamilan umur kandungan 12 minggu dengan kondisi fetus paling dekat dengan permukaan ($d = 2 \text{ cm}$), dosis yang diterima fetus sebesar 0,40% (0,81 cGy/fraksi). Bila pasien mengalami radioterapi 30 fraksi pada kehamilan trimester pertama, dosis fetus diperkirakan mencapai 24,3 cGy. Efek yang akan di terima fetus tergantung umur kehamilan, apakah umur fetus 12 minggu adalah akhir dari penyinaran atautkah baru mulai dilakukan penyinaran. Jika umur 12 minggu ini adalah akhir dari proses penyinaran, maka kehamilan masih termasuk dalam tahap organogenesis. Dosis ambang pada tahap ini 10 cGy⁹, jadi dengan dosis total 24,3 cGy efek yang mungkin timbul pada tahap organogenesis adalah malformasi tubuh dan kematian neonatal. Akan tetapi jika umur fetus 12 minggu ini adalah awal dari proses penyinaran, maka selama terapi berlangsung volum fetus akan bertambah besar, akibatnya akumulasi persentase dosis akan lebih besar dari 24,3 cGy. Kehamilan sudah termasuk dalam tahap fetus awal (*early fetal*) dan fetus pada tahap ini paling sensitif terhadap efek karsinogenik jika dibandingkan dengan tahap lainnya (*mid fetal* dan *late fetal*)⁸. Dosis ambang pada tahap ini 100 cGy⁹. Efek radiasi pada tahap ini adalah retardasi pertumbuhan yang permanen, retardasi mental dan risiko terjadinya leukemia pada masa anak-anak.

Apabila diambil interval persentase dosis fetus untuk kedalaman 2 cm, 5 cm, dan 10 cm dengan lapangan tangensial akan tampak seperti pada Gambar 4.2. Dari gambar terlihat bahwa perbedaan dosis yang diterima fetus pada ketiga kedalaman tidak jauh berbeda. Interval persentase dosis untuk kedalaman 2 cm antara 0,37 % sampai 1,62 %, interval persentase untuk kedalaman 5 cm antara 0,40 % sampai 2,18 %, dan interval persentase dosis untuk kedalaman 10 cm antara 0,4 % sampai 2,60 %.

Interval Persentase Dosis Lapangan Tangensial



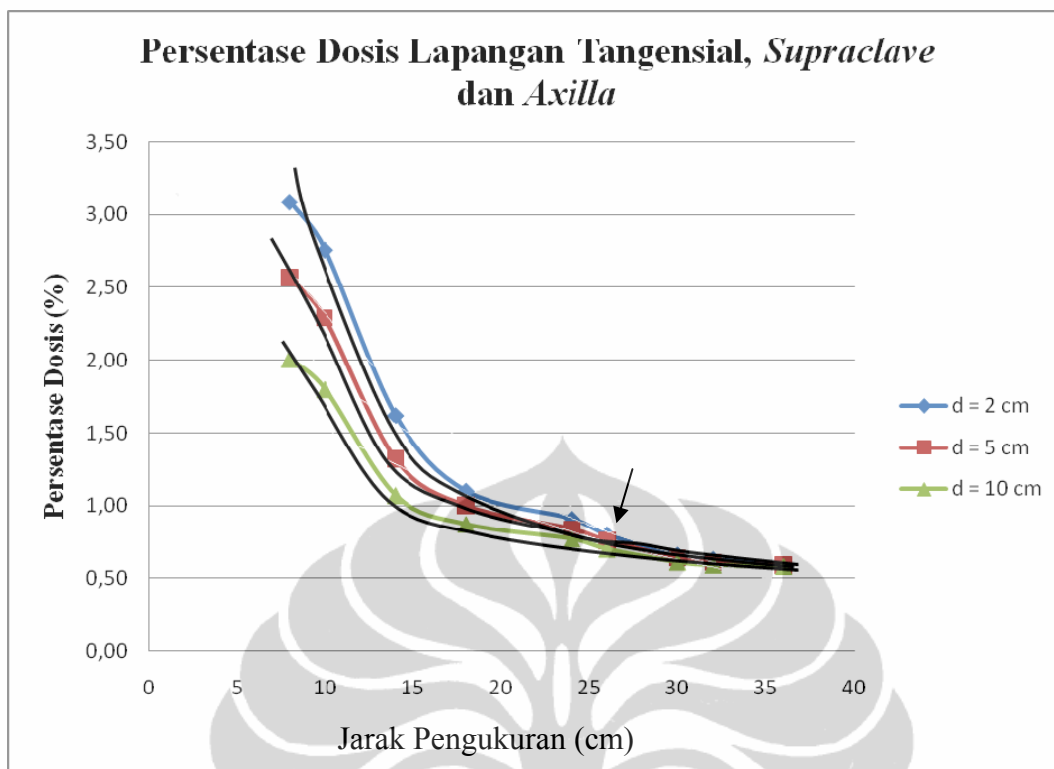
Gambar 4.2 Interval persentase dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II pada kedalaman 2 cm, 5 cm dan 10 cm dengan ketebalan fantom konstan 20 cm.

Persentase dosis fetus untuk lapangan tangensial yang ditambah dengan lapangan *supraklave* dan *axilla* dapat dilihat pada Tabel 4.2. Persentase dosis yang diterima oleh fetus tertinggi terjadi pada jarak fetus 8 cm dan kedalaman 2 cm sebesar 3,09 %. Seandainya pasien menerima 30 fraksi penyinaran maka dosis fetus sekitar 185,1 cGy. Posisi fetus yang demikian ini sesuai dengan kehamilan pada trimester ketiga yang mempunyai dosis ambang 150 cGy¹⁶. Dosis yang diterima fetus sudah melewati batas ambang, sehingga jika tetap dilakukan penyinaran dengan kondisi seperti ini akan mengakibatkan terjadinya efek stokastik pada anak dikemudian hari seperti katarak dan efek deterministik seperti erithema, epilasi (rontoknya rambut) dan penurunan jumlah sel darah.

Tabel 4.2. Dosis fetus untuk lapangan tangensial, *axilla* dan *supraclave* untuk kedalaman 2 cm, 5 cm dan 10 cm dengan ketebalan fantom konstan 20 cm.

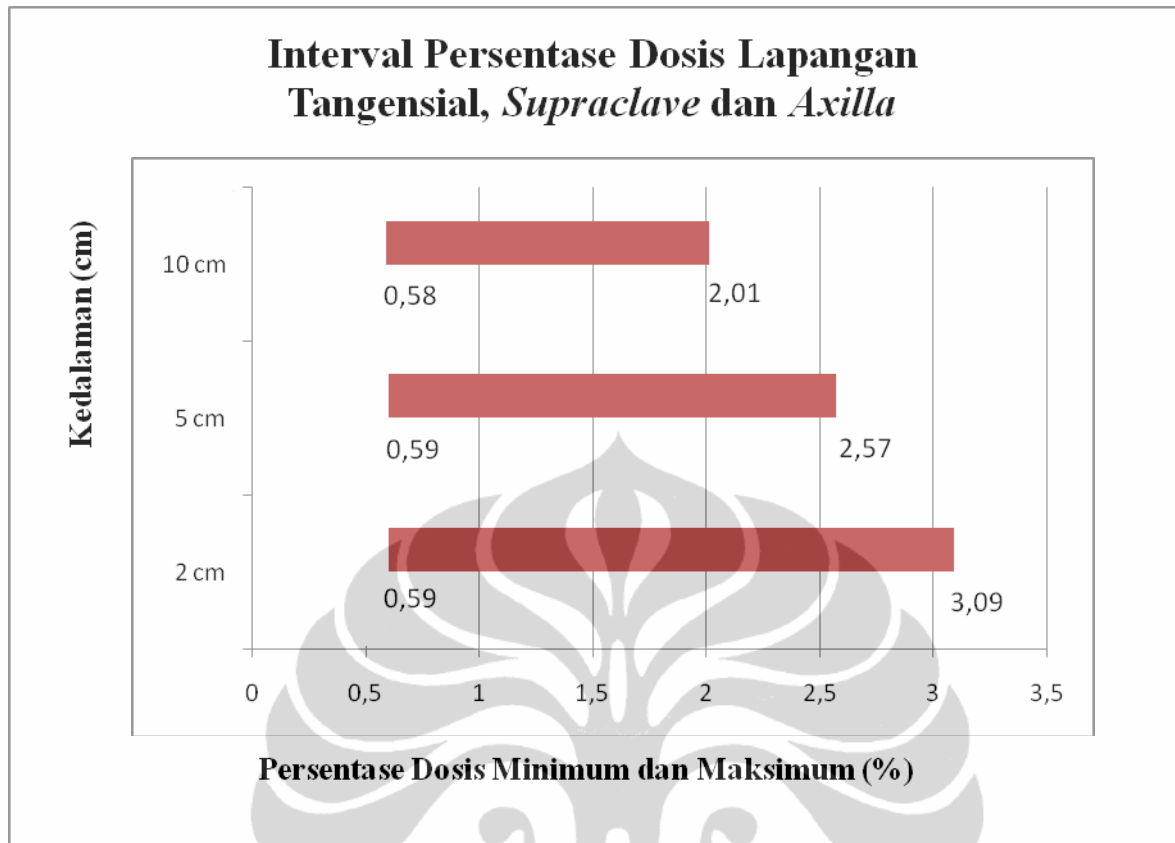
| No | Umur Kandungan (minggu) | Jarak Pengukuran (cm) | Dosis per Fraksi (cGy) | | | | | |
|----|-------------------------|-----------------------|------------------------|---------|----------|---------|----------|---------|
| | | | d = 2 cm | % dosis | d = 5 cm | % dosis | d= 10 cm | % dosis |
| 1 | 12 | 36 | 1,19 | 0,59 | 1,17 | 0,59 | 1,15 | 0,58 |
| 2 | 16 | 32 | 1,26 | 0,63 | 1,24 | 0,61 | 1,19 | 0,59 |
| 3 | 20 | 30 | 1,31 | 0,66 | 1,28 | 0,64 | 1,23 | 0,61 |
| 4 | 22 | 26 | 1,61 | 0,80 | 1,52 | 0,76 | 1,40 | 0,70 |
| 5 | 24 | 24 | 1,82 | 0,91 | 1,68 | 0,84 | 1,54 | 0,77 |
| 6 | 26 | 18 | 2,20 | 1,10 | 1,99 | 1,00 | 1,73 | 0,87 |
| 7 | 28 | 14 | 3,24 | 1,62 | 2,65 | 1,32 | 2,15 | 1,07 |
| 8 | 40 | 10 | 5,51 | 2,76 | 4,58 | 2,29 | 3,60 | 1,80 |
| 9 | 36 | 8 | 6,17 | 3,09 | 5,14 | 2,57 | 4,02 | 2,01 |

Hubungan antara persentase dosis fetus terhadap jarak pengukuran untuk lapangan tangensial yang ditambah dengan lapangan *supraclave* dan *axilla* dapat dilihat pada Gambar 4.3. Kurva yang diperoleh menunjukkan bahwa fetus akan menerima dosis yang menurun secara eksponensial sebagai akibat faktor atenuasi terhadap jaringan yang dilewatinya. Disamping itu juga dosis fetus akan menurun mendekati kebalikan kuadrat jarak.



Gambar 4.3 Kurva persentase dosis fetus terhadap jarak pengukuran ke tepi lapangan tangensial, *supraclave* dan *axilla* dengan ketebalan fantom konstan.

Kurva persentase dosis untuk lapangan tangensial, *supraclave* dan *axilla* pada ketiga kedalaman berimpit untuk jarak fetus lebih dari 25 cm. Setelah jarak fetus lebih dari 25 cm perbedaan dosis fetus untuk lapangan tangensial, *supraclave* dan *axilla* tidak signifikan. Persentase dosis pada kedalaman 2 cm berada pada rentang 0,58 % sampai 2,01 %, persentase dosis pada kedalaman 5 cm berada pada rentang 0,59 % sampai 2,57 %, dan persentase dosis pada kedalaman 10 cm pada rentang 0,59 % sampai 3,09 %. Interval dosis yang tidak jauh berbeda untuk masing-masing kedalaman, memberikan kemungkinan efek yang akan diterima fetus juga hampir sama untuk setiap bagian organnya. Visualisasi interval persentase dosis dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Interval persentase dosis fetus untuk lapangan tangensial, *supraclave* dan *axilla* pada kedalaman 2 cm, 5 cm dan 10 cm dengan ketebalan fantom konstan 20 cm.

Ukuran fetus akan bertambah dengan kenaikan umur kandungan. Kandungan berumur 0 – 12 minggu disebut trimester 1, 13 – 24 minggu disebut trimester 2, dan 25 – 40 minggu disebut trimester 3. Dalam penelitian ini diasumsikan ukuran abdomen pada trimester satu 20 cm, trimester dua 22 cm dan trimester tiga 25 cm. Untuk penentuan dosis fetus, jarak fetus pada trimester 1 berada pada jarak 36 cm, trimester 2 berada dalam rentang 24 – 35 cm, dan trimester 3 berada dalam rentang 8 – 23 cm. Hasil pengukuran dengan pengandaian perubahan volum fetus tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Persentase dosis fetus untuk penyinaran target dari gabungan empat lapangan penyinaran (lapangan tangensial *medio lateral*, tangensial latero medial, *supraclave* dan *axilla*) untuk trimester 1, trimester 2 dan trimester 3 dengan ukuran fantom sesuai umur kandungan.

| Jarak Pengukuran (cm) | Persentase Dosis (%) Trimester 1 | | |
|-----------------------|----------------------------------|--------------|--------------|
| | d = 2 cm | d = 5 cm | d = 10 cm |
| 36 | 0,61 ± 0,03* | 0,61 ± 0,03* | 0,59 ± 0,04* |
| 32 | 0,68 ± 0,01 | 0,68 ± 0,04 | 0,64 ± 0,06 |
| 30 | 0,72 ± 0,03 | 0,70 ± 0,04 | 0,71 ± 0,06 |
| 26 | 0,95 ± 0,05 | 0,91 ± 0,05 | 0,93 ± 0,04 |
| 24 | 1,06 ± 0,04 | 1,06 ± 0,07 | 1,06 ± 0,07 |
| 18 | 1,45 ± 0,03 | 1,28 ± 0,04 | 1,17 ± 0,08 |
| 14 | 2,28 ± 0,03 | 1,71 ± 0,04 | 1,29 ± 0,04 |
| 10 | 3,94 ± 0,04 | 2,60 ± 0,04 | 1,70 ± 0,01 |
| 8 | 4,40 ± 0,04 | 2,83 ± 0,11 | 1,85 ± 0,04 |
| Jarak Pengukuran (cm) | Persentase Dosis (%) Trimester 2 | | |
| | d = 2 cm | d = 5 cm | d = 10 cm |
| 36 | 0,77 ± 0,01* | 0,78 ± 0,05* | 0,77 ± 0,03* |
| 32 | 0,80 ± 0,03* | 0,80 ± 0,03* | 0,81 ± 0,04* |
| 30 | 0,95 ± 0,03* | 0,89 ± 0,01* | 0,96 ± 0,03* |
| 26 | 1,10 ± 0,04* | 1,14 ± 0,03* | 1,13 ± 0,03* |
| 24 | 1,24 ± 0,06* | 1,23 ± 0,02* | 1,26 ± 0,02* |
| 18 | 2,14 ± 0,11 | 1,81 ± 0,04 | 1,63 ± 0,12 |
| 14 | 3,88 ± 0,02 | 2,96 ± 0,04 | 2,47 ± 0,02 |
| 10 | 6,64 ± 0,03 | 4,48 ± 0,12 | 3,17 ± 0,04 |
| 8 | 8,84 ± 0,12 | 5,25 ± 0,13 | 3,65 ± 0,04 |
| Jarak Pengukuran (cm) | Persentase Dosis (%) Trimester 3 | | |
| | d = 2 cm | d = 5 cm | d = 10 cm |
| 36 | 0,92 ± 0,02* | 0,92 ± 0,03* | 0,89 ± 0,05* |
| 32 | 1,05 ± 0,04* | 1,02 ± 0,03* | 1,00 ± 0,09* |
| 30 | 1,18 ± 0,05* | 1,12 ± 0,04* | 1,16 ± 0,01* |
| 26 | 1,40 ± 0,03* | 1,42 ± 0,03* | 1,44 ± 0,03* |
| 24 | 1,46 ± 0,08* | 1,42 ± 0,05* | 1,44 ± 0,02* |
| 18 | 2,32 ± 0,07* | 1,65 ± 0,05* | 1,58 ± 0,02* |
| 14 | 3,72 ± 0,09* | 3,10 ± 0,08* | 2,63 ± 0,02* |
| 10 | 6,70 ± 0,12* | 5,58 ± 0,09* | 3,85 ± 0,03* |
| 8 | 9,74 ± 0,02* | 5,69 ± 0,09* | 3,97 ± 0,04* |

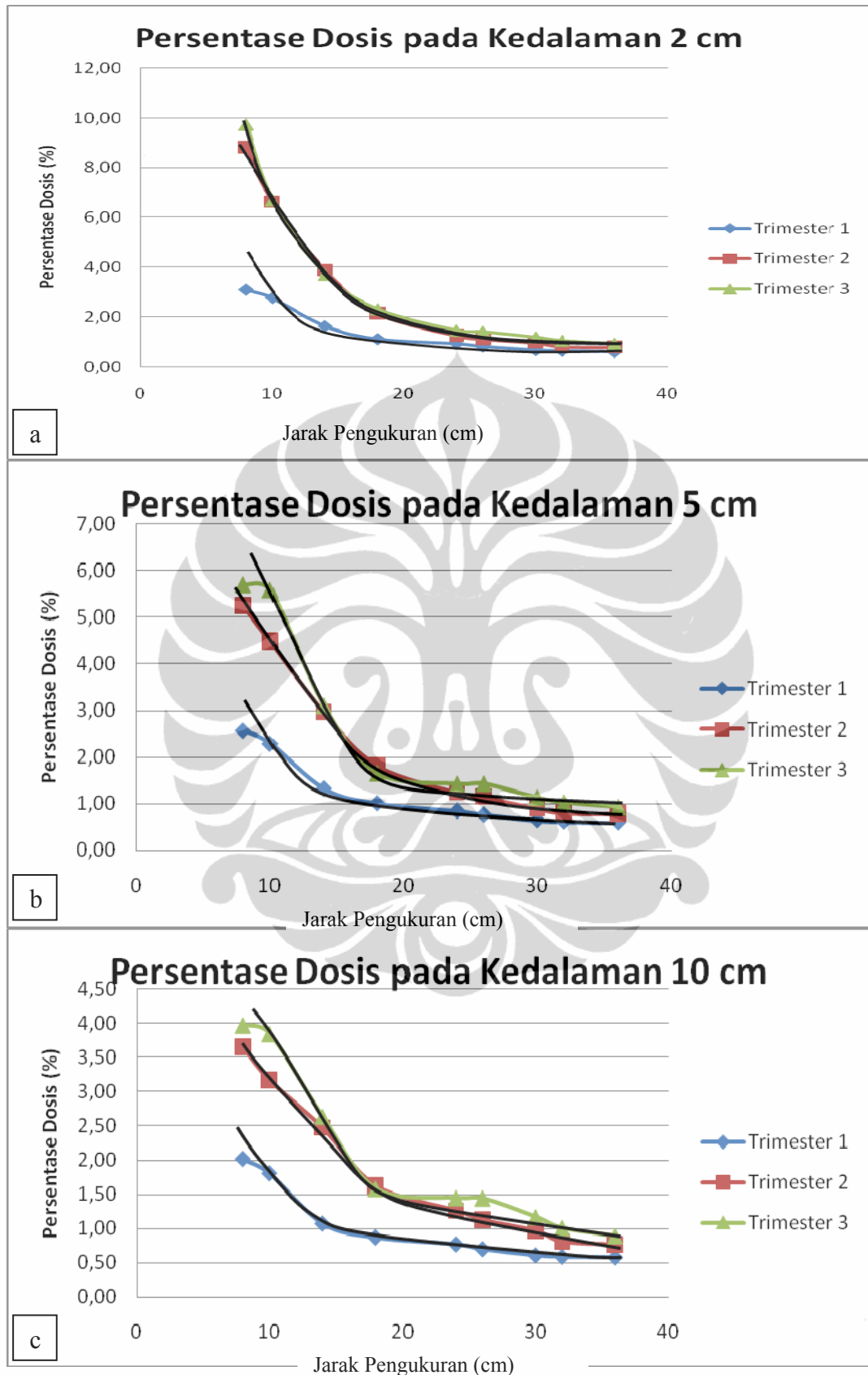
Keterangan : Tanda * menunjukkan jarak fetus sebenarnya pada trimester yang bersangkutan.

Persentase dosis yang diterima fetus meningkat dengan bertambahnya ketebalan fantom. Hal ini terjadi karena jarak fetus dengan target penyinaran menjadi semakin dekat, dan sesuai dengan hukum kuadrat terbalik (*invers square law*)¹¹ berarti dosis akan lebih besar dengan jarak yang lebih pendek.

Secara keseluruhan untuk masing-masing trimester, dengan bertambahnya kedalaman maka persentase dosis menjadi berkurang. Akan tetapi untuk jarak fetus antara 24 cm sampai 36 cm, persentase dosis tidak berbeda signifikan, baik pada trimester 1, trimester 2, maupun trimester 3. Visualisasi lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.5.

Persentase dosis fetus pada kedalaman 2 cm, 5 cm dan 10 cm untuk trimester satu dan dua masih dibawah 2%, sementara untuk trimester tiga sudah hampir mencapai 10%. Jarak fetus antara 25 cm sampai 40 cm persentase dosis yang diterima fetus untuk trimester pertama dan kedua hampir sama, ditunjukkan dengan kurva persentase dosis yang hampir berimpit. Dosis radiasi yang diterima fetus pada trimester pertama meskipun masih dibawah 2% tetapi dapat menyebabkan kematian prenatal. Ini kemungkinan berhubungan dengan kenyataan bahwa embrio tersusun dari sejumlah kecil sel, dan kehilangan sel tersebut meski hanya sebuah sel berpotensi menyebabkan kematian. Malformasi bawaan jarang terjadi akibat irradiasi pada tahap ini¹⁴. Ketika jumlah sel dalam konseptus sedikit dan belum terdiferensiasi, efek kerusakan pada sel tersebut terutama adalah kegagalan transplanti atau kematian konseptus yang tidak terdeteksi, sedangkan malformasi nampaknya tidak atau jarang terjadi.

Kejadian kematian prenatal berkurang pada saat trimester kedua, tetapi terdapat peningkatan kematian perinatal (kematian yang terjadi pada atau sekitar menjelang lahir), khususnya pada dosis lebih tinggi. Kejadian malformasi yang relatif tinggi akan menurun drastis dengan bertambahnya perkembangan organogenesis. Anomali pertumbuhan yang paling umum terinduksi oleh radiasi adalah kerusakan pada sistem saraf pusat (mikrocephali dan retardasi mental), sistem skeletal, organ perasa, dan pertumbuhan yang terhambat setelah bayi dilahirkan¹⁴.



Gambar 4.5. Kurva persentase dosis fetus untuk trimester 1, trimester 2, dan trimester 3, pada kedalaman (a) 2 cm, (b) 5 cm dan (c) 10 cm.

Perbandingan persentase dosis fetus untuk fantom dengan ketebalan konstan dan fantom dengan ketebalan berubah sesuai dengan umur kehamilan maka akan diperoleh perbedaan seperti di tunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Interval persentase dosis untuk masing-masing trimester dengan ketebalan fantom konstan dan berubah.

| Ketebalan (cm) | Kedalaman (cm) | Persentase Dosis (%) | | |
|-------------------|-------------------|----------------------|-------------|-------------|
| | | Trimester 1 | Trimester 2 | Trimester 3 |
| 20 | 2 | 0,61 | 0,61 – 1,06 | 0,61 – 4,40 |
| | 5 | 0,61 | 0,61 – 1,06 | 0,61 – 2,83 |
| | 10 | 0,59 | 0,59 – 1,06 | 0,59 – 1,85 |
| 22 | 2 | | 0,77 – 1,24 | |
| | 5 | | 0,78 – 1,23 | |
| | 10 | | 0,77 – 1,26 | |
| 23 | 2 | | | 0,92 – 9,74 |
| | 5 | | | 0,92 – 5,69 |
| | 10 | | | 0,89 – 3,97 |

Pada trimester kesatu penyinaran dilakukan hanya pada satu umur kehamilan 12 minggu, dengan hasil yang hampir sama untuk kedalaman 2 cm, 5 cm dan 10 cm. Demikian halnya interval persentase dosis fetus untuk trimester kedua tidak bergantung pada kedalaman baik pada ketebalan fantom 20 cm maupun pada ketebalan fantom 22 cm. Hanya saja interval persentase dosis pada ketebalan fantom 22 cm lebih lebar dibandingkan dengan interval persentase dosis pada ketebalan fantom 20 cm. Pengaruh kedalaman baru terlihat pada trimester ketiga, dengan interval persentase dosis yang menurun dengan bertambahnya kedalaman, sedangkan pengaruh ketebalan fantom menyebabkan interval persentase dosis lebih lebar dengan bertambahnya ketebalan fantom. Interval persentase dosis pada ketebalan fantom 23 cm meningkat 50% terhadap interval persentase dosis pada kedalaman 20 cm.

Secara keseluruhan dari semua data yang terukur dapat terlihat bahwa semakin jauh posisi kedalaman yang dihitung dari permukaan, dihasilkan dosis yang lebih kecil dibandingkan dengan kedalaman yang lainnya. Hal ini disebabkan karena dalam proses interaksi foton dengan materi (fantom), pada kedalaman 2 cm sebagian besar menerima hamburan maju dan hamburan balik sehingga dosis pada kedalaman 2 cm menerima dosis paling besar. Pada kedalaman 10 cm sebagian besar menerima hamburan maju dan hamburan balik yang relatif rendah karena sebagian telah teratenuasi oleh jaringan di atasnya sehingga pada kedalaman 10 cm menerima dosis paling kecil. Sedangkan pada kedalaman 5 cm menerima dosis yang besarnya diantara keduanya.

Bagian tubuh fetus yang berada pada posisi terdekat dengan target penyinaran akan menerima dosis lebih tinggi dibandingkan dengan bagian tubuh fetus yang berada di posisi terjauh dengan target penyinaran. Perlu diperhatikan bahwa ukuran fetus bervariasi seiring dengan masa kehamilan. Pada awal masa kehamilan sekitar 12 minggu, fetus masih berukuran kecil sehingga jaraknya jauh dari tepi lapangan radiasi. Semakin lama masa kehamilan, maka ukuran fetus pun semakin besar sehingga jaraknya semakin dekat dari sumber penghambur. Akibatnya dosis fetus pada trimester tiga lebih besar dibandingkan dengan dosis fetus pada trimester satu atau trimester dua.

Persentase dosis fetus hasil penyinaran lebih besar jika dibandingkan dengan persentase dosis fetus hasil simulasi program Monte Carlo (Nurizati, Tesis). Hal ini terjadi karena dalam simulasi program Monte Carlo, faktor hamburan dari *head source* linac, hamburan dari kolimator, ataupun udara tidak diperhitungkan. Disamping itu, energi yang digunakan dalam simulasi Monte Carlo yaitu homogen 2 MeV, sedangkan dalam pengukuran energinya berupa spektrum mulai dari 0 sampai 6 MeV.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian pengukuran dosis fetus pada fantom dengan sinar x 6 MV, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk penyinaran payudara dengan dua lapangan tangensial, *supraclave* dan *axilla* dengan ketebalan fantom konstan 20 cm pada trimester satu dan dua, persentase dosis fetus tidak dipengaruhi oleh kedalaman. Tetapi pada trimester tiga, persentase dosis fetus dipengaruhi oleh kedalaman. Interval persentase dosis pada trimester tiga untuk kedalaman 2 cm, 5 cm dan 10 cm berturut-turut 0,61 – 4,40 %, 0,61 – 2,83 %, dan 0,59 – 1,85 %.
2. Perbedaan persentase dosis fetus antara fantom dengan ketebalan konstan dan fantom yang ketebalannya disesuaikan dengan umur kehamilan tidak ada perbedaan signifikan (kurang dari 1 %) pada trimester kedua. Tetapi pada trimester tiga dipengaruhi oleh ketebalan fantom. Dosis fetus untuk ketebalan fantom 20 cm berada dalam interval 0,61 – 4,40 % untuk kedalaman 2 cm, 0,61 – 2,83 % untuk kedalaman 5 cm, dan 0,59 – 1,85 % untuk kedalaman 10 cm. Sedangkan dosis fetus untuk ketebalan fantom 23 cm berada dalam interval 0,92 – 9,74 % untuk kedalaman 2 cm, 0,92 – 5,69 % untuk kedalaman 5 cm, dan 0,89 – 3,97 % untuk kedalaman 10 cm.

5.2. Saran

Apabila pasien hamil terpaksa harus menjalani radioterapi, sebaiknya penyinaran diperhatikan untuk setiap umur kandungan, baik pada trimester satu, trimester dua maupun pada trimester tiga. Dosis fetus dapat diperkirakan dari hasil pengukuran pada fantom.

LAMPIRAN

Lampiran 1.1 *Percentage Depth Doses* untuk energi 6 MV dan SSD 100 cm

Percentage Depth Doses: 100 cm SSD
6 MV Photons

c:\wp700\data\pdd\tari-new\P6MV.

| Field size [cm] Depth [cm] | 4x4 | 5x5 | 6x6 | 7x7 | 8x8 | 9x9 |
|-------------------------------|------|-------|-------|------|------|-------|
| 0.5 | 68.4 | 70.1 | 68.8 | 70.6 | 70.7 | 71.5 |
| 1.0 | 94.6 | 94.8 | 94.4 | 95.0 | 95.6 | 95.9 |
| 1.5 | 99.8 | 100.1 | 100.0 | 99.8 | 99.7 | 100.5 |
| 2.0 | 99.3 | 99.7 | 99.3 | 99.6 | 99.2 | 99.8 |
| 2.5 | 97.5 | 97.2 | 97.1 | 97.6 | 97.4 | 97.9 |
| 3.0 | 94.6 | 94.9 | 95.5 | 95.1 | 95.4 | 95.6 |
| 3.5 | 92.2 | 93.1 | 92.7 | 93.2 | 93.0 | 93.6 |
| 4.0 | 90.0 | 90.4 | 90.7 | 91.0 | 90.8 | 91.3 |
| 4.5 | 87.2 | 88.0 | 88.4 | 88.8 | 88.8 | 89.2 |
| 5.0 | 84.7 | 85.2 | 85.7 | 86.5 | 86.5 | 87.3 |
| 5.5 | 82.3 | 83.2 | 83.4 | 84.4 | 84.3 | 85.3 |
| 6.0 | 80.0 | 80.9 | 81.2 | 81.8 | 82.3 | 82.8 |
| 6.5 | 77.7 | 78.3 | 79.0 | 80.0 | 80.1 | 80.7 |
| 7.0 | 75.4 | 76.2 | 76.6 | 77.5 | 78.3 | 78.7 |
| 7.5 | 72.8 | 74.1 | 75.0 | 75.4 | 76.1 | 76.4 |
| 8.0 | 70.8 | 71.8 | 72.3 | 73.4 | 74.0 | 74.4 |
| 8.5 | 68.7 | 69.5 | 70.4 | 71.4 | 71.8 | 72.2 |
| 9.0 | 66.5 | 67.4 | 68.5 | 69.4 | 69.6 | 70.7 |
| 9.5 | 64.6 | 65.4 | 66.3 | 67.2 | 68.4 | 68.8 |
| 10.0 | 62.5 | 63.5 | 64.6 | 65.6 | 66.0 | 66.9 |
| 10.5 | 60.9 | 61.9 | 63.1 | 63.6 | 64.4 | 65.3 |
| 11.0 | 58.7 | 60.0 | 60.9 | 61.8 | 62.5 | 63.3 |
| 11.5 | 56.8 | 58.1 | 59.1 | 60.3 | 60.7 | 61.6 |
| 12.0 | 55.3 | 56.7 | 57.3 | 58.5 | 59.0 | 59.9 |
| 12.5 | 53.6 | 54.8 | 55.7 | 56.7 | 57.3 | 58.3 |
| 13.0 | 51.9 | 53.1 | 54.3 | 55.2 | 55.6 | 56.7 |
| 13.5 | 50.6 | 51.6 | 52.5 | 53.2 | 54.5 | 55.3 |
| 14.0 | 48.9 | 50.2 | 51.2 | 52.2 | 52.7 | 53.6 |
| 14.5 | 47.6 | 48.5 | 49.8 | 50.5 | 51.3 | 52.1 |
| 15.0 | 46.0 | 47.1 | 48.2 | 49.2 | 49.8 | 50.6 |
| 15.5 | 44.6 | 45.7 | 46.8 | 47.8 | 48.4 | 49.2 |
| 16.0 | 43.2 | 44.4 | 45.4 | 46.4 | 47.0 | 48.0 |
| 16.5 | 42.0 | 43.2 | 44.2 | 45.0 | 45.7 | 46.5 |
| 17.0 | 40.9 | 41.7 | 42.9 | 43.7 | 44.3 | 45.3 |
| 17.5 | 39.8 | 40.5 | 41.7 | 42.7 | 43.1 | 44.1 |
| 18.0 | 38.6 | 39.4 | 40.2 | 41.2 | 42.0 | 42.8 |
| 18.5 | 37.1 | 38.4 | 39.2 | 40.1 | 40.8 | 41.5 |
| 19.0 | 36.2 | 37.0 | 37.8 | 38.8 | 39.6 | 40.5 |
| 19.5 | 35.0 | 36.1 | 37.0 | 37.9 | 38.4 | 39.4 |
| 20.0 | 34.0 | 35.1 | 35.8 | 36.9 | 37.4 | 38.1 |
| 20.5 | 33.1 | 34.0 | 34.9 | 35.7 | 36.4 | 37.2 |
| 21.0 | 32.2 | 33.0 | 33.8 | 34.7 | 35.4 | 36.2 |
| 21.5 | 31.3 | 32.0 | 33.1 | 33.8 | 34.3 | 35.2 |

PDD 6 MV Photons, 100 cm SSD

Percentage Depth Doses: 100 cm SSD

6 MV Photons

c:\wp700\data\pdd\tari-new\P6MV

| Field size [cm] Depth [cm] | 10x10 | 12x12 | 14x14 | 15x15 | 16x16 | 18x18 | 20x20 |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.5 | 74.9 | 75.9 | 78.5 | 78.0 | 78.6 | 79.7 | 82.3 |
| 1.0 | 95.9 | 96.6 | 96.9 | 97.4 | 96.3 | 97.3 | 97.8 |
| 1.5 | 100.0 | 100.7 | 100.0 | 99.8 | 100.0 | 99.8 | 100.2 |
| 2.0 | 99.1 | 99.7 | 99.3 | 99.2 | 98.7 | 98.7 | 99.4 |
| 2.5 | 97.7 | 97.6 | 97.3 | 96.9 | 97.1 | 97.3 | 97.3 |
| 3.0 | 95.5 | 95.8 | 95.1 | 95.7 | 95.5 | 95.2 | 95.4 |
| 3.5 | 93.1 | 93.5 | 93.4 | 93.3 | 93.1 | 93.5 | 93.6 |
| 4.0 | 91.4 | 91.7 | 91.6 | 91.3 | 91.3 | 91.5 | 91.8 |
| 4.5 | 89.5 | 89.8 | 89.4 | 89.6 | 89.6 | 89.6 | 89.7 |
| 5.0 | 86.9 | 87.5 | 87.4 | 87.2 | 87.8 | 88.0 | 88.2 |
| 5.5 | 85.2 | 85.5 | 85.4 | 85.2 | 85.5 | 85.6 | 85.5 |
| 6.0 | 82.9 | 83.5 | 83.6 | 83.9 | 83.7 | 84.2 | 84.4 |
| 6.5 | 80.8 | 81.6 | 81.4 | 81.8 | 81.8 | 82.1 | 82.3 |
| 7.0 | 78.3 | 79.6 | 79.5 | 80.0 | 80.1 | 80.3 | 80.7 |
| 7.5 | 76.9 | 77.6 | 77.6 | 78.1 | 78.2 | 78.4 | 78.9 |
| 8.0 | 75.0 | 75.7 | 75.8 | 76.2 | 76.3 | 76.5 | 77.1 |
| 8.5 | 72.9 | 73.4 | 73.9 | 74.2 | 74.8 | 75.2 | 75.4 |
| 9.0 | 71.1 | 71.6 | 72.3 | 72.8 | 72.7 | 73.2 | 73.6 |
| 9.5 | 69.3 | 70.0 | 70.5 | 70.9 | 71.1 | 71.3 | 72.1 |
| 10.0 | 67.4 | 68.4 | 68.7 | 69.1 | 69.3 | 69.5 | 70.3 |
| 10.5 | 65.6 | 66.3 | 67.5 | 67.4 | 67.5 | 68.2 | 68.5 |
| 11.0 | 63.9 | 64.8 | 65.2 | 66.0 | 66.0 | 66.4 | 67.0 |
| 11.5 | 62.2 | 63.0 | 63.5 | 64.2 | 64.3 | 64.9 | 65.5 |
| 12.0 | 60.6 | 61.5 | 61.8 | 62.3 | 62.8 | 63.5 | 63.6 |
| 12.5 | 59.0 | 59.8 | 60.3 | 61.0 | 61.3 | 61.7 | 62.4 |
| 13.0 | 57.3 | 58.5 | 58.8 | 59.4 | 59.8 | 60.3 | 60.8 |
| 13.5 | 55.9 | 56.8 | 57.2 | 57.9 | 58.2 | 58.7 | 59.6 |
| 14.0 | 54.2 | 55.3 | 55.8 | 56.4 | 56.7 | 57.3 | 57.9 |
| 14.5 | 52.4 | 53.7 | 54.3 | 55.0 | 55.4 | 56.0 | 56.5 |
| 15.0 | 51.2 | 52.4 | 53.1 | 53.5 | 54.0 | 54.3 | 55.1 |
| 15.5 | 49.9 | 50.8 | 51.8 | 52.1 | 52.5 | 53.2 | 53.8 |
| 16.0 | 48.3 | 49.7 | 50.3 | 50.8 | 50.9 | 51.9 | 52.7 |
| 16.5 | 46.7 | 48.4 | 49.0 | 49.4 | 49.7 | 50.8 | 51.0 |
| 17.0 | 45.8 | 47.1 | 47.6 | 48.2 | 48.7 | 49.2 | 50.1 |
| 17.5 | 44.4 | 45.9 | 46.9 | 47.0 | 47.4 | 48.2 | 48.7 |
| 18.0 | 43.2 | 44.5 | 45.2 | 45.8 | 46.1 | 46.9 | 47.4 |
| 18.5 | 42.0 | 43.2 | 44.1 | 44.4 | 44.8 | 45.6 | 46.2 |
| 19.0 | 41.0 | 42.3 | 43.0 | 43.4 | 43.8 | 44.4 | 45.1 |
| 19.5 | 39.8 | 41.0 | 41.8 | 42.5 | 42.6 | 43.3 | 44.3 |
| 20.0 | 38.6 | 40.0 | 40.8 | 41.2 | 41.6 | 42.3 | 43.2 |
| 20.5 | 37.7 | 39.0 | 39.6 | 40.2 | 40.5 | 41.3 | 42.0 |
| 21.0 | 36.8 | 38.0 | 38.6 | 39.1 | 39.4 | 40.1 | 41.0 |
| 21.5 | 35.5 | 36.9 | 37.8 | 38.0 | 38.4 | 39.1 | 39.8 |

PDD 6 MV Photons, 100 cm SSD

Lampiran 1.2 Hasil Simulasi Lapangan dengan Simulator dan TPS

Data yang diperoleh dari simulator berupa foto untuk masing-masing lapangan yang akan disinar dan data-data sebagai berikut.

1. Lapangan I (Tangensial *Medio Lateral*)

| | |
|------------------------|--------------------------|
| X = 9,1 | Y = 17,0 |
| CR = 0,0 SA = 99,9 | SR = 300,0 SF = 145,3 |
| TH = 21,5 TL = 67,1 | IR = 359,5 TT = 95,5 |
| TR = 359,5 | |

2. Lapangan II (Tangensial *Latero Medial*)

| | |
|------------------------|--------------------------|
| X = 9,1 | Y = 17,0 |
| CR = 0,5 SA = 99,9 | SR = 125,0 SF = 142,6 |
| TH = 14,6 TL = 67,1 | IR = 0,0 TT = 84,2 |
| TR = 0,0 | |

3. Lapangan III (*Supraclavícula*)

| | |
|-------------------------|-------------------------|
| X = 14,2 | Y = 8,2 |
| CR = 359,5 SA = 99,9 | SR = 0,5 SF = 136,7 |
| TH = 19,0 TL = 54,6 | IR = 359,5 TT = 92,9 |
| TR = 0,0 | |

4. Lapangan IV (*Axilla*)

| | |
|-----------|------------|
| X = 5,1 | Y = 7,7 |
| CR = 0,0 | SR = 359,5 |
| SA = 99,9 | SF = 89,7 |
| TH = 8,7 | IR = 359,5 |
| TL = 56,0 | TT = 89,7 |
| TR = 0,0 | |

Separasi lapangan tangensial = 11,5 cm

Separasi lapangan *supraclave* = 6 cm

Separasi lapangan *axilla* = 16 cm

Keterangan : CR = *Collimator Rotation*

SR = menunjukkan besarnya sudut gantry

Data-data dari simulator yang tercantum dalam lampiran merupakan data penunjang untuk simulasi dengan TPS, sehingga akhirnya bisa diperoleh data masukkan yang dibutuhkan untuk melakukan penyinaran dengan linac. Dari keempat lapangan yang diamati masing-masing ukurannya tidak simetri dan bukan merupakan bilangan bulat, sehingga langkah awal harus dicari ukuran lapangan ekuivalennya, karena seperti dalam tabel yang terlampir pada Lampiran 1 nilai PDD (*Percentage Depth Doses*) hanya tersedia untuk lapangan yang simetris dan merupakan bilangan bulat. Untuk mencari lapangan ekuivalennya digunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Field Size ekuivalen (lapangan ekuivalen)} = \frac{2 \cdot X \cdot Y}{X + Y}$$

Dan untuk mengetahui kedalaman masing-masing lapangan diperoleh dari setengah nilai separasinya.

$$\text{Depth (kedalaman)} = \frac{\text{Separasi}}{2}$$

Dengan menginterpolasi nilai *Field Size ekuivalen* dan *depth* dengan mengacu pada tabel dalam Lampiran 1.1 maka diperoleh nilai PDDnya. Selain untuk menentukan nilai PDD, nilai *Field Size ekuivalen* ini juga di pakai untuk menentukan nilai 1/OF (OF = *output factor* yaitu rasio dosis pada suatu lapangan

aplikator tertentu dengan aplikator acuan yang diukur pada kedalaman maksimum dan SSD = 100 cm). Konversi antara *Field Size ekuivalen* dengan nilai 1/OF untuk energi 6 MV dapat dilihat pada lampiran 1.3.

Lampiran 1.3 Konversi nilai *Field Size ekuivalen* dengan 1/OF (Hasil Kalibrasi BATAN Tahun 2007)

| FS | 1/OF | FS | 1/OF |
|----|-------|----|-------|
| 4 | 1,086 | 15 | 0,968 |
| 5 | 1,062 | 20 | 0,948 |
| 6 | 1,039 | 25 | 0,937 |
| 8 | 1,022 | 30 | 0,923 |
| 10 | 0 | 40 | 0,909 |
| 12 | 0,982 | | |

Nilai MU (*monitor unit*) hasil perhitungan TPS (*Treatment Planning System*) digunakan sebagai input dalam linac yang secara otomatis sudah diatur dalam programnya langsung dikonversi langsung menjadi waktu (menit) atau lamanya penyinaran target untuk masing-masing lapangan. Secara manual nilai MU ini bisa dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

- MU untuk penyinaran dengan menggunakan teknik SSD (SSD = 100 cm):

$$MU = D_f \cdot g \cdot \frac{100}{PDD_{\alpha}} \cdot \frac{1}{OF} \cdot T_f$$

- MU untuk penyinaran dengan menggunakan teknik SAD (SSD ≠ 100 cm)

$$MU = D_f \cdot g \cdot \frac{100}{PDD_{\alpha}} \cdot \frac{1}{OF} \cdot T_f \cdot \frac{(SSD+d)^2}{(100+d)^2}$$

Dosis yang digunakan setiap satu kali penyinaran (D_f) yaitu 200 cGy, nilai g menunjukkan faktor beratnya, dimana untuk lapangan tangensial faktor beratnya bernilai 0,5 sedangkan untuk lapangan supraclavícula dan axilla, faktor beratnya bernilai 1, sementara nilai T_f -nya (*tray factor*) untuk semua lapangan nilainya sama yaitu satu.

Lampiran 1.4 Hasil *Treatment Planning System*

1. Lapangan I (Tangensial Medio Lateral)

Gantry : 300
Collimator : 0
Field Size : X = 9,1 cm , Y = 17 cm
FS ekuiv : 11,85
Depth : 5,75 cm
SSD : 100 cm
1/OF : 0,982
PDD : 84, 655
Weight : 0,5
Dose : 200 cGy
MU : 116

2. Lapangan II (Tangensial Latero Medial)

Gantry : 125
Collimator : 0,5
Field Size : X = 9,1 cm , Y = 17 cm
FS ekuiv : 11,85
Depth : 5,75 cm
SSD : 100 cm
1/OF : 0,982
PDD : 84, 655
Weight : 0,5
Dose : 200 cGy
MU : 116

3. Lapangan III (Supraclavicula)

Gantry : 0,5

Collimator : 0

Field Size : X = 14,2 cm , Y = 8,2 cm

Dengan Blok MLC

FS ekuiv : 9,6

Depth : 3 cm

SSD : 100 cm

1/OF : 1

PDD : 93,89

Weight : 1

Dose : 200 cGy

MU : 213

4. Lapangan IV (Axilla)

Gantry : 180

Collimator : 0

Field Size : X = 5,1 cm , Y = 7,7 cm

FS ekuiv : 6,14

Depth : 8 cm

SSD : 92 cm

SAD : 100 cm

1/OF : 1,039

PDD : 72,85

Weight : 1

Dose : 43,42 cGy

MU : 57

Lampiran 1.5 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 2 cm pada ulangan pertama

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 41,81 | 42,81 | 43,81 | 42,81 |
| 32 | 46,33 | 46,80 | 46,31 | 46,48 |
| 30 | 47,68 | 48,34 | 47,17 | 47,73 |
| 26 | 68,70 | 68,32 | 67,65 | 68,22 |
| 24 | 72,10 | 71,51 | 73,60 | 72,40 |
| 18 | 107,23 | 106,93 | 106,13 | 106,76 |
| 14 | 181,40 | 182,02 | 182,48 | 181,97 |
| 10 | 344,43 | 339,04 | 339,53 | 341,00 |
| 8 | 382,70 | 380,86 | 389,35 | 384,30 |

Lampiran 1.6 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 5 cm pada ulangan pertama

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 40,81 | 40,81 | 41,81 | 41,14 |
| 32 | 46,29 | 46,06 | 47,78 | 46,71 |
| 30 | 47,39 | 46,49 | 48,59 | 47,49 |
| 26 | 65,04 | 63,29 | 65,99 | 64,77 |
| 24 | 73,51 | 70,75 | 72,57 | 72,28 |
| 18 | 94,51 | 93,16 | 96,08 | 94,58 |
| 14 | 134,46 | 138,40 | 135,13 | 136,00 |
| 10 | 211,75 | 216,51 | 214,95 | 214,40 |
| 8 | 236,58 | 230,41 | 236,41 | 234,46 |

Lampiran 1.7 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 10 cm pada ulangan pertama

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 40,48 | 40,23 | 39,92 | 40,21 |
| 32 | 43,66 | 39,34 | 41,16 | 41,39 |
| 30 | 47,81 | 48,81 | 49,81 | 48,81 |
| 26 | 65,85 | 66,17 | 63,30 | 65,10 |
| 24 | 73,98 | 72,50 | 72,58 | 73,02 |
| 18 | 83,63 | 81,76 | 83,73 | 83,04 |
| 14 | 103,73 | 106,43 | 104,96 | 105,04 |
| 10 | 137,36 | 131,67 | 134,29 | 134,44 |
| 8 | 143,22 | 147,95 | 146,29 | 145,82 |

Lampiran 1.8 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 2 cm pada ulangan kedua

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 42,22 | 42,71 | 43,13 | 42,69 |
| 32 | 46,22 | 47,34 | 45,76 | 46,44 |
| 30 | 49,69 | 47,18 | 47,22 | 48,03 |
| 26 | 64,08 | 66,55 | 67,44 | 66,02 |
| 24 | 75,33 | 70,60 | 71,69 | 72,54 |
| 18 | 107,64 | 108,05 | 103,19 | 106,29 |
| 14 | 182,40 | 185,50 | 187,50 | 185,13 |
| 10 | 347,40 | 341,10 | 333,60 | 340,70 |
| 8 | 377,30 | 389,30 | 389,40 | 385,33 |

Lampiran 1.9 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 5 cm pada ulangan kedua

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 42,27 | 40,99 | 43,58 | 42,28 |
| 32 | 47,15 | 43,61 | 49,64 | 46,80 |
| 30 | 48,61 | 44,36 | 45,14 | 46,04 |
| 26 | 64,49 | 65,64 | 66,48 | 65,54 |
| 24 | 72,81 | 70,26 | 69,98 | 71,02 |
| 18 | 98,05 | 94,87 | 96,12 | 96,35 |
| 14 | 134,67 | 136,45 | 139,05 | 136,72 |
| 10 | 221,80 | 213,50 | 214,30 | 216,53 |
| 8 | 231,80 | 231,70 | 239,70 | 234,40 |

Lampiran 1.10 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 10 cm pada ulangan kedua

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 41,08 | 40,34 | 40,90 | 40,77 |
| 32 | 43,01 | 43,09 | 43,60 | 43,23 |
| 30 | 47,97 | 46,93 | 46,15 | 47,02 |
| 26 | 65,94 | 64,48 | 66,39 | 65,60 |
| 24 | 72,63 | 73,24 | 73,42 | 73,10 |
| 18 | 85,60 | 85,60 | 86,80 | 86,00 |
| 14 | 107,42 | 106,17 | 102,08 | 105,22 |
| 10 | 134,31 | 139,73 | 135,51 | 136,52 |
| 8 | 147,40 | 144,70 | 143,10 | 145,07 |

Lampiran 1.11 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 2 cm pada ulangan ketiga

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------|
| 36 | 43,01 | 42,43 | 42,20 | 42,55 |
| 32 | 45,86 | 47,84 | 48,88 | 47,53 |
| 30 | 49,54 | 48,24 | 47,67 | 48,48 |
| 26 | 68,78 | 67,11 | 67,76 | 67,88 |
| 24 | 72,69 | 74,77 | 73,44 | 73,63 |
| 18 | 109,60 | 109,90 | 106,01 | 108,50 |
| 14 | 185,30 | 182,30 | 181,71 | 183,10 |
| 10 | 348,00 | 348,40 | 342,20 | 346,20 |
| 8 | 383,90 | 385,60 | 387,09 | 385,53 |

Lampiran 1.12 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 5 cm pada ulangan ketiga

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|---------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------------|
| 36 | 42,06 | 42,51 | 42,58 | 42,38 |
| 32 | 47,32 | 44,29 | 49,11 | 46,91 |
| 30 | 46,00 | 46,00 | 48,31 | 46,77 |
| 26 | 63,18 | 62,76 | 60,06 | 62,00 |
| 24 | 72,69 | 71,58 | 73,01 | 72,43 |
| 18 | 94,21 | 94,42 | 98,41 | 95,68 |
| 14 | 137,94 | 138,24 | 131,24 | 135,81 |
| 10 | 212,10 | 230,10 | 216,60 | 219,60 |
| 8 | 235,80 | 230,80 | 233,30 | 233,30 |

Lampiran 1.13 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan tangensial I dan tangensial II untuk kedalaman 10 cm pada ulangan ketiga

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 38,75 | 39,73 | 37,59 | 38,69 |
| 32 | 43,51 | 42,65 | 41,73 | 42,63 |
| 30 | 46,94 | 43,24 | 48,55 | 46,24 |
| 26 | 65,88 | 68,82 | 69,70 | 68,13 |
| 24 | 72,28 | 71,28 | 73,29 | 72,28 |
| 18 | 87,08 | 84,78 | 87,88 | 86,58 |
| 14 | 103,16 | 102,83 | 105,78 | 103,92 |
| 10 | 136,51 | 141,55 | 138,98 | 139,01 |
| 8 | 146,60 | 144,60 | 144,00 | 145,07 |

Lampiran 1.14 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan *supraclave* dan lapangan *axilla* untuk kedalaman 2 cm pada ulangan pertama

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 18,32 | 18,29 | 18,26 | 18,29 |
| 32 | 20,64 | 20,19 | 20,65 | 20,49 |
| 30 | 23,14 | 25,31 | 23,84 | 24,10 |
| 26 | 27,25 | 28,58 | 28,64 | 28,16 |
| 24 | 32,32 | 35,35 | 31,66 | 33,11 |
| 18 | 38,69 | 39,35 | 37,02 | 38,35 |
| 14 | 47,81 | 42,32 | 46,61 | 45,58 |
| 10 | 50,32 | 52,96 | 50,11 | 51,13 |
| 8 | 53,75 | 53,80 | 58,56 | 55,37 |

Lampiran 1.15 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan *supraclave* dan lapangan *axilla* untuk kedalaman 5 cm pada ulangan pertama

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 18,31 | 18,98 | 20,62 | 19,30 |
| 32 | 20,37 | 20,13 | 20,13 | 20,21 |
| 30 | 22,76 | 22,47 | 25,47 | 23,57 |
| 26 | 27,86 | 26,42 | 25,78 | 26,69 |
| 24 | 30,24 | 35,95 | 31,56 | 32,58 |
| 18 | 34,11 | 32,82 | 34,43 | 33,79 |
| 14 | 36,57 | 35,81 | 36,17 | 36,18 |
| 10 | 44,84 | 44,23 | 42,41 | 43,83 |
| 8 | 51,32 | 50,09 | 49,07 | 50,16 |

Lampiran 1.16 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan *supraclave* dan lapangan *axilla* untuk kedalaman 10 cm pada ulangan pertama

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 18,78 | 18,88 | 16,36 | 18,01 |
| 32 | 20,27 | 19,50 | 20,51 | 20,09 |
| 30 | 22,75 | 23,94 | 25,38 | 24,02 |
| 26 | 27,68 | 28,61 | 26,52 | 27,60 |
| 24 | 31,22 | 35,68 | 27,12 | 31,34 |
| 18 | 32,67 | 32,25 | 31,47 | 32,13 |
| 14 | 28,23 | 24,24 | 24,44 | 25,64 |
| 10 | 33,38 | 37,03 | 31,50 | 33,97 |
| 8 | 36,24 | 39,30 | 40,87 | 38,80 |

Lampiran 1.17 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan *supraclave* dan lapangan *axilla* untuk kedalaman 2 cm pada ulangan kedua

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 20,30 | 18,83 | 18,10 | 19,08 |
| 32 | 23,83 | 17,95 | 21,27 | 21,02 |
| 30 | 25,01 | 24,50 | 23,40 | 24,30 |
| 26 | 28,18 | 26,72 | 27,85 | 27,58 |
| 24 | 36,56 | 32,95 | 30,50 | 33,34 |
| 18 | 36,30 | 38,40 | 38,42 | 37,71 |
| 14 | 44,04 | 42,53 | 40,97 | 42,51 |
| 10 | 53,81 | 54,53 | 52,44 | 53,59 |
| 8 | 56,57 | 53,72 | 58,75 | 56,35 |

Lampiran 1.18 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan *supraclave* dan lapangan *axilla* untuk kedalaman 5 cm pada ulangan kedua

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 18,34 | 19,87 | 20,06 | 19,42 |
| 32 | 23,21 | 23,29 | 17,90 | 21,47 |
| 30 | 21,32 | 26,66 | 24,93 | 24,30 |
| 26 | 26,06 | 27,82 | 26,12 | 26,67 |
| 24 | 36,56 | 34,15 | 37,31 | 36,01 |
| 18 | 32,73 | 30,12 | 32,10 | 31,65 |
| 14 | 34,50 | 35,85 | 35,34 | 35,23 |
| 10 | 41,25 | 43,21 | 37,48 | 40,65 |
| 8 | 48,39 | 47,69 | 46,24 | 47,44 |

Lampiran 1.19 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan *supraclave* dan lapangan *axilla* untuk kedalaman 10 cm pada ulangan kedua

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 21,79 | 17,94 | 18,19 | 19,31 |
| 32 | 21,41 | 21,96 | 21,65 | 21,67 |
| 30 | 23,53 | 25,87 | 23,17 | 24,19 |
| 26 | 28,13 | 26,42 | 26,14 | 26,90 |
| 24 | 33,56 | 33,60 | 29,04 | 32,07 |
| 18 | 31,65 | 31,17 | 32,44 | 31,75 |
| 14 | 25,15 | 22,12 | 22,36 | 23,21 |
| 10 | 36,65 | 32,82 | 32,05 | 33,84 |
| 8 | 36,24 | 42,29 | 41,44 | 39,99 |

Lampiran 1.20 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan *supraclave* dan lapangan *axilla* untuk kedalaman 2 cm pada ulangan ketiga

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 18,17 | 16,72 | 21,97 | 18,95 |
| 32 | 21,52 | 20,07 | 20,63 | 20,74 |
| 30 | 23,61 | 23,55 | 23,99 | 23,72 |
| 26 | 27,52 | 25,85 | 28,67 | 27,35 |
| 24 | 34,17 | 31,93 | 34,81 | 33,64 |
| 18 | 35,96 | 36,50 | 38,34 | 36,93 |
| 14 | 43,09 | 44,44 | 47,52 | 45,02 |
| 10 | 50,72 | 52,38 | 49,11 | 50,74 |
| 8 | 52,48 | 58,40 | 52,05 | 54,31 |

Lampiran 1.21 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan *supraclave* dan lapangan *axilla* untuk kedalaman 5 cm pada ulangan ketiga

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 17,47 | 21,87 | 17,04 | 18,79 |
| 32 | 19,53 | 24,04 | 19,98 | 21,18 |
| 30 | 25,48 | 20,09 | 22,58 | 22,72 |
| 26 | 23,85 | 27,23 | 27,13 | 26,07 |
| 24 | 32,11 | 31,48 | 36,24 | 33,28 |
| 18 | 31,22 | 30,55 | 31,88 | 31,22 |
| 14 | 33,61 | 33,61 | 32,63 | 33,28 |
| 10 | 43,05 | 44,08 | 43,51 | 43,55 |
| 8 | 50,51 | 50,56 | 48,37 | 49,81 |

Lampiran 1.22 Hasil pengukuran dosis fetus untuk lapangan *supraclave* dan lapangan *axilla* untuk kedalaman 10 cm pada ulangan ketiga

| Jarak Fetus (cm) | TLD 1 (nC) | TLD 2 (nC) | TLD 3 (nC) | TLD rata-rata (nC) |
|------------------|------------|------------|------------|--------------------|
| 36 | 19,92 | 18,18 | 18,78 | 18,96 |
| 32 | 21,98 | 22,97 | 21,07 | 22,01 |
| 30 | 27,64 | 20,05 | 21,81 | 23,17 |
| 26 | 25,33 | 28,72 | 27,28 | 27,11 |
| 24 | 34,15 | 35,68 | 34,86 | 34,90 |
| 18 | 31,59 | 32,00 | 31,71 | 31,77 |
| 14 | 22,63 | 26,12 | 25,16 | 24,64 |
| 10 | 32,86 | 30,43 | 37,26 | 33,52 |
| 8 | 36,77 | 37,71 | 43,35 | 39,28 |

Lampiran 1.23 Data Hasil Kalibrasi TLD yang dibandingkan dengan Ion Chamber model TM 30013 – 0821

Kalibrasi ini dilakukan di Rumah Sakit Persahabatan pada hari Jumat tanggal 14 Mei 2010 mulai pukul 13.00 WIB.

1. Radiation treatment unit and reference conditions for D_w, Q determination

Accelerator : LINAC VARIAN V5.4 CLINAC 2100C SNI397

Nominal Acc Potential : 6 MV

Nominal dose rate: 200 MU/min

Beam quality, Q ($TPR_{20,10}$): 0,66

Reference phantom: water fantom (akuades)

Set up : SSD 100 cm

Lapangan; 10 x 10 cm

Kedalaman 10 cm

2. Ionization chamber and electrometer

Ionization chamber model: PTW FREIBURG TM30013

Serial no.: 0821

Chamber wall material: Akrilik

Ketebalan: 1 g cm^{-2}

$TPR_{20,10}$: 0,992

Kondisi dosimeter saat dikalibrasi oleh SSDL (*Secondary Standard Dosimetry Laboratory*):

P_o : 101,3 kPa

T_o : 23 °C

3. Dosimeter reading and correction for influence quantities

Kondisi fantom saat dilakukan kalibrasi:

Tekanan $P = 100,7 \text{ kPa}$

Temperature $T = 23 \text{ °C}$

- Koreksi temperatur dan tekanan:

$$k_{TP} = \frac{(273,2+T).P_o}{(273+T_o).P} = \frac{(273,2+23).101,3}{(273+23).100,7} = 1,006$$

- Koreksi elektrometer:

$k_{elec}: 1$

- Koreksi polaritas:

Reading at $+v_1$: M+

Reading at $-v_1$: M-

| Ulangan | $+v_1 = +400$ volt M+ (nC) | $-v_1 = -400$ volt |
|-----------|-------------------------------|--------------------|
| 1 | 25,10 | -25,13 |
| 2 | 25,09 | -25,13 |
| 3 | 25,09 | -25,12 |
| Rata-rata | 25,093 | -25,127 |

$$k_{pol} = \frac{|M+| + |M-|}{2M} = \frac{|25,093| + |-25,127|}{2 \cdot 25,127} = -0,999$$

- Koreksi rekombinasi (metode dua tegangan)

Polarisasi tegangan (normal) : $v_1 = -400$ volt

(reduce) $v_2 = -100$ volt

| Ulangan | $v_1 = -400$ volt M ₁ (nC) | $V_2 = -100$ volt M ₂ (nC) |
|-----------|--|--|
| 1 | -25,13 | -25,02 |
| 2 | -25,13 | -25,02 |
| 3 | -25,12 | -25,01 |
| Rata-rata | -25,127 | -25,017 |

$$v_1/v_2 = -400/-100 = 4$$

$$M_1/M_2 = -25,127/-25,017 = 1,004$$

$$a_0 = 1,022$$

$$a_2 = -0,363$$

$$a_3 = 0,341$$

$$k_s = a_0 + a_2 (M_1/M_2) + a_3 (M_1/M_2)^2$$

$$k_s = 1,022 + (-0,363) \cdot 1,004 + 0,341 \cdot (1,004)^2 = 1,001$$

- Koreksi dosimeter

$$\begin{aligned}
 M_Q &= M_1 \cdot k_{TP} \cdot k_{elec} \cdot k_{pol} \cdot k_s \\
 &= -0,125635 \times 1,006 \times 1 \times -0,999 \times 1,001 \\
 &= 0,1263886 \text{ nC/MU}
 \end{aligned}$$

4. Absorbed dose to water at the reference depth, Z_{ref}

Faktor koreksi kualitas sinar:

$$k_{Q,Q_0} = 0,992 \text{ (dari tabel 14, TRS 398)}$$

$$\begin{aligned}
 D_{w,Q(Z_{ref})} &= M_Q \cdot N_{D,w,Q} \cdot k_{Q,Q_0} \\
 &= 0,1263886 \times 5,29 \times 10^{-2} \times 0,992 \\
 &= 0,0066324 \text{ Gy/MU}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{w,Q(Z_{ref})(15 \times 15, 10)} &= \{PDD_{(15 \times 15, 10)} \times D_{w,Q(Z_{ref})}\} / PDD_{(Z_{ref})} \\
 &= \frac{69,1 \times 0,0066324}{67,4} = 0,0067996 \text{ Gy/MU}
 \end{aligned}$$

$$\text{MU saat penyinaran TLD} = 101$$

$$\begin{aligned}
 \text{Artinya } 101 \text{ MU} &= 0,0067996 \text{ Gy/MU} \times 101 \text{ MU} = 0,6867596 \text{ Gy} \\
 &= 68,67596 \text{ cGy}
 \end{aligned}$$

Faktor koreksi tiap TLD :

$$\text{FK} = \frac{68,67596 \text{ cGy}}{\text{Nilai yang terbaca di TLD (nC)}} \times \text{OF}$$

| Kelompok | $D_{w,Q(Z_{ref})(15 \times 15, 10)}$ (cGy) | Nilai yang terbaca di TLD (nC) | OF | Faktor Koreksi (cGy/nC) |
|----------|---|-----------------------------------|-----------|----------------------------|
| A1 | 68,67596 | 4.605 | 1,0330578 | 0,01540635 |
| A2 | 68,67596 | 4.777 | 1,0330578 | 0,01485163 |
| B1 | 68,67596 | 4.661 | 1,0330578 | 0,01522125 |
| B2 | 68,67596 | 4.661 | 1,0330578 | 0,01522125 |
| B3 | 68,67596 | 5.578 | 1,0330578 | 0,01271894 |

Lampiran 1.24 Hasil pengukuran dosis pada TLD untuk kalibrasi

TLD yang digunakan terdiri dari 2 jenis yang dibedakan sebagai TLD-A dan TLD-B. TLD-A dibedakan lagi menjadi dua kelompok berdasarkan sensitifitasnya yaitu kelompok 1 (a01, a02, a03, b01, b02, b03, c01, c02, c03) dan kelompok 2 (f01, f02, f03, g01, g02, g03, h02, h02, h03). TLD-B dibedakan menjadi tiga kelompok, kelompok 1 (a08, a09, a10, c02, c03, c04, c08, c09, c10), kelompok 2 (d08, d09, d10, f01, f02, f03, h08, h09, h10), dan kelompok 3 (i09, i10, k01, k07, k08, k09, k03, k04, k05).

TLD-A digunakan untuk mengukur penyinaran lapangan tangensial I dan II untuk pengulangan pertama, kedua dan ketiga, serta penyinaran lapangan supraklavikula dan axilla untuk pengulangan pertama dan kedua. Sedangkan TLD-B digunakan untuk melakukan pengukuran penyinaran lapangan supraklavikula dan axilla pada ulangan ketiga. Penggunaan TLD-A dan TLD-B dilakukan hanya untuk mempercepat proses pengambilan data.

| TLD-A | | | |
|------------|-------|------------|-------|
| Kelompok 1 | (nC) | Kelompok 2 | (nC) |
| a01 | 5.125 | f01 | 4.379 |
| a02 | 4.310 | f02 | 4.284 |
| a03 | 4.804 | f03 | 4.583 |
| b01 | 4.576 | g01 | 5.465 |
| b02 | 4.584 | g02 | 5.069 |
| b03 | 4.432 | g03 | 5.291 |
| c01 | 4.224 | h01 | 4.443 |
| c02 | 4.704 | h02 | 4.523 |
| c03 | 4.688 | h03 | 4.953 |
| Rata-rata | 4.605 | Rata-rata | 4.777 |

| TLD-B | | | | | |
|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| Kelompok 1 | (nC) | Kelompok 2 | (nC) | Kelompok 3 | (nC) |
| a08 | 4.857 | d08 | 4.857 | i09 | 5.131 |
| a09 | 4.636 | d09 | 4.636 | i10 | 5.417 |
| a10 | 4.696 | d10 | 4.696 | k01 | 5.641 |
| c02 | 4.352 | f01 | 4.352 | k07 | 5.965 |
| c03 | 5.159 | f02 | 5.159 | k08 | 5.529 |
| c04 | 4.455 | f03 | 4.455 | k09 | 5.481 |
| c08 | 5.234 | h08 | 5.234 | k03 | 5.422 |
| c09 | 4.226 | h09 | 4.226 | k04 | 5.389 |
| c10 | 4.330 | h10 | 4.330 | k05 | 6.231 |
| Rata-rata | 4.661 | Rata-rata | 4.661 | Rata-rata | 5.578 |

| Kelompok | Faktor Kalibrasi (Gy/ μ C) | Kelompok | Faktor Kalibrasi (Gy/ μ C) |
|----------|-----------------------------------|----------|-----------------------------------|
| A1 | 0,0298 | B1 | 0,0294 |
| A2 | 0,0288 | B2 | 0,0294 |
| | | B3 | 0,0246 |

DAFTAR PUSTAKA

1. Akhadi, M dan Thamrin, MT. (1998). Fenomena Termoluminesensi dan Pemanfaatannya dalam Dosimetri. Buletin Alara 2 (2), 19 – 25, PSPKR – BATAN.
2. Attix, Frank Herbert. (1986). *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry*. New York: A Willey Interscience Publication.
3. BATAN. (2008). Prinsip Dasar Pengukuran Radiasi.
http://www.batan.go.id/pusdiklat/elearning/Pengukuran_Radiasi/Dasar_04.htm
4. BATAN. (2009). *Implementasi TRS 398*.
http://www.batan.go.id/view_news.php?id_berita=805&db_tbl=Berita
5. Bentel, G.C., Nelson, C.E., & Noel, K.T. (1976). *Treatment Planning & Dose Calculation in Radiation Oncology : Fourth Edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
6. Bielajew, A.F., *Beam Radiotherapy-Why Leave It to Chance*. National Research Council, Ottawa, CANADA
7. Colia, Lawrence R., Moylan, David J. (1996). *Introduction to Clinical Radioation Oncology: Third Edition*. Madison: Medical Physics Publishing, Wisconsin.
8. Futura, Y and Tanaka, S. (1972). *Response of ^6LiF and ^7LiF Thermoluminiscence Dosimeters to fast Neutrons*. Nucl. Instr. and Meth. North Holland Publishing Co.
9. Gollnick, Daniel A. (1988). *Basic Radiation Protection Technology: Second edition*. USA : Pasific radiation Corporation.
10. IAEA. (2000). *Technical Reports Series No. 398-Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy*. Vienna: Austria.S
11. IAEA – Tecdoc -1447. (2005). *Optimization Of The Radiological Protection Of Patieners, Image Quality And Dose In Mammography*. (Coordinated Research In Europe) IAEA, Vienna, Austria.
12. IAEA. (2005). *Radiation Oncology Physics : A Handbook for Teachers and*

Student. Vienna, Austria.

13. International Commission on Radiological Units and Measurement. (1976). *Determinations of absorbed dose in a patient irradiated by beam of X or gamma rays in radiotherapy procedures*. Washington, DC.
14. Johns, H. E., Cunningham, J. R. (1983). *The Physics of Radiology*, Edisi 4, Springfield: Charles C Thomas Publisher.
15. Mettler, F. (2001). *Accidental Radiation Exposure During Pregnancy In medical Management of Radiation Accidents*, 2nd Ed. CRS Press, Boca Raton.
16. Osei EK. And faulkner K. (1999). Fetal position and size data for dose estimation, BJR, 72:363-370.
17. Peter Metcalfe, Tomas Kron and Peter Hoban. (2007). *The Physics of Radiotherapy X-Ray and Electrons*. Medical Physics Publishing Madison, Wisconsin.
18. Pradip R. Patel. *Lecture Notes-Radiology*, edisi kedua. Erlangga.
19. Rabe, T., (2003), Buku Saku Ilmu Kebidanan, Cetakan I, Penerbit Hipokrates, Jakarta.
20. Siswono. (2002). **Peran Radioterapi pada Pengobatan Kanker.**
<http://www.gizi.net/cgi-bin/berita/fullnews.cgi?newsid1010376116,48600>,
21. Steel, G. Gordon. (1997). *Basic Clinical Radiobiology – Second Edition*. New York, USA: Oxford Uninersiy Press, Inc.
22. Steve Forshier. (2002). *Essential Of Radiation Biology And Protection*. Delmar Thamson Learning. Delmar, A Division Of Thomsom Learning, Inc, Canada.
23. Stovall, Marilyn. (1995). *Fetal Dose from Radiotherapy with Photon Beams: Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No.36*.
24. Tanaka, S. I dan Futura, Y. (1976). *Usage of Thermoluminescence Dosimeter as a Thermal Neutron Detector with High Sensitivity*. Nucl. Instr. And Meth. North Holland Publishing Co.
25. Universitas Indonesia (2004). *Pengantar Penulisan Ilmiah*.
26. Van Dyk, Jacob. (1999). *The Modern Technology of Radiation Oncology, Volume 2*. Madison: Medical Physics Publishing. Wisconsin.
27. Yazici, A.N., Ozturk, Z, & Bedir, M. 1999. *The Investigation of the*

Thermoluminescence Emission bands of LiF : Mg, Ti (TLD-100) by a Simple Developed Model. University of gaziantep, Faculty of Engineering. 01 Oct. 1999. Turk J Phys 25 (2001), 333-343 <http://www.tubitak.com>.

