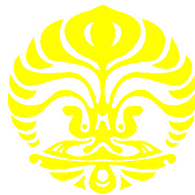


**DISTRIBUSI DOSIS UNTUK LAPANGAN ASIMETRI  
SINAR-X 6MV DENGAN VARIASI KEDALAMAN**

**TESIS**

**DEINAR FADRIAHZ**

**0806420902**



**UNIVERSITAS INDOESIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA  
PROGRAM KEKHUSUSAAN FISIKA MEDIK DAN BIOFISIKA  
JAKARTA  
DESEMBER 2010**

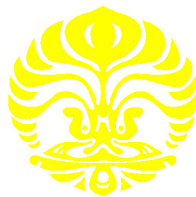
**DISTRIBUSI DOSIS UNTUK LAPANGAN ASIMETRI  
SINAR-X 6MV DENGAN VARIASI KEDALAMAN**

**TESIS**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister**

**DEINAR FADRIAHZ**

**0806420902**



**UNIVERSITAS INDOESIA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA  
PROGRAM KEKHUSUSAAN FISIKA MEDIK DAN BIOFISIKA  
JAKARTA  
DESEMBER 2010**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Deinar Fadriahz**

**NPM : 0806420902**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 21 Desember 2010**



## Halaman pengesahan

Tesis ini diajukan oleh :  
Nama : Deinar Fadriahz  
NPM : 0806420902  
Program Studi : Fisika Medis  
Judul Tesis : Distribusi Dosis untuk Lapangan Asimetri Sinar-X 6  
MV dengan Variasi Kedalaman

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

### DEWAN PENGUJI

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

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 21 Desember 2010

## PENGANTAR DAN UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, segala puji dipanjatkan kehadirat Illahi Rabbi, berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikannya Tesis yang berjudul **Distribusi Dosis untuk Lapangan Asimetri Sinar-X 6 MV dengan Variasi Kedalaman**. Penulisan Tesis ini adalah sebagai syarat penyelesaian studi untuk memperoleh gelar **Magister Sains (Msi)** pada Program Studi Fisika Medis, Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia. Saya bersyukur telah dapat memulai langkah pertama suatu pengalaman akademik sepanjang masa. Pengalaman pendidikan ini sungguh menyenangkan dan membuka wawasan intelektual baru penuh tantangan.

Selama bersekolah, menuntut ilmu pengetahuan, menyusun Tesis penulis menghadapi banyak kesulitan. Tanpa mengurangi apresiasi saya kepada semua pihak, secara khusus penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko selaku pembimbing Tesis syang telah memberikan semangat dan dorongan dengan penuh kesabaran.
2. Dr Warsito, Dr Rer nat Fredy Haryanto dan Dr. Musaddiq Musbach selaku penguji yang telah memberikan koreksi dan saran untuk kesempurnaan Tesis ini.
3. Pimpinan Departemen Fisika Universitas Indonesia, Bapak Ibu dosen dan para staf administrasi yang telah memberikan berbagai bantuan selama menyelesaikan masa studi.
4. dr. Bambang Dwi Karynto Sp.Rad.K.Onk.Rad, dr. Joke Soetjahjo Soemiatno Mba.Sp.Rad.K.Onk.Rad yang telah mengizinkan penulis mengambil data dan menggunakan peralatan radioterapi di RSPP dan keluarga besar radioterapi RSPP.
5. Mas Heru Prasetyo, M.Si yang tulus meluangkan waktu untuk berdiskusi mengenai teoritis perhitungan dosis.
6. Dea Ryangga yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bantuan secara teknis dalam mengambil data dan menjelaskan segala persoalan dosimetri.

7. Teman-teman mahasiswa pascasarjana Fisika Medik angkatan 2008 yang saling berbagi pengalaman untuk meneguhkan motivasi belajar khususnya mba Yulfiatry, Juni dan mba Dessy.
8. Papa, Mama, kakak, adik tercinta serta keluarga besar yang telah mencurahkan kasih sayang, doa yang tiada henti dan dukungan baik materi maupun non materi.
9. Terakhir dan terukir indah dalam memori suami tercinta, Rahmat Budi Santoso yang selalu berdoa agar diberikan kemudahan dan memberikan kasih sayang, semangat selama proses penelitian dan penulisan.

Semoga ALLAH SWT membalas amal baik semua pihak tersebut di atas dengan kebahagiaan yang senantiasa berkesinambungan. Amal baik itu telah berhasil membuahkan karya tulis yang sangat berarti bagi penulis dalam upaya menguasai ilmu dasar. Tidak ada harapan melambung, melekat pada sebuah karya kecil ini kecuali pengambilan manfaatnya untuk membukukan sebaran ide-ide penelitian dikalangan mahasiswa fisika medik.

Jakarta, Desember 2010

Penulis

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

---

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

Nama : Deinar Fadriahz  
NPM : 0806420902  
Program Studi : Fisika Medis  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Tesis

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

**Distribusi Dosis untuk Lapangan Asimetri Sinar-X 6 MV dengan Variasi Kedalaman**, beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa 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 : Jakarta  
Pada tanggal : 21 Desember 2010

Yang menyatakan

(Deinar Fadriahz)

## ABSTRAK

Nama : Deinar Fadriahz  
Program Studi : Magister Fisika Medis  
Judul : Distribusi Dosis untuk Lapangan Asimetri Sinar-X 6 MV dengan Variasi Kedalaman

Dalam radioterapi selain lapangan simetri dapat pula menggunakan lapangan asimetri untuk terapi pasien dengan kasus kanker payudara, *nasopharynx* dan *lumbal pelvis*. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur distribusi dosis pada fantom akrilik untuk lapangan simetri dan asimetri sinar-x 6 MV dengan variasi kedalaman menggunakan *PTW 2D Array*. metode yang digunakan adalah mengukur data untuk PDD lapangan simetri-asimetri (16x16 dan 20x20) cm pada variasi kedalaman 0.5, 1.5, 1.8, 3.0, 5.0, and 10.0 cm. serta mengukur dosis pada daerah tepi lapangan sampai tengah lapangan untuk kedalaman 1.8, 3.0, 5.0, and 10 cm. Hasil PDD dibandingkan antara data TPS dengan data *PTW 2D Array*. setelah kedalaman maksimum nilai PDD untuk lapangan simetri-asimetri menunjukkan kecocokan dengan kalkulasi TPS dengan perbandingan perbedaan hanya sampai 3% untuk lapangan simetri dan sampai 5% untuk lapangan asimetri. Untuk lapangan asimetri rasio antara daerah tepi lapangan dengan tengah lapangan kurang dari 1.0 % dengan rata-rata  $0.86 \pm 0.01$ . Profil untuk lapangan asimetri menyerupai lapangan yang menggunakan *wedge* sempit dari tepi lapangan sampai dengan titik pengukuran 7 cm. Biasanya 2 lapangan asimetri digunakan untuk melindungi organ/jaringan sehat disekitar kanker dari dosis radiasi yang berlebihan. Perbandingan tepi lapangan dengan tengah lapangan sekitar 86%. Pada jarak 3 cm dari tepi lapangan dosis meningkat sekitar 90%. Oleh karena itu maka lapangan asimetri ini dapat digunakan untuk PTV pada jarak 3 cm dari tepi lapangan asimetri. Nilai PDD untuk lapangan simetri dapat pula digunakan untuk lapangan asimetri. Tidak ada perbedaan antara nilai PDD untuk lapangan simetri-asimetri dari eksperimen dengan kalkulasi TPS.

Kata Kunci : lapangan simetri, lapangan asimetri, PDD, tepi lapangan profil sinar-x.



## ABSTRACT

Name : Deinar Fadriahz  
Study Program : Magister of Medical Physics  
Title : Dose distribution from asymmetrical 6 MV X ray beam at various depths

**Introduction:** In radiotherapy besides symmetrical fields, it is common also to use asymmetrical fields such as for treatment of patients with cancer of breast, nasopharynx, and lumbal pelvis. In this work dose distribution in acrylic phantom from symmetrical and asymmetrical fields of 6 MV X ray beams were measured at various depth using PTW 2D array ion chambers.

**Methods:** Data for PDD (percentage depth dose) for symmetrical and asymmetrical fields of 6 MV X ray beams with the size of 16 x 16 cm and 20 x 20 cm were collected from measurements at the depth of 0.5, 1.5, 1.8, 3.0, 5.0, and 10.0 cm. At 1.8, 3.0, 5.0, and 10 cm depth, dose at several points close to edge-blocked area was also investigated.

**Results:** After maximum depth, PDD for symmetrical and asymmetrical fields indicated good match with those TPS calculations, with difference up to 3% and 5% for symmetrical and asymmetrical field.

For asymmetrical field ratio between dose at edge blocked point with that at center field point was always less than 1.0, at the average of  $0.86 \pm 0.01$ , for those two fields and at all measured depths, however it is still higher than that occurred at other edge. However profile at asymmetrical side tend to simulate wedged field with small inclination from edge block point up to about 7 cm distance.

**Discussions :** Usually two opposing asymmetrical fields are used to protect specific organ from divergent beams such as dose to lung from radiation treatment of breast cancer. At the asymmetrical edge the dose was about 86% of the dose at the field center. At 3 cm distance from this edge the dose raises to about 90%. Therefore in clinical practice this asymmetrical field is suitable for treating PTV that is located at about 2 cm from the asymmetrical edge. The PDD values for symmetrical fields can be used for asymmetrical field.

**Conclusions :** There is no different between PDD values from symmetrical and asymmetrical fields, and from measured and TPS calculation.

Keywords : Symmetrical fields, asymmetrical fields, PDD and edge block beam profile

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iv
HALAMAN PENGANTAR DAN UCAPAN TERIMAKASIH .....	v
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vii
ABSTRAK .....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Penelitian .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.4 Batasan Penelitian .....	3
1.4 Metode Penelitian .....	4
1.4 Sistematika Penelitian.....	4
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Pesawat <i>Linear Accelerator (LINAC)</i> .....	5
2.2 Lapangan Simetri dan Asimetri .....	7
2.3 Persentase Dosis Kedalaman (PDD).....	9
2.4 Profil Berkas Sinar-X.....	11
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>13</b>
3.1 Peralatan.....	13
3.2 Metode .....	14
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>16</b>
4.1 Lapangan Simetri .....	16
4.2 Lapangan Asimetri.....	24
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>38</b>
5.1 Kesimpulan .....	38
5.2 Saran.....	39
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>40</b>

## DAFTAR TABEL

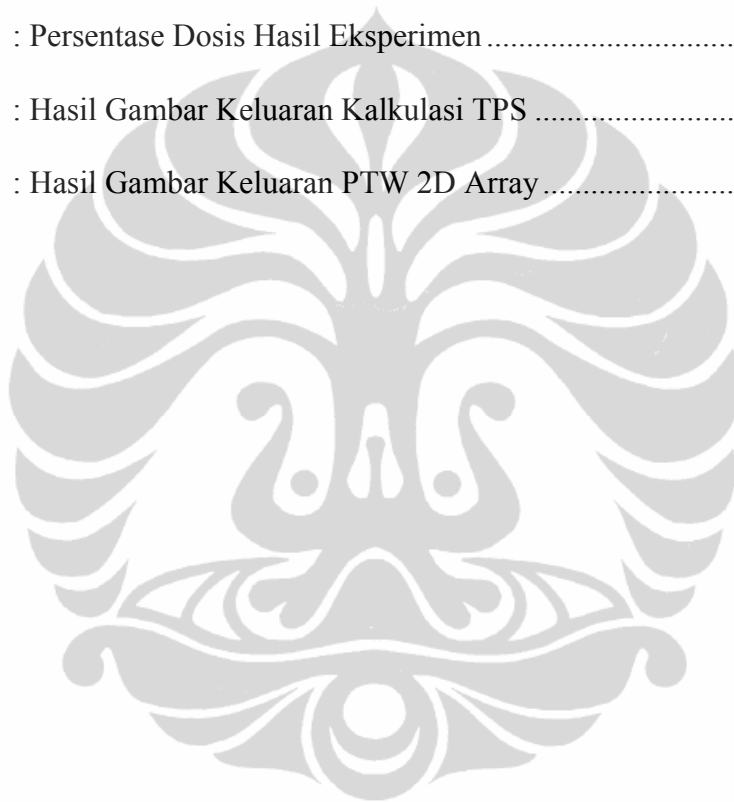
	Halaman
<b>Tabel 4.1 :</b> PDD Hasil Pengukuran dan TPS untuk lapangan simetri (16x16 dan 20x20)cm.....	17
<b>Tabel 4.2 :</b> Rasio hasil pengukuran dan TPS lapangan simetri (16x16 dan 20x20)cm.....	19
<b>Tabel 4.3 :</b> Persentase Dosis dengan PTW 2D Array dan TPS untuk lapangan 16 cm x 16 cm.....	20
<b>Tabel 4.4 :</b> Persentase Dosis dengan PTW 2D Array dan TPS untuk lapangan 20 cm x20 cm.....	22
<b>Tabel 4.5:</b> PDD hasil pengukuran dan TPS untuk lapangan asimetri 16 cm x16 cm dan 20 cm x 20 cm.....	25
<b>Tabel 4.6 :</b> Rasio hasil pengukuran dan TPS lapangan asimetri (16x16 dan 20x20)cm.....	27
<b>Tabel 4.7 :</b> Data tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimerti 16x16cm.....	29
<b>Tabel 4. 8 :</b> Data tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimerti 20x20cm.....	32
<b>Tabel 4.9 :</b> Data dosis tepi-tengah lapangan simetri-asimetri 16x16 cm.....	35
<b>Tabel 4.10 :</b> Perbandingan dosis tepi-tengah lapangan simetri-asimetri 16x16 cm.	36
<b>Tabel 4.11 :</b> Data dosis tepi-tengah lapangan simetri-asimetri 20x20 cm.....	36
<b>Tabel 4.12 :</b> Perbandingan dosis tepi-tengah lapangan simetri-asimetri 20x20 cm.	37

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 1.1</b> : LINAC .....	2
<b>Gambar 2.1</b> : Skema kerja LINAC .....	6
<b>Gambar 2.2</b> : Proses LINAC sampai dengan menghasilkan energi .....	6
<b>Gambar 2.3</b> : Profil berkas melalui <i>flattering filter</i> dan yang tidak .....	7
<b>Gambar 2.4</b> : Lapangan berdasarkan datangnya arah berkas sinar (a) lapangan simetri, (b) lapangan asimetri.....	8
<b>Gambar 2.5</b> : Lapangan simetri dan asimetri.....	9
<b>Gambar 2.6</b> : Geometri PDD .....	10
<b>Gambar 2.7</b> : Kurva PDD untuk 6 MV dan 10 MV .....	11
<b>Gambar 2.8</b> : Kurva Profil sepanjang sumbu X dan Y .....	12
<b>Gambar 2.9</b> : Kurva Profil lapangan simetri dan asimetri .....	12
<b>Gambar 3.1</b> : PTW 2D-Array seven29.....	13
<b>Gambar 3.2</b> : Lapangan simetri dan asimetri dalam penelitian .....	15
<b>Gambar 3.3</b> : skema pengaturan alat.....	15
<b>Gambar 4.1a</b> :Grafik perbandingan PDD lapangan simetri 16x16 cm.....	18
<b>Gambar 4.1b</b> :Grafik perbandingan PDD lapangan simetri 20x20 cm .....	18
<b>Gambar 4.2</b> : Grafik perbandingan profil 16x16 cm dengan kedalaman 1.8 cm ....	21
<b>Gambar 4.3</b> : Grafik perbandingan profil 16x16 cm dengan kedalaman 5.0 cm ....	21
<b>Gambar 4.4</b> : Grafik perbandingan profil 16x16 cm dengan kedalaman 10.0 cm ..	21
<b>Gambar 4.5</b> : Grafik perbandingan profil 20x20 cm dengan kedalaman 1.8 cm ....	23
<b>Gambar 4.6</b> : Grafik perbandingan profil 20x20 cm dengan kedalaman 5.0 cm....	23
<b>Gambar 4.7</b> : Grafik perbandingan profil 20x20 cm dengan kedalaman 10.0 cm ..	23
<b>Gambar 4.8a</b> :Grafik perbandingan PDD lapangan asimetri 16x16 cm.....	26
<b>Gambar 4.8b</b> : Grafik perbandingan PDD lapangan asimetri 20x20 cm.....	26
<b>Gambar 4.9</b> : Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimetri 16x16cm pada kedalaman 1.8 cm.....	30
<b>Gambar 4.10</b> :Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimetri 16x16cm pada kedalaman 3.0 cm.....	30
<b>Gambar 4.11</b> : Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimetri 16x16cm pada kedalaman 5.0 cm.....	31
<b>Gambar 4.12</b> :Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimetri 16x16cm pada kedalaman 10.0 cm.....	31
<b>Gambar 4.13</b> : Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimetri 20x20cm pada kedalaman 1.8 cm.....	33
<b>Gambar 4.14</b> :Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimetri 20x20cm pada kedalaman 3.0 cm.....	34
<b>Gambar 4.15</b> : Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimetri 20x20cm pada kedalaman 5.0 cm.....	34
<b>Gambar 4.16</b> :Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimetri 20x20cm pada kedalaman 10.0 cm.....	35

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
<b>Lampiran A</b> : Persentase Dosis Kedalaman (PDD) Hasil Eksperimen .....	43
<b>Lampiran B</b> : Persentase Dosis Kedalaman (PDD) Hasil TPS .....	49
<b>Lampiran C</b> : Persentase Dosis Hasil Eksperimen .....	51
<b>Lampiran D</b> : Hasil Gambar Keluaran Kalkulasi TPS .....	55
<b>Lampiran E</b> : Hasil Gambar Keluaran PTW 2D Array .....	57



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Salah satu alat radioterapi modern yang digunakan dalam pengobatan penyakit kanker adalah Linear Accelerator (*LINAC*). Alat radioterapi ini menghasilkan elektron dan sinar-x (foton) dengan cara dibangkitkan oleh generator dan mempunyai energi yang bervariasi. Tumor atau kanker dapat muncul dan berkembang dimana pun dalam tubuh manusia dan merusak jaringan yang sehat. Jika dilakukan penyinaran radiasi terhadap jaringan kanker tersebut maka jaringan sehat disekitar akan ikut terkena radiasi. Parameter yang harus diperhatikan dalam pemberian dosis radiasi antara lain adalah lapangan radiasi (bentuk dan ukurannya), kedalaman dan kualitas radiasi. Pelaksanaan radioterapi diupayakan untuk memenuhi prinsip dasar radioterapi yaitu, mengoptimalkan efektifitas daya perusak terhadap tumor atau kanker dan meminimalisir kerusakan jaringan normal disekitarnya [1 dan 21].

Berbagai cara dilakukan untuk memperoleh distribusi dosis sesuai dengan bentuk, volume dan letak tumor. Salah satu cara melindungi organ-organ/jaringan sehat sekitar adalah dengan menggunakan *independent jaw* untuk mengatur bentuk lapangan radiasi. Bentuk lapangan radiasi ada dua yaitu, simetri dan asimetri. Lapangan simetri terdiri dari kolimator X dan Y yang dibuka dengan jarak  $X/2$  dari sumbu berkas utama begitu pula untuk kolimator Y. Sedangkan untuk lapangan asimetri dibentuk dengan membuka kolimator  $X_1$ ,  $X_2$  dan  $Y_1$ ,  $Y_2$  dengan nilai-nilai yang berbeda. Penggunaan *independent jaw* tergantung pada kasus kanker yang dihadapi (letak kankernya).

Rumah Sakit Pusat Pertamina (RSPP) memiliki *LINAC Siemens Primus 2D Plus* yang menghasilkan radiasi foton/sinar-x dengan berkas 6 MV dan 10 MV serta elektron dengan berbagai energi (Gambar 1.1). Berdasarkan data pasien radioterapi di RSPP, berbagai pasien menjalani radiasi dengan menggunakan lapangan simetri. Adakalanya lapangan asimetri pun digunakan. Lapangan simetri maupun asimetri

digunakan antara lain untuk terapi kanker nasofaring, kanker payudara dan kanker lumbal pelvis<sup>1</sup>. Penggunaan lapangan simetri dan asimetri akan berpengaruh pada profil berkas dan kemungkinan *PDD* (*precentage depth dose*).



**Gambar 1.1** LINAC [2]

### **1.2. Perumusan Masalah**

Kadang kala proses penyinaran radiasi pada kanker akan memberikan efek negatif atau merusak jaringan/organ sehat di sekitar kanker tersebut. Kanker tumbuh di bagian tubuh manusia, jaringan lunak, darah dan tulang. Oleh karena itu salah satu cara melindungi organ/jaringan sehat disekitar kanker yaitu menggunakan *independent jaw*.

Pada penelitian ini mencoba melakukan kajian tentang pengaruh penggunaan lapangan simetri dan asimetri terhadap kurva PDD dan profil berkas. Profil berkas disini hanya untuk daerah tepi lapangan dan daerah tengah lapangan atau kedalaman referensi (Dreff).

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Penulisan tugas akhir ini mempunyai tujuan antara lain membentuk kurva PDD dan profil berkas untuk lapangan simetri dan asimetri dimana kedalaman dan luas lapangan divariasikan. Setelah itu membandingkan PDD hasil pengukuran

---

<sup>1</sup> Komunikasi pribadi dengan staf radioterapi RSPP Dea ryangga (fisika medik) dan Ramli (radiografer), 12 November 2009

dengan TPS sebagai bahan untuk verifikasi TPS. Sedangkan profil dikaji lebih lanjut untuk daerah pinggir lapangan dengan tengah lapangan (Dreff) simetri dan asimetri.

#### 1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk verifikasi TPS khususnya untuk PDD. Untuk data profil berkas agar dapat mengetahui dosis pada tepi lapangan dan dosis pada tengah lapangan atau Dreff akibat perubahan *independent jaw* untuk lapangan simetri dan asimetri. Kurva PDD dan profil berkas membantu mengetahui tindakan apa yang dapat diambil untuk kasus kanker yang PTV nya berada di dekat tepi lapangan. Hal ini dimaksudkan agar pasien menerima dosis yang tepat sehingga organ atau jaringan sehat disekitar kanker dapat terlindungi.

Perlu di informasikan bahwa kurva *PDD* dan profil berkas lapangan simetri sudah tersedia di RSPP untuk berbagai variasi lapangan. Namun untuk lapangan asimetri belum terdapat profilnya. Oleh karena hal tersebut maka penelitian ini dilakukan untuk mengobservasi lebih lanjut dengan membentuk profil berkas lapangan simetri dan asimetri sehingga dapat digunakan sebagai bahan verifikasi oleh radioterapi di RSPP.

#### 1.5. Batasan Penelitian

Penelitian dibatasi pada pembahasan mengenai perubahan dosis *independent jaw* pada lapangan simetri dan asimetri. Perubahan dosis yang dimaksud disini adalah PDD dan profil. Untuk data PDD diambil dengan dua cara yaitu secara TPS dan eksperimen. Hasil dari TPS kemudian dibandingkan dengan hasil eksperimen baik untuk lapangan simetri maupun asimetri. Sedangkan untuk data profil yang diamati hanya pada tahap eksperimen yaitu mulai dari tepi lapangan sampai dengan Dreff atau tengah lapangan. Kemudian hasilnya dibandingkan antara lapangan simetri dengan asimetri. Metode komparasi lapangan asimetri dengan simetri akan menghasilkan kepastian efektivitas perlakuan radiasi terhadap kanker. Variasi ukuran



lapangan yang digunakan adalah 16x16 cm dan 20x20 cm baik untuk PDD maupun profil.

### **1.6. Metode Penelitian**

Metode penelitian dilakukan dengan 2 cara, yaitu TPS (*Treatment Planing System*) serta eksperimen.

### **1.7. Sistematika Penulisan**

Tesis ini dibagi menjadi 5 bab, secara keseluruhan Tesis ini berusaha membahas :

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat dari penelitian, metode penelitian dan sistematika penulisan tesis.

#### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Bab ini berisi landasan teori sebagai hasil studi literatur yang berhubungan dengan penelitian. Teori yang di bahas berawal dari penemuan LINAC kemudian diteruskan pada penggunaan LINAC dalam Radioterapi. Teori selanjutnya mengenai lapangan simteri dan asimteri yang digunakan dalam penelitian serta PDD dan profil berkas sebagai data yang akan di ambil.

#### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Bab ini berisi tentang peralatan yang digunakan dan metode penelitian yang dilakukan selama proses pengambilan data.

#### **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini memuat hasil data–data yang diperoleh dari hasil penelitian dan pembahasan terhadap hasil yang diperoleh tersebut.

#### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini menyimpulkan hubungan antara kedalaman dengan persentase dosis dalam lapangan simetri dan asimetri. Serta menyampaikan saran mengenai lapangan asimteri dalam praktek klinis yang berasal dari hasil dari Bab 4.

## BAB 2

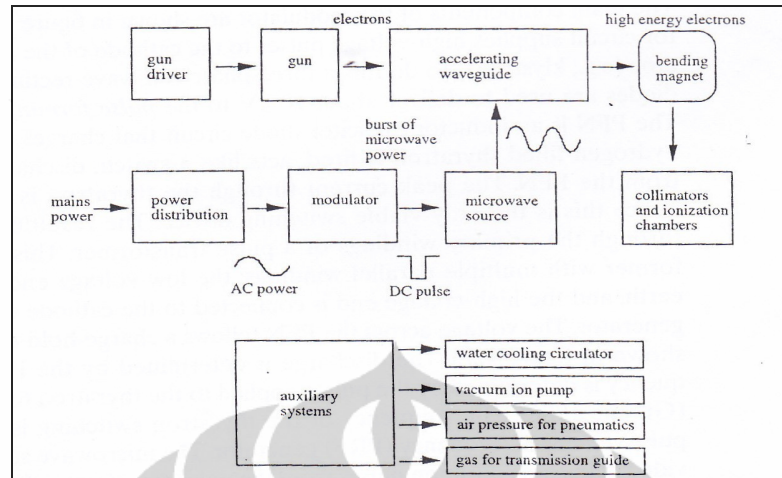
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pesawat *Linear Accelerator* (LINAC)

Pada tahun 1951 Cobalt-60 dengan energi 1.17 dan 1.33 MeV pertama kali digunakan sebagai sumber radiasi untuk terapi radiasi. Kemudian pada tahun 1952, sesuai dengan kemajuan instrumentasi penyinaran, pesawat *Linear Accelerator* (LINAC) berhasil dirancang untuk terapi radiasi [3]. LINAC dapat menghasilkan berkas sinar-X kualitas tinggi (Mega-Volt). Dengan sinar-X kualitas tinggi optimasi dosis pada terapi kanker dapat dicapai karena radiasi pengion energi tinggi bisa memberikan dosis radiasi yang besar untuk didistribusikan ke jaringan kanker dan menurunkan efek negatif terhadap jaringan normal. Untuk mencapai tujuan radioterapi itulah pesawat LINAC semakin banyak digunakan dalam radioterapi. Berikut adalah beberapa keunggulan LINAC dibandingkan dengan cobalt-60 [1]:

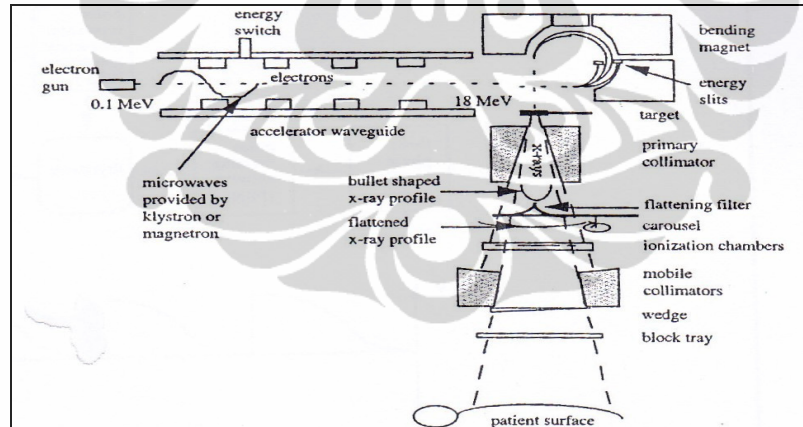
1. Modern LINAC dapat menghasilkan 2 jenis energi foton dan 5 jenis energi electron.
2. Laju dosis sekitar 1-10 Gy per menit lebih tinggi dari mesin-mesin isotop lainnya. Oleh karena itu LINAC mempunyai waktu terapi lebih singkat.
3. Dikarenakan LINAC mempunyai sinar dengan diameter sekitar 2 mm maka LINAC menghasilkan dosis lebih tajam pada daerah pinggir lapangan dibandingkan dengan cobalt-60.

Komponen penting penunjang LINAC antara lain adalah sistem pendingin, temperatur untuk komponen LINAC, misalnya untuk *bending magnet*. Sistem pompa vakum ion untuk menghasiklan vakum untuk pemercepat elektron, sistem pengatur tekanan udara dan sistem gas. Skema singkat dari LINAC dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 skema kerja LINAC [1]

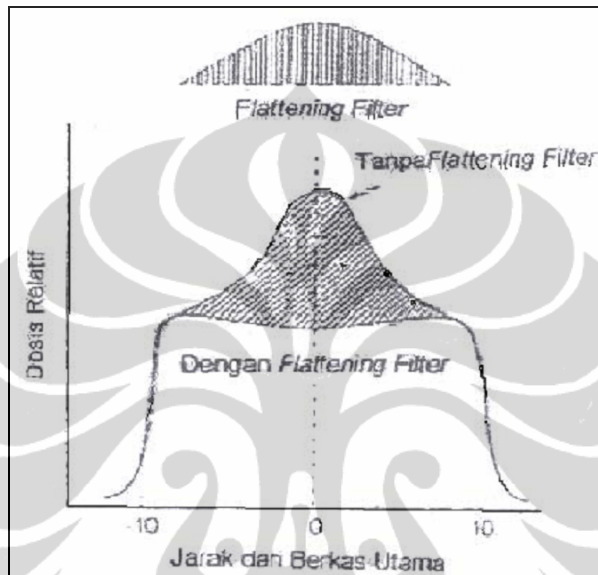
Sinar-X pada LINAC dihasilkan jika elektron berkecepatan tinggi dilewatkan pada target seperti yang dapat dilihat dalam Gambar 2.2. Pada target yang terbuat dari logam berat tipis ini terjadi interaksi *Bremstrahlung*.



Gambar 2.2 Proses LINAC menghasilkan sumber energi [1]

Hasil pembangkitan sinar-X mempunyai intensitas berkas yang tinggi menuju sumbu target. Untuk mencapai kerataan (*flatness*), dipasanglah sebuah *flattening filter* yang terbuat dari baja anti karat. Gambar 2.3 memperlihatkan perbedaan berkas sinar-X yang melalui *flattening filter* dan yang tidak. Dengan

adanya *flattening filter*, dosis relatif pada daerah sekitar sumbu utama menjadi lebih rendah dibanding daerah pinggir profil berkas sinar-X.

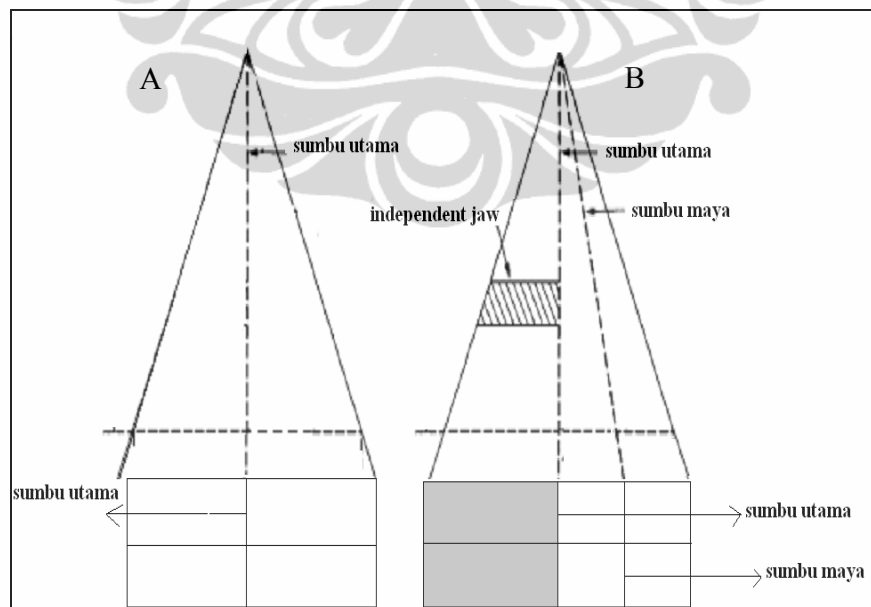


**Gambar 2.3** Profil berkas yang melalui flattening filter dan yang tidak

## 2.2 Lapangan Simetri dan Asimetri

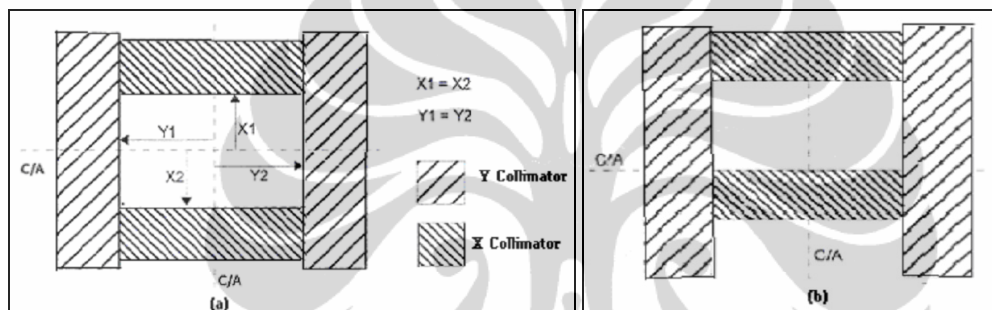
Salah satu cara melindungi organ-organ/jaringan sehat sekitar sel kanker adalah dengan menggunakan kolimator sekunder atau yang biasa disebut dengan *independent jaw* untuk mengatur bentuk lapangan radiasi. Kolimator sekunder atau *independent jaw* digunakan untuk membentuk lapangan penyinaran baik untuk lapangan simetri maupun asimetri. Kolimator sekunder terdiri dari dua pasang daun kolimator dimana salah satu pasangan daun kolimator ini berada di bawah pasangan yang lain. Kolimator ini terbuat dari blok timbal (Pb) dengan ketebalan sekitar 8 cm yang digunakan untuk mengatenuasi radiasi diluar lapangan penyinaran yang diinginkan. Pasangan kolimator yang lebih dekat dengan target disebut kolimator atas (*upper collimators*) dimana sebagai pengatur lapangan arah Y, sedangkan

pasangan kolimator yang lebih dekat ke permukaan pasien disebut dengan kolimator bawah (*lower collimators*) dimana digunakan untuk mengatur lapangan arah X. Munculnya teknologi *independent jaw* ini memecahkan persoalan yang berhubungan dengan penggunaan blok tambahan untuk membentuk lapangan asimetris sehingga perencanaan penyinaran radioterapi menjadi lebih efisien. Penggunaan teknologi baru ini penting untuk mengatasi kelemahan lapangan asimetri, dimana tidak mudah menggunakan blok tambahan dalam jumlah banyak. Biasanya lapangan simetris dinyatakan sebagai ( X x Y ) cm<sup>2</sup>, yang menunjukkan setiap daun kolimator X diatur membuka dengan jarak X/2 dari sumbu utama berkas, demikian pula bukaan yang sama untuk kolimator Y. Perbedaan titik pengukuran antara lapangan simetri dengan lapangan asimetri yaitu, pada lapangan simetri titik pengukuran pada sumbu utama. Sedangkan untuk lapangan asimetri titik pengukuran terletak diluar sumbu utama (*off-axis*), yaitu pada titik tengah lapangan yang baru atau lapangan asimetri. Diagram yang menunjukkan berkas radiasi untuk lapangan simetri dan asimetri ditunjukkan dalam Gambar 2.4.



**Gambar 2.4** Lapangan berdasarkan datangnya arah berkas sinar (a) lapangan simetri, (b) lapangan asimetri [5]

Lapangan simetri terdiri dari kolimator X dan Y yang dibuka dengan jarak  $X/2$  dari sumbu berkas utama begitu pula untuk kolimator Y ( $X_1=X_2=Y_1=Y_2$ ). Sedangkan untuk lapangan asimetri dibentuk dengan membuka kolimator  $X_1$ ,  $X_2$  dan  $Y_1$ ,  $Y_2$  dengan nilai-nilai yang berbeda. Gambar lapangan simetri (a) dan asimetri (b) yang dibentuk oleh independent jaw dapat dilihat pada gambar 2.5 [5].



Gambar 2.5 (a) lapangan simetri, (b) lapangan asimetri [5]

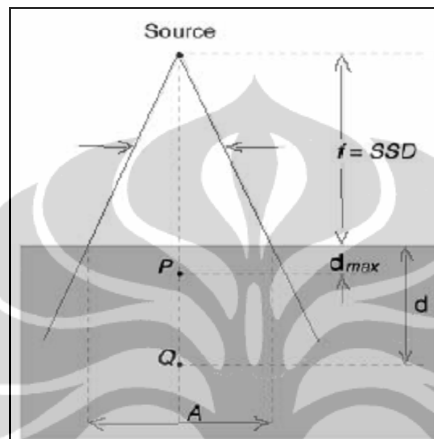
### 2.3 Persentase Dosis Kedalaman (PDD)

Foton/sinar-x digunakan untuk penyinaran tumor atau kanker yang terletak lebih dalam [1]. Khan [6] menjelaskan bahwa distribusi dosis radiasi pada sumbu utama pasien atau fantom dikenal dengan istilah PDD (*percentage depth dose*) atau presentase dosis serap pada kedalaman  $d$ . Persentase dosis kedalaman dapat didefinisikan secara matematis sebagai berikut [2]:

$$PDD(d, A, f, hv) = 100 \frac{D_Q}{D_P} \quad (2.1)$$

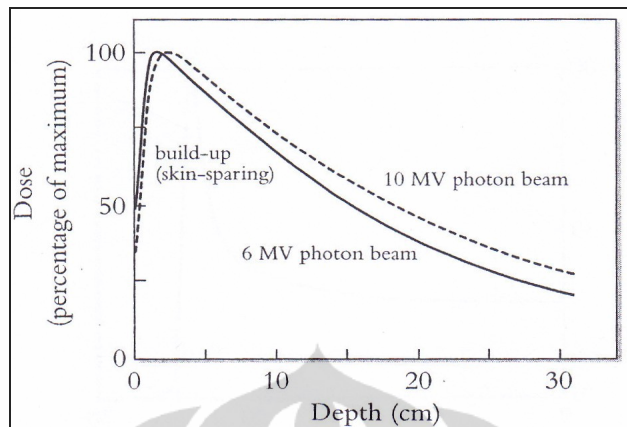
dengan  $D_Q$  adalah dosis serap kedalaman  $Q$ ,  $D_P$  adalah dosis serap pada titik  $P$  pada  $D_{max}$ . Titik  $Q$  merupakan titik sembarang pada kedalaman  $d$  di sumbu utama, titik  $P$  merepresentasikan titik dosis referensi di  $d = D_{max}$  pada sumbu utama. PDD bergantung pada 4 parameter, yaitu kedalaman di dalam fantom  $d$ , luas

lapangan  $A$ , jarak antara sumber dan permukaan  $f$  dan kualitas berkas sinar-X  $h\nu$ . Dalam praktek klinik, puncak penyerapan dosis pada sumbu pusat disebut dengan dosis maksimum ( $D_{max}$ ). Geometri untuk pendefinisian PDD dapat dilihat pada gambar 2.6.



**Gambar 2.6** Geometri PDD [2]

Nilai dosis maksimum untuk foton MV tidak berada pada permukaan kulit, tetapi berada pada kedalaman tertentu, dikenal dengan dosis kedalaman maksimum,  $D_{max}$ . Harga  $D_{max}$  tergantung pada ukuran lapangan radiasi dan energi foton primer. Daerah antara permukaan sampai dengan kedalaman maksimum dikenal sebagai daerah *build-up*. Untuk sinar X 6 MV, dosis maksimum terjadi pada kedalaman 1,5 cm, sedangkan untuk sinar X 10 MV dosis maksimum terjadi pada kedalaman 2,5 cm. Jika energi foton meningkat akan menaikkan kedalaman maksimum dan menurunkan dosis permukaan. Tampilan kurva PDD untuk 6 dan 10 MV dapat dilihat pada Gambar 2.7 di bawah ini [3]. Dosis radiasi terdiri dari dosis primer dan hambur. Dosis radiasi tersebut dipengaruhi oleh energi radiasi,  $SSD$  (*Source to Surface Distance*), ukuran lapangan, penumbra, umbra, ukuran sumber, *flattening filter*, *independent jaw*/blok pembentuk lapangan, kolimator.  $SSD$  pada  $PDD$  dibuat tetap, yaitu 100 cm.



**Gambar 2.7** Kurva PDD untuk 6 dan 10 MV [3]

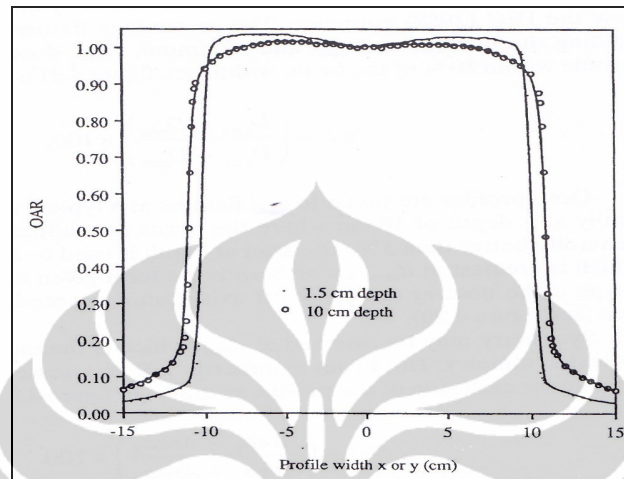
Nilai *PDD* ditentukan dengan pengukuran menggunakan fantom air, di mana berkas radiasi jatuh tegak lurus dipermukaan, diukur pada sumbu utama berkas. Tubuh manusia dimodelkan dalam bentuk jaringan semu yang dikenal dengan istilah Phantom [28]. Penggunaan fantom air berdasarkan fakta anatomi tubuh yang memiliki jaringan lunak seperti otot atau jaringan tubuh manusia lainnya dan kandungan air dalam tubuh manusia sebanyak 80% [6]. Selain fantom air dapat pula menggunakan phantom perspex (akrilik).

#### 2.4 Profil Berkas Sinar-X

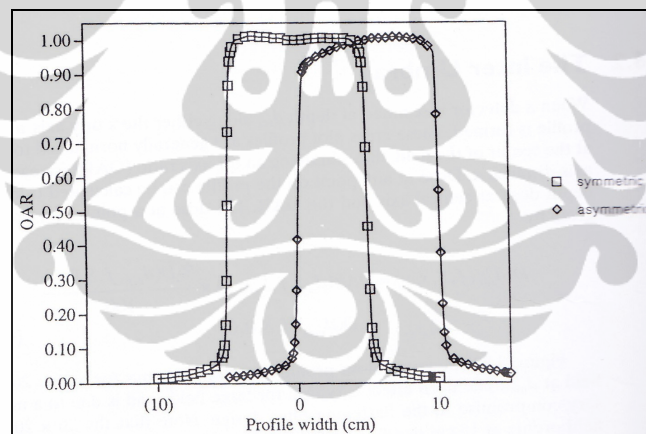
Profil berkas radiasi merupakan intensitas relatif pada bidang tegak lurus sumbu utama berkas di suatu kedalaman pada fantom. Profil berkas sinar-X megavolt ( MV ) terdiri dari tiga daerah, yaitu daerah pusat (central region), umbra dan penumbra. Daerah pusat menggambarkan bagian pusat dari profil berkas radiasi yang memanjang dari berkas sumbu utama menuju 1 – 1,5 cm dari tepi lapangan. Daerah umbra merupakan daerah yang tidak dipengaruhi oleh kolimator. Daerah penumbra merupakan daerah yang dipengaruhi oleh kolimator. Dalam pesawat LINAC, daerah pusat dari profil berkas sinar-X ditimbulkan oleh energi. Profil berkas radiasi dipengaruhi oleh luas lapangan serta kedalaman [1]. Gambar 2.8 memperlihatkan



bentuk kurva profil sepanjang sumbu x dan y. Gambar 2.9 memperlihatkan bentuk kurva profil untuk lapangan simetri dan asimetri.



**Gambar 2.8** Kurva profil sepanjang sumbu x dan y [1]



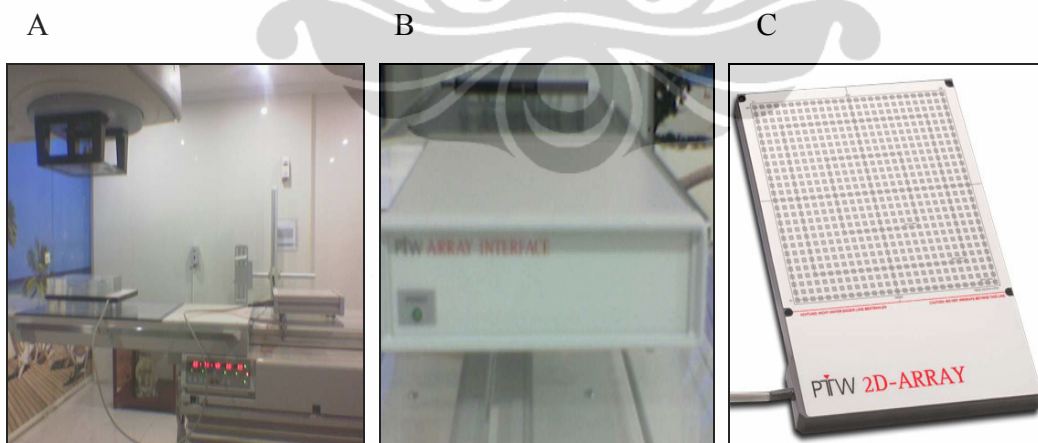
**Gambar 2.9** Kurva profil untuk lapangan simetri dan asimetri [1]

## BAB 3 METODE PENELITIAN

### 3.1 Peralatan

Penelitian dilakukan di Rumah Sakit Pusat Pertamina (RSPP) dengan menggunakan pesawat *Linear Accelerator* (LINAC) Siemens PRIMUS 2D Plus. Alat ini pertama kali beroperasi di RSPP pada tahun 2007. Pesawat ini dilengkapi sistem komputer sehingga pengaturan alat baik untuk mengatur bukaan kolimator maupun luas lapangan dapat dilakukan dari dalam maupun luar ruangan melalui kontrol panel.

Pengukuran data PDD dan profil menggunakan alat PTW 2D-ARRAY seven29 dan ARRAY INTERFACE, fantom prespek (akrilik), program komputer PTW *matrixscan* dan *multicheck*. Detektor yang digunakan oleh alat PTW 2D-ARRAY seven29 berupa ionisasi chamber berjumlah 729 masing-masing berukuran 5 mm x 5 mm x 5 mm diletakan pada jarak 1 cm antara satu detektor dengan yang lainnya (gambar 3.1). Ukuran lapangan yang dapat dijangkau oleh alat ini mulai dari 2 cm x 2 cm sampai dengan 27 cm x 27 cm<sup>2</sup>.



**Gambar 3.1** A) Pengaturan alat PTW 2D-ARRAY seven29 dengan prespek, B).Array Interface, C). PTW 2D-ARRAY seven29

<sup>2</sup> Manual book alat PTW 2D Array Seven29 dan Array Interface

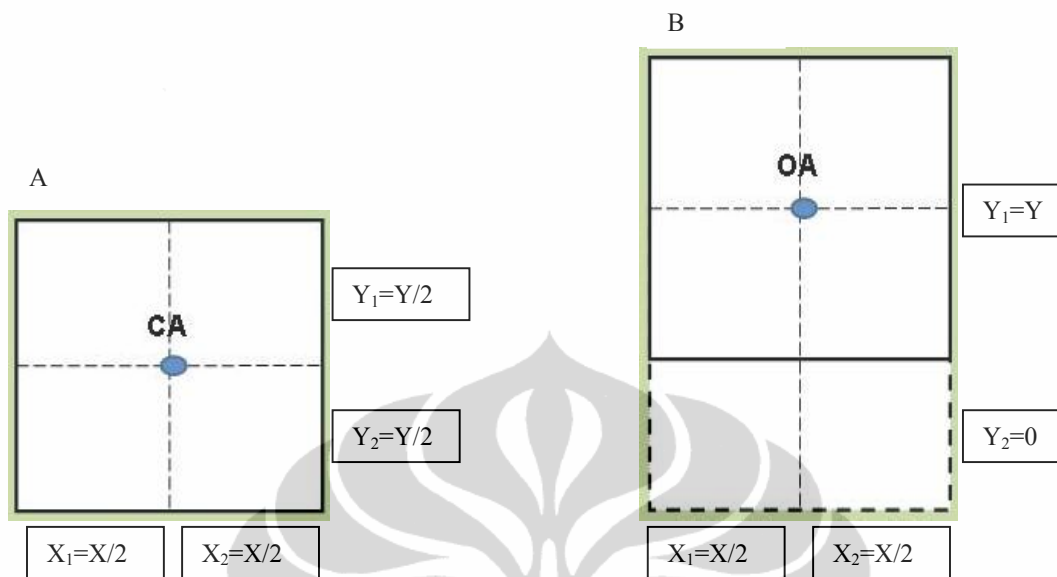
Hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil kalkulasi TPS (*Treatment Planning System*) *pinnacle AQS<sup>3</sup>TM* versi 7,6 C yang menggunakan algoritma konvolusi. Kalkulasi PDD dalam TPS berdasarkan hasil pengukuran saat komisioning. TPS merupakan salah satu komponen penting dalam radioterapi [7-12].

### 3.2 Metode

Penelitian terdiri dari metode eksperimen dan kalkulasi dengan *treatment planning system* (TPS). Pada tahap pertama dilakukan pengambilan data dengan menggunakan PTW 2D-ARRAY dan fantom prespek (akrilik) dengan ketebalan 0.5 cm, 1.0 cm dan 1.8 cm. Dengan menggunakan PTW 2D Array dapat diukur PDD dan profil berkas. Kondisi untuk pengukuran PDD adalah pada kedalaman (0.5, 1.5, 1.8, 3.0, 5.0, 10.0) cm. Sedangkan untuk profil berkas diukur pada kedalaman (1.8, 3.0, 5.0 dan 10.0) cm. Keduanya diukur menggunakan modalitas sinar-x 6 MV dengan kondisi lapangan 16 cm x 16 cm dan 20 cm x 20 cm serta SSD 100 cm. Selain lapangan simetri dilakukan pula untuk lapangan asimetri dengan ukuran lapangan yang sama. Pengambilan data untuk lapangan simetri sebagai pembanding dari lapangan asimetri.

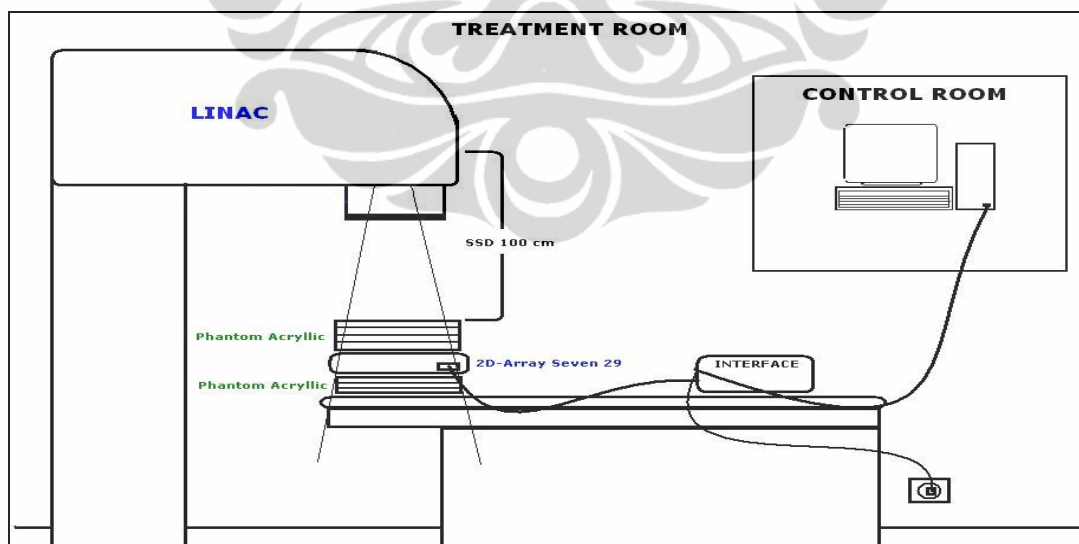
Kalkulasi TPS menggunakan kondisi yang sama untuk eksperimen. Kemudian hasil pengukuran PDD dibandingkan dengan kalkulasi TPS, sebagai bahan verifikasi TPS. Tujuan verifikasi TPS adalah untuk mengetahui standar dalam kalkulasi dosis [13-17]. Pengukuran profil berkas difokuskan untuk mengetahui perubahan distribusi dosis pada lapangan simetri maupun asimetri. Selanjutnya profil pada kedua lapangan dievaluasi untuk dikaji perbedaan antara TPS dengan eksperimen.

Dibawah ini adalah gambaran lapangan simetri dan asimetri yang digunakan di dalam penelitian. Dimana CA adalah *central axis* (sumbu utama), OA adalah *off axis* (diluar sumbu utama), X dan Y adalah bukaan dari *independent jaw* yang mengatur luasan lapangan



**Gambar 3.2** A). Lapangan simetri, B).Lapangan asimetri

Secara keseluruhan skema pengaturan alat dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



**Gambar 3.3** Skema pengaturan alat

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mempelajari karakter dosimetri berkas lapangan asimetri terlebih dahulu dipelajari lapangan simetri. Dalam penelitian ini telah diukur parameter berkas antara lain PDD dan distribusi dosis pada berbagai kedalaman untuk lapangan simetri dan asimetri 16 cm x 16 cm dan 20 cm x 20 cm. Pengukuran diberikan pada prespek dan detektor PTW 2D Array dimana hasil pengukurannya dapat dilihat langsung pada komputer. Selanjutnya hasil pengukuran dibandingkan dengan kalkulasi parameter yang sama oleh TPS.

#### 4.1 Lapangan Simetri

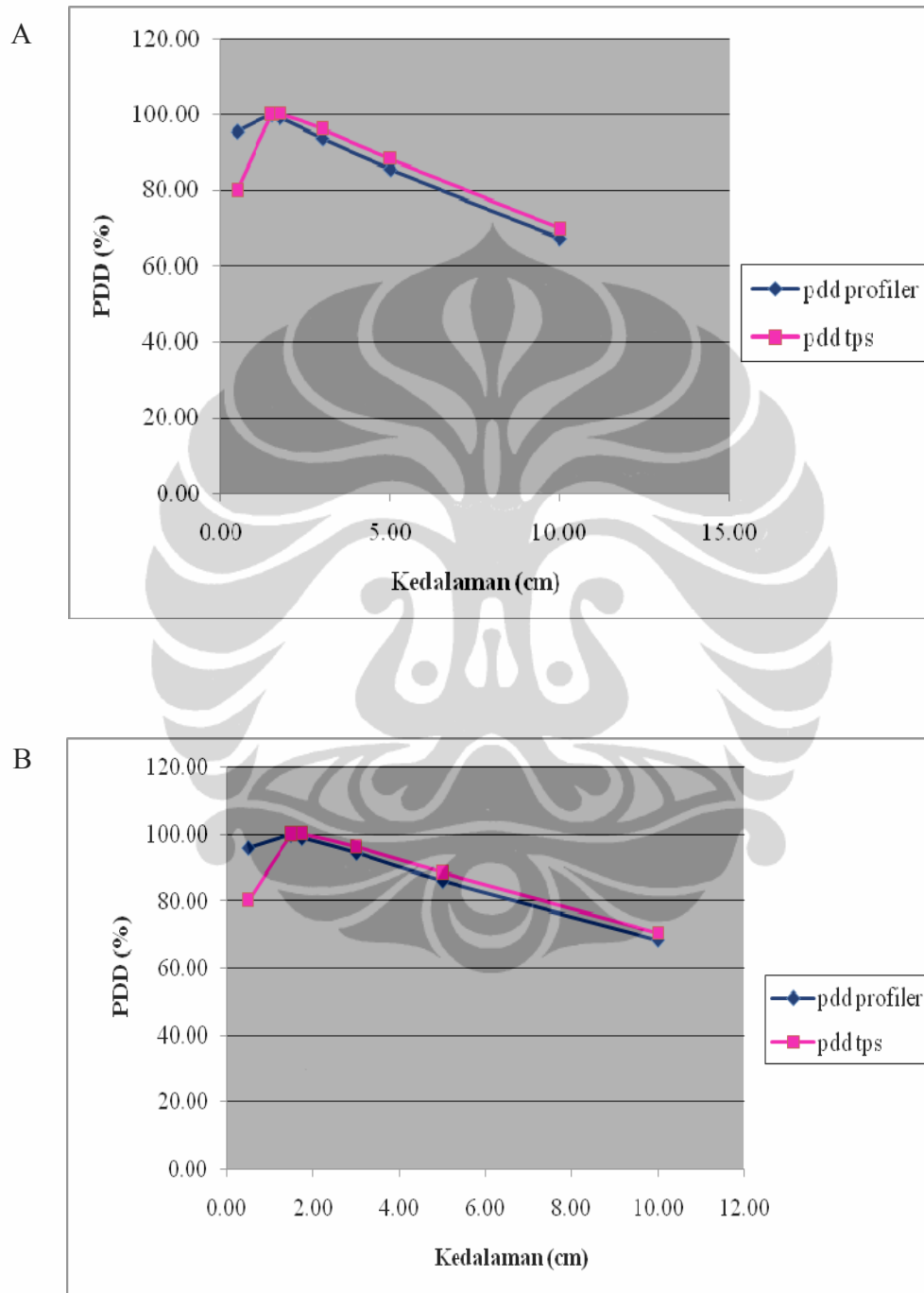
Pengukuran PDD dilakukan pada 6 titik kedalaman dan luas lapangan 16 cm x 6 cm dan 20 cm x 20 cm. Dalam metode pengukuran fantom yang digunakan adalah prespek (akrilik) sedangkan untuk metode TPS menggunakan fantom air sehingga terjadi perbedaan densitas massa maupun elektron. Untuk rasio densitas massa dengan perspek (akrilik)  $1.19 \text{ gr/cm}^3$  dan densitas elektron  $1.16 \text{ gr/cm}^3$  [18], maka perlu adanya koreksi densitas antara fantom prespek (akrilik) dengan air. Faktor koreksi densitas ini digunakan untuk mengubah data eksperimen sehingga antara eksperimen/pengukuran dengan TPS berada dalam kondisi phantom yang sama. Koreksi densitas antara keduanya menggunakan rumus :

$$\text{faktor koreksi densitas} = \frac{S_w \text{ air}}{S_w \text{ akrilik}} \times \text{data akrilik} \quad (4.1)$$

Dimana  $S_W$  air merupakan nilai *stopping power* dari air yaitu,  $2,010 \text{ Mev cm}^2 / \text{gr}$ ,  $S_W$  akrilik merupakan nilai *stopping power* dari akrilik yaitu,  $1,938 \text{ Mev cm}^2 / \text{gr}$  dan data akrilik merulakan data hasil eksperimen. Hasil koreksi densitas pengukuran maupun TPS ditunjukkan dalam Tabel 4.1. Nilai PDD dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1), dimana nilai  $D_Q$  merupakan nilai-nilai dosis terukur. Sedangkan  $D_P$  atau  $D_{max}$  merupakan nilai pada saat kedalaman maksimum yaitu pada kedalaman 1.50 cm. Untuk lebih jelas data Tabel 4.1 dapat digambarkan dalam bentuk grafik (Gambar 4.1).

**Tabel 4.1** PDD hasil pengukuran dan TPS untuk lapangan simetri 16 cm x16 cm dan 20 cm x 20 cm

Lapangan (cm)	Kedalaman (cm)	Dosis(cGy)/PDD(%)	
		Hasil pengukuran	Kalkulasi TPS
16x16	0.50	205.36 ± 0.00 (95.50%)	159.80 (79.82%)
	1.50	215.04 ± 0.60 (100.00%)	200.20 (100.00%)
	1.75	213.31 ± 0.60(99.20%)	200.50 (100.15%)
	3.00	201.55 ± 0.60 (93.73%)	192.60 (96.20%)
	5.00	183.92 ± 0.60 (85.53%)	176.60 (88.21%)
	10.00	144.51 ± 2.40 (67.20%)	139.60 (69.73%)
20x20	0.50	208.47± 1.80 (96.02%)	160.80 (80.32%)
	1.50	217.11± 0.60 (100.00%)	200.20 (100.00%)
	1.75	215.04± 0.60 (99.05%)	200.50 (100.15%)
	3.00	205.01 ± 0.60 (94.43%)	192.70 (96.25%)
	5.00	187.03 ± 0.60 (86.15%)	177.40 (88.61%)
	10.00	148.31 ± 2.74 (68.31%)	141.40 (70.63%)



**Gambar 4.1** Grafik perbandingan PDD hasil pengukuran dengan TPS A) lapangan simetri 16 cm x 16 cm B) lapangan simetri 20 cm x 20 cm

Tabel dan grafik keseluruhan dari hasil pengukuran atau eksperimen untuk lapangan 16 cm x 16 cm dapat dilihat pada lampiran A. Serta untuk gambar grafik secara keseluruhan dari data hasil TPS dapat dilihat pada lampiran B. Gambaran kasar dari TPS dapat dilihat pada lampiran D. Rasio hasil pengukuran dan kalkulasi TPS dapat dilihat pada Tabel 4.2. Rasionya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$Rasio = \frac{PDD\ TPS}{PDD\ PTW\ 2D\ ARRAY} \quad (4.1)$$

**Tabel 4.2** Rasio hasil pengukuran dan kalkulasi TPS

Lapangan (cm <sup>2</sup> )	Kedalaman (cm)	Rasio
16x16	0.50	0.84
	1.50	1.00
	1.75	1.01
	3.00	1.03
	5.00	1.03
	10.00	1.04
20x20	0.50	0.84
	1.50	1.00
	1.75	1.01
	3.00	1.02
	5.00	1.03
	10.00	1.03

Berdasarkan Gambar 4.1 dan Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa perbandingan PDD hasil pengukuran dan kalkulasi TPS sampai dengan kedalaman 10 cm 4% untuk 16 cm x 16 cm dan 3% untuk 20 cm x 20 cm. Rasio sebaliknya terjadi pada daerah *build up*. Hal ini dikarenakan pada daerah *build up* terjadi proses CPE (Charged Particle

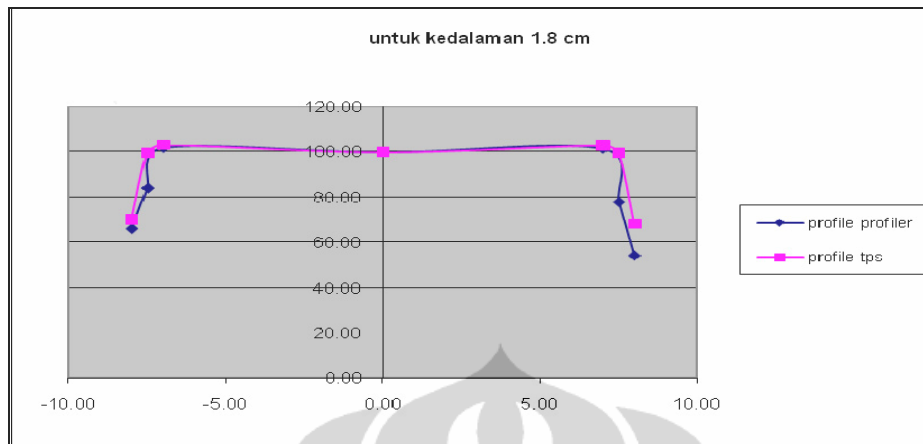


Equilibrium) atau keseimbangan elektronik, serta pada daerah ini foton mengatenuasi tubuh manusia [1-3,6].

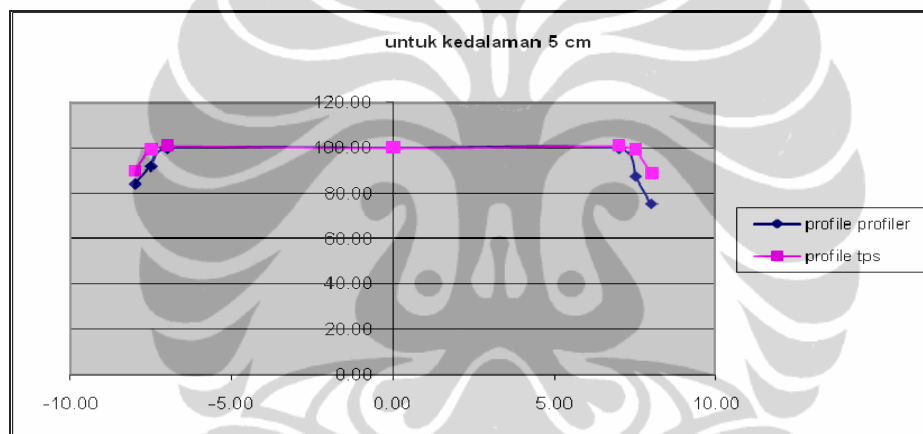
Dari beberapa titik pengukuran dengan PTW 2D Array dan TPS , persentase profil berkas pada kedalaman (1.8, 5.0 dan 10.0) cm dapat diketahui. Tabel untuk persentase dosis profil berkas dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4. Berdasarkan Tabel 4.3 maka dapat digambarkan dalam bentuk profil berkas, seperti terlihat pada Gambar 4.2 - 4.4.

**Tabel 4.3** Persentase Dosis dengan PTW 2D Array dan TPS untuk lapangan 16 cm x 16 cm

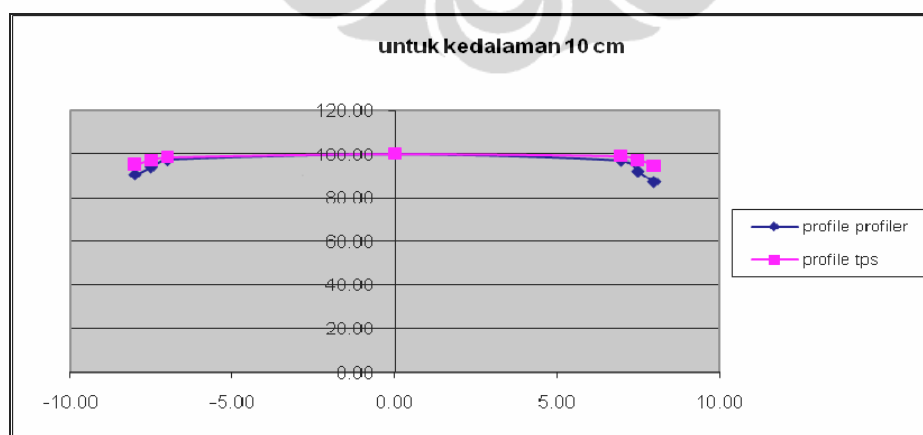
lapangan (cm)	Kedalaman (cm)	Jarak dari pusat pengukuran (cm)	Persentase dosis PTW 2D Array (%)	Persentase dosis TPS (%)
16 x 16	1.80	-8.00	66.19	70.32
		-7.50	84.01	99.60
		-7.00	101.83	103.09
		0.00	100.00	100.00
		7.00	101.49	102.89
		7.50	77.93	99.55
		8.00	54.37	68.63
	5.00	-8.00	83.94	89.86
		-7.50	91.85	99.15
		-7.00	99.76	100.96
		0.00	100.00	100.00
		7.00	99.68	101.08
		7.50	87.38	99.04
		8.00	75.07	88.62
	10.00	-8.00	90.69	94.99
		-7.50	93.97	97.28
		-7.00	97.25	98.50
		0.00	100.00	100.00
		7.00	97.03	98.93
		7.50	92.07	97.21
		8.00	87.10	94.84



**Gambar 4.2** Grafik perbandingan profil berkas 16 cm x 16 cm dengan kedalaman 1.8 cm



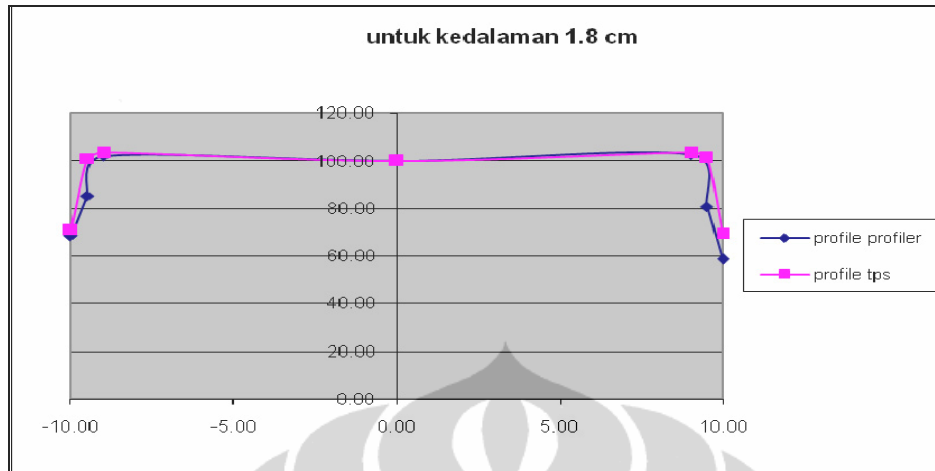
**Gambar 4.3** Grafik perbandingan profil berkas 16 cm x 16 cm dengan kedalaman 5.0 cm



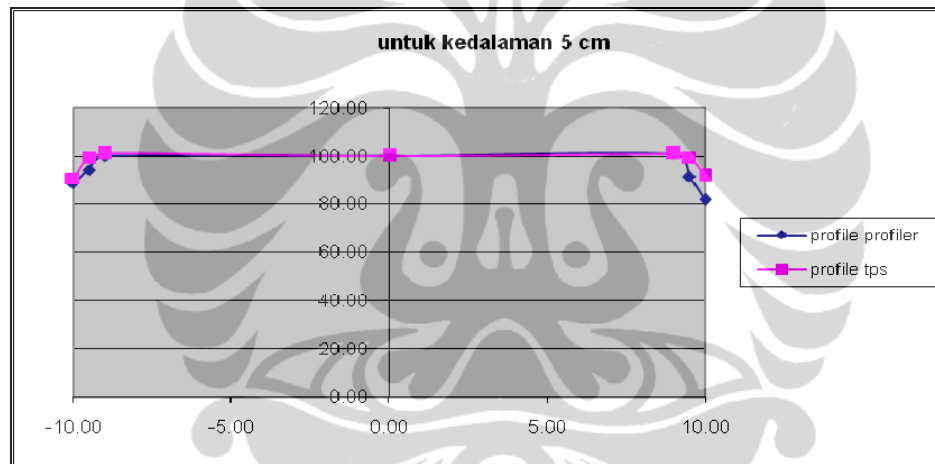
**Gambar 4.4** Grafik perbandingan profil berkas 16 cm x 16 cm dengan kedalaman 10.0 cm

**Tabel 4.4** Persentase Dosis dengan PTW 2D Array dan TPS untuk lapangan 20 cm x20 cm

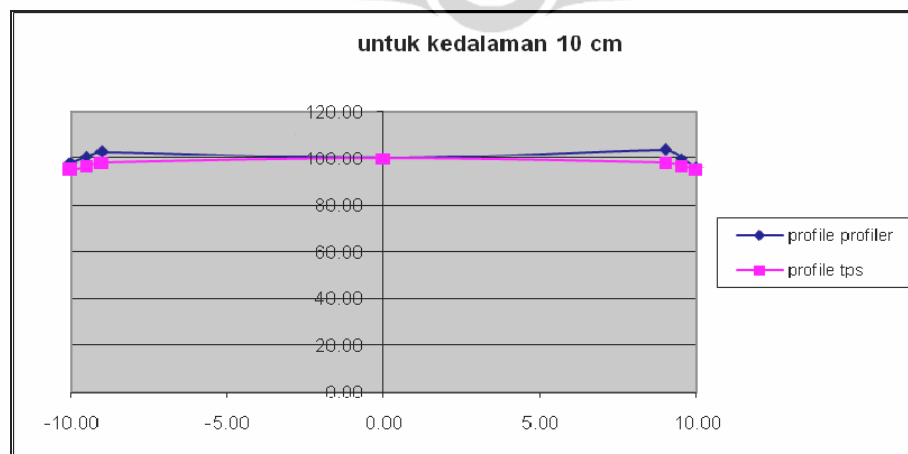
lapangan (cm)	Kedalaman (cm)	Jarak dari pusat pengukuran (cm)	Persentase dosis PTW 2D Array (%)	Persentase dosis TPS (%)
20x20	1.80	-10.00	68.48	71.27
		-9.50	85.20	100.85
		-9.00	101.92	103.39
		0.00	100.00	100.00
		9.00	102.61	103.44
		9.50	80.61	101.10
		10.00	58.61	69.38
	5.00	-10.00	88.54	90.70
		-9.50	94.23	99.38
		-9.00	99.93	100.96
		0.00	100.00	100.00
		9.00	100.83	100.85
		9.50	91.28	99.38
		10.00	81.72	91.77
	10.00	-10.00	98.13	94.98
		-9.50	100.58	96.46
		-9.00	103.04	98.02
		0.00	100.00	100.00
		9.00	103.86	97.95
		9.50	99.93	96.68
		10.00	95.99	95.26



**Gambar 4.5** Grafik perbandingan profil berkas 20 cm x 20 cm dengan kedalaman 1.8 cm



**Gambar 4.6** Grafik perbandingan profil berkas 20 cm x 20 cm dengan kedalaman 5.0 cm



**Gambar 4.7** Grafik perbandingan profil berkas 20 cm x 20 cm dengan kedalaman 10.0 cm

Berdasarkan Tabel persentase dosis dan Gambar grafik untuk lapangan 16 cm x 16 cm dan 20 cm x 20 cm pengukuran PTW 2D Array lebih tidak akurat dibandingkan dengan hasil kalkulasi TPS. Hal tersebut dikarenakan jarak antar chamber 1 cm sedangkan pada TPS secara kontinu dalam medium air, walaupun data asli PTW telah dikonversikan menggunakan rumun faktor koreksi densitas. Namun demikian dapat dilihat hasil PTW lebih tinggi dari pada TPS sesuai dengan pengukuran PDD. Data keseluruhan persentase dosis untuk lapangan simetri 16x16 cm dan 20x20 cm dapat dilihat pada lampiran C.

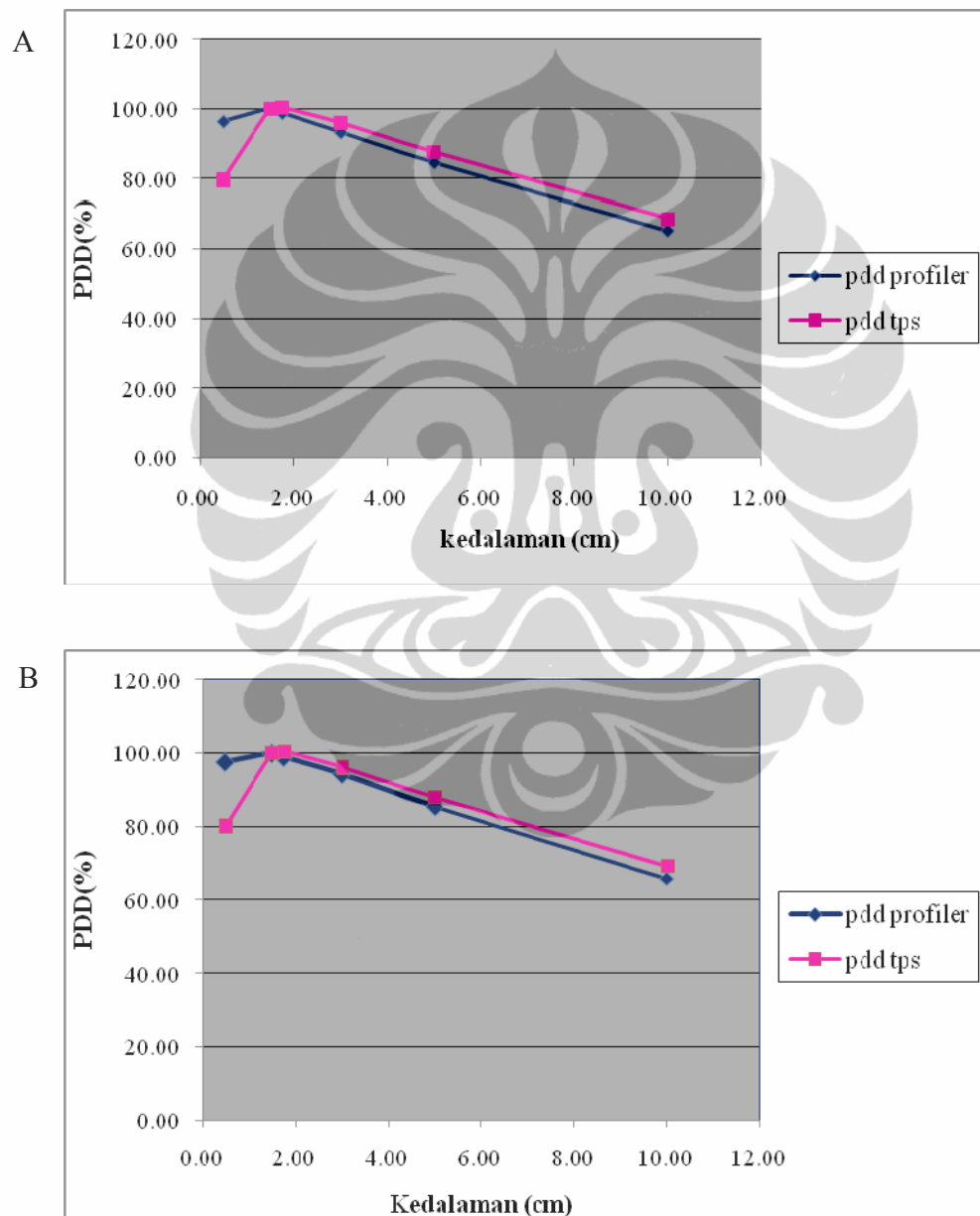
#### **4.2 Lapangan Asimetri**

Seperti pada lapangan simetri, untuk lapangan asimetri dilakukan pengukuran PDD dengan PTW 2D Array dan kalkulasi TPS dengan kondisi parameter yang sama. Berikut adalah Tabel 4.5 yang menunjukkan PDD hasil pengukuran dan TPS untuk lapangan asimetri 16 cm x 16 cm dan 20 cm x 20 cm.

**Tabel 4.5** PDD hasil pengukuran dan TPS untuk lapangan asimetri 16 cm x16 cm dan 20 cm x 20 cm

Lapangan (cm)	Kedalaman (cm)	Dosis(cGy)/PDD(%)	
		Hasil pengukuran	Kalkulasi TPS
16x16	0.50	222.64 ± 0.60 (96.41%)	159.70 (79.77%)
	1.50	230.94 ± 1.20 (100.00%)	200.20 (100.00%)
	1.75	228.17 ± 0.60 (98.80%)	200.70 (100.25%)
	3.00	215.38 ± 0.60 (93.26%)	192.10 (95.95%)
	5.00	195.33 ± 0.60 (84.58%)	175.40 (87.61%)
	10.00	150.39 ± 0.00 (65.12%)	137.60 (68.73%)
20x20	0.50	225.75 ± 0.60 (97.61%)	160.40 (80.16%)
	1.50	231.28 ± 0.00 (100.00%)	200.10 (100.00%)
	1.75	228.86 ± 0.60 (98.95%)	200.80 (100.35%)
	3.00	218.15 ± 1.20 (94.32%)	192.30 (96.10%)
	5.00	197.75 ± 0.60 (85.50%)	176.00 (87.96%)
	10.00	152.46 ± 0.00 (65.92%)	138.70 (69.32%)

Untuk lebih jelas maka berikut di gambarkan dalam bentuk grafik yang diperoleh dari Tabel 4.5 diatas.



**Gambar 4.8** Grafik perbandingan PDD hasil pengukuran dengan TPS A) lapangan asimetri 16 cm x 16 cm B) lapangan asimetri 20 cm x 20 cm

Data keseluruhan dari hasil pengukuran dengan PTW 2D Array dapat dilihat pada lampiran A, baik untuk tabel maupun grafik. Sedangkan untuk data keseluruhan dari TPS dapat dilihat dalam lampiran B. Berdasarkan Tabel 4.5 diatas maka dapat dinyatakan dalam bentuk rasio antara hasil pengukuran dengan hasil TPS, seperti yang terlihat dalam Tabel 4.6. Rasionya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{Rasio} = \frac{PDD \text{ TPS}}{PDD \text{ PTW } 2D \text{ ARRAY}}$$

**Tabel 4.6** Rasio hasil pengukuran dan kalkulasi TPS untuk lapangan asimetri 16 cm x 16 cm dan 20 cm x 20 cm

Lapangan (cm)	Kedalaman (cm)	Rasio
16x16	0.50	0.83
	1.50	1.00
	1.80	1.01
	3.00	1.03
	5.00	1.04
	10.00	1.06
20x20	0.50	0.82
	1.50	1.00
	1.80	1.01
	3.00	1.02
	5.00	1.03
	10.00	1.05



Berdasarkan Gambar 4.8 dan Tabel 4.6 dapat dilihat bahwa perbandingan PDD hasil pengukuran dan kalkulasi TPS sampai dengan kedalaman 10 cm 6% untuk 16 cm x 16 cm dan 5% untuk 20 cm x 20 cm dan menunjukkan perbandingan yang sangat signifikan pada daerah *build-up* (kedalaman 0.5 cm)  $\pm 80\%$ . Hal ini dikarenakan pada daerah *build up* terjadi proses CPE (Charged Particle Equilibrium) atau keseimbangan elektronik, serta pada daerah ini foton mengatenuasi tubuh manusia [1-3,6].

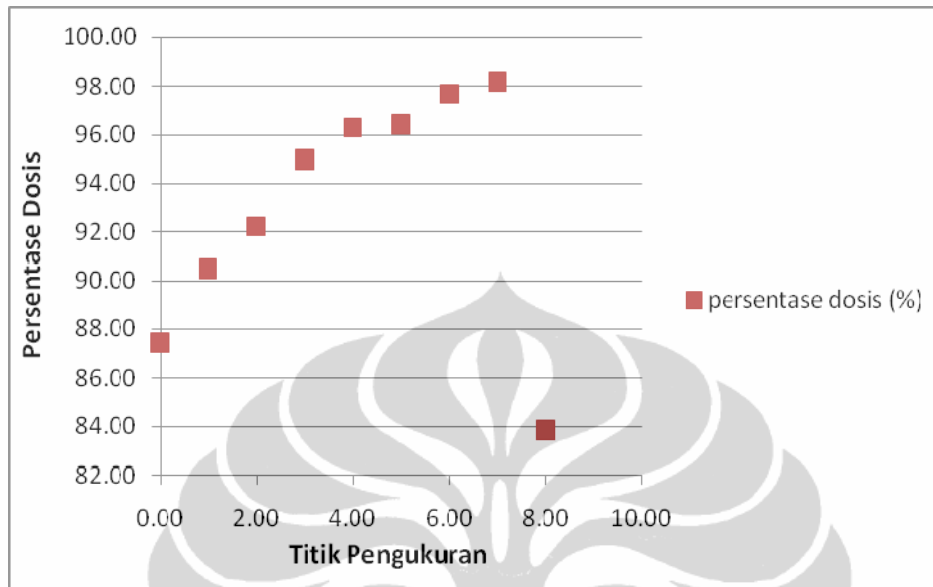
Pengukuran PDD untuk lapangan asimetris dilakukan pada garis sejajar sumbu utama berkas simetris melalui titik tengah lapangan. Sehingga dapat dilihat bahwa perbedaan nilai PDD untuk setiap lapangan asimetris terhadap lapangan simetris sampai sekitar 2 % berkas sinar-X 6 MV.

Secara keseluruhan untuk lapangan simetri dan asimetri pada daerah build up menunjukkan perbedaan perbandingan yang sangat signifikan sekitar  $\pm 80\%$ . Hal tersebut dikarenakan pada daerah build up, foton beratenuasi pada tubuh pasien. Untuk daerah setelah kedalaman maksimum PDD untuk lapangan simetri dan asimetri menunjukkan perbedaan sekitar 3%-6%. Dimana hal ini menunjukkan kecocokan atau kesesuaian dengan referensi, sebagaimana yang diungkapkan oleh Spiridon [19], untuk dosis absolute perbandingan antara TPS dengan eksperimen menunjukkan kecocokan sampai dengan  $\pm 3\%$  untuk semua jenis kasus.

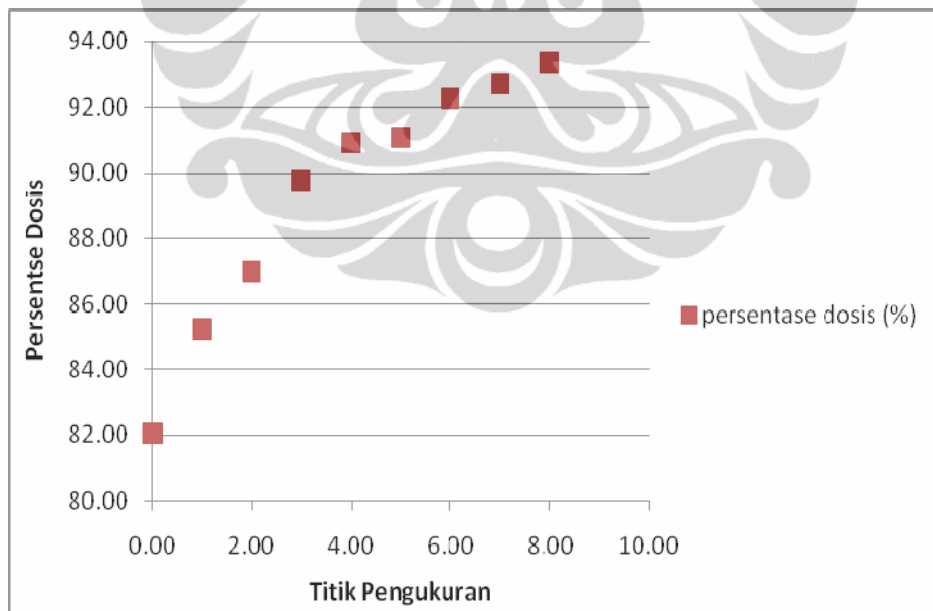
Pada lapangan asimetri yang digunakan dan dikaji hanya data untuk tepi lapangan sampai dengan tengah lapangan atau Dreff. Walaupun data distribusi dosis profil berkas tetap diambil secara keseluruhan, karena dalam satu kali penyinaran semua titik yang termasuk dalam lapangan mendeteksi dosis. Berikut ini adalah tabel untuk data mulai dari tepi lapangan sampai dengan Dreff atau tengah lapangan asimetri 16x16 cm dan 20x20 cm

**Tabel 4.7** Data tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimerti 16x16cm

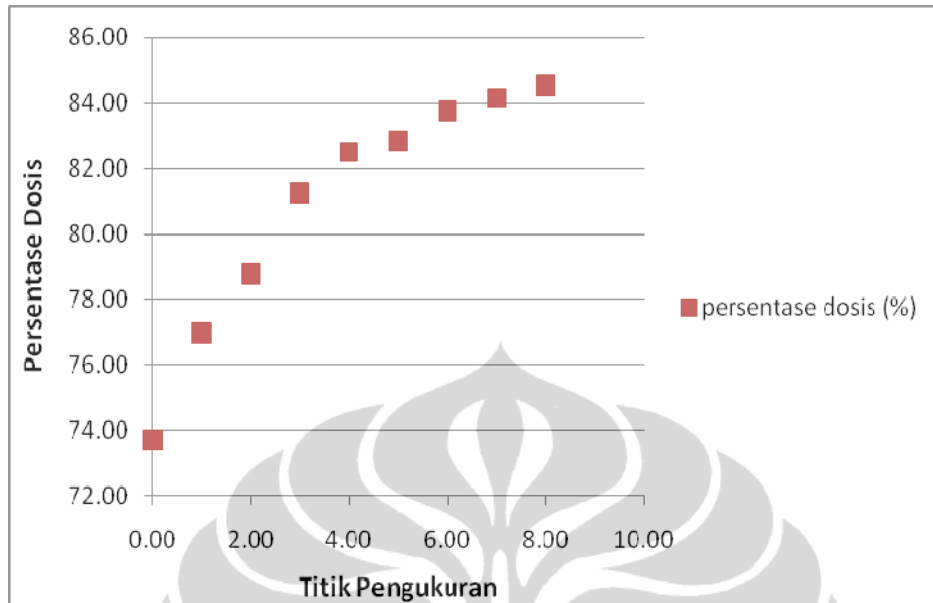
lapangan (cm)	kedalaman (cm)	Jarak titik pengukuran dari pinggir lapangan (cm)	dosis terukur (cGy)	persentase dosis (%)
16 x 16	1.80	0.00	194.67	87.42
		1.00	201.40	90.45
		2.00	205.30	92.20
		3.00	211.40	94.94
		4.00	214.33	96.26
		5.00	214.63	96.39
		6.00	217.43	97.65
		7.00	218.60	98.17
	8.00	186.63	83.82	
	3.00	0.00	182.67	82.03
		1.00	189.77	85.22
		2.00	193.67	86.97
		3.00	199.83	89.74
		4.00	202.47	90.93
		5.00	202.80	91.08
		6.00	205.47	92.27
		7.00	206.43	92.71
	8.00	207.87	93.35	
	5.00	0.00	164.07	73.68
		1.00	171.37	76.96
		2.00	175.37	78.76
		3.00	180.97	81.27
		4.00	183.73	82.51
		5.00	184.47	82.84
		6.00	186.53	83.77
		7.00	187.40	84.16
	8.00	188.27	84.55	
	10.00	0.00	124.00	55.69
		1.00	130.77	58.73
		2.00	134.30	60.31
		3.00	138.93	62.39
		4.00	141.47	63.53
5.00		142.00	63.77	
6.00		143.97	64.65	
7.00		144.47	64.88	
8.00	144.83	65.04		



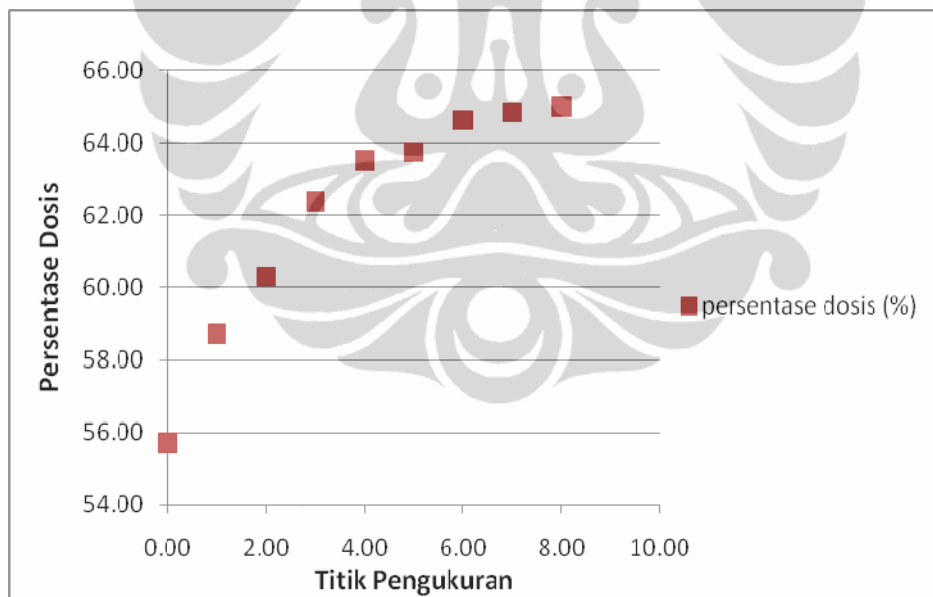
**Gambar 4.9** Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimerti 16x16cm pada kedalaman 1.8 cm



**Gambar 4.10** Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimerti 16x16cm pada kedalaman 3.0 cm



**Gambar 4.11** Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimetri 16x16cm pada kedalaman 5.0 cm



**Gambar 4.12** Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimetri 16x16cm pada kedalaman 10.0 cm

Berdasarkan Tabel 4.7 dan grafik (4.9 - 4.12) maka panjang transisi untuk masing-masing kedalaman berbeda-beda. Pada kedalaman 1.8 cm panjang transisi 1 cm sudah mencapai 90%, untuk kedalaman 3.0 cm mencapai 90% pada titik 3 cm, sedangkan pada kedalaman 5.0 cm dan 10.0 cm sampai dengan 8 cm belum mencapai 90%.

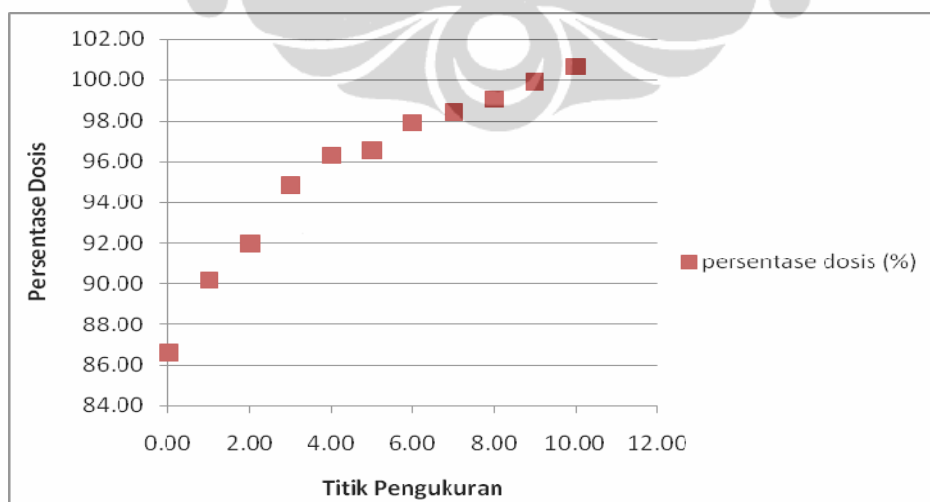
**Tabel 4.8** Data tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimetri 20x20cm

lapangan (cm)	kedalaman (cm)	Jarak titik pengukuran dari pinggir lapangan (cm)	dosis terukur (cGy)	persentase dosis (%)
20x20	1.80	0.00	193.17	86.62
		1.00	201.07	90.16
		2.00	205.13	91.99
		3.00	211.53	94.86
		4.00	214.70	96.28
		5.00	215.27	96.53
		6.00	218.27	97.88
		7.00	219.43	98.40
		8.00	220.87	99.04
		9.00	222.73	99.88
	10.00	224.43	100.64	
	3.00	0.00	184.00	82.51
		1.00	191.20	85.74
		2.00	195.33	87.59
		3.00	201.37	90.30
		4.00	204.43	91.67
		5.00	204.87	91.87
		6.00	207.77	93.17
		7.00	208.93	93.69
		8.00	210.23	94.28
9.00		211.90	95.02	
10.00	213.43	95.71		

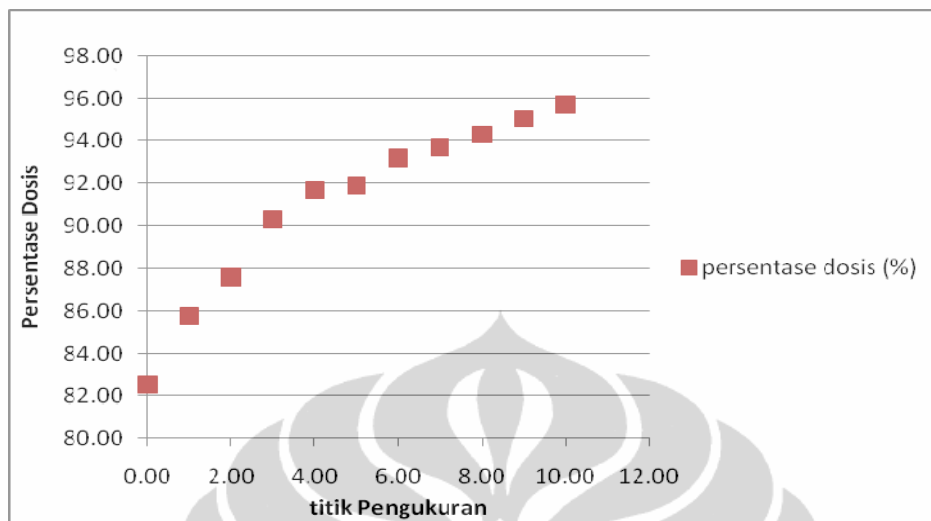
**Tabel 4.7** Data tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimerti 16x16cm (sambungan)

5.00	0.00	165.07	74.02
	1.00	172.50	77.35
	2.00	176.63	79.21
	3.00	182.37	81.78
	4.00	185.37	83.12
	5.00	185.97	83.39
	6.00	188.70	84.62
	7.00	189.60	85.02
	8.00	190.60	85.47
	9.00	192.10	86.14
	10.00	193.30	86.68
10.00	0.00	124.47	55.81
	1.00	131.16	58.82
	2.00	135.13	60.60
	3.00	140.00	62.78
	4.00	142.73	64.01
	5.00	143.50	64.35
	6.00	145.93	65.44
	7.00	146.53	65.71
	8.00	147.13	65.98
	9.00	148.00	66.37
	10.00	148.70	66.68

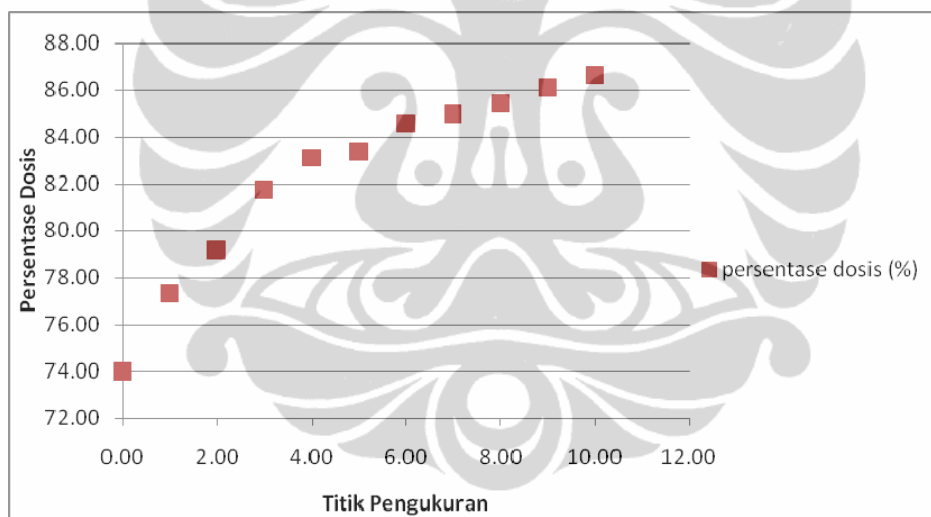
Untuk lebih jelas maka Tabel 4.8 diatas dapat dibuat grafik, seperti yang terlihat pada Gambar grafik dibawah ini.



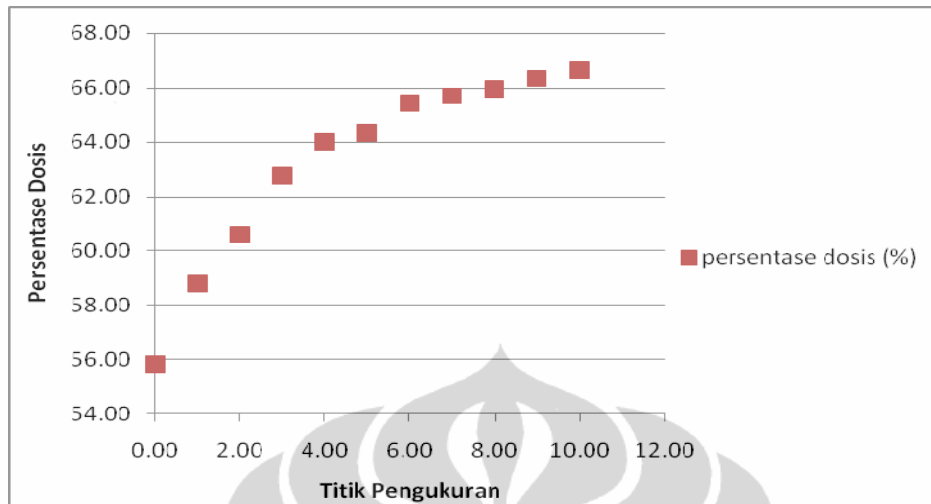
**Gambar 4.13** Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimerti 20x20cm pada kedalaman 1.8 cm



**Gambar 4.14** Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimerti 20x20cm pada kedalaman 3.0 cm



**Gambar 4.15** Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimerti 20x20cm pada kedalaman 5.0 cm



**Gambar 4.16** Grafik tepi lapangan-tengah lapangan (Dreff) PTW 2D-Array untuk lapangan asimetri 20x20cm pada kedalaman 10.0 cm

Berdasarkan Tabel 4.7 dan grafik (4.13 - 4.16) maka panjang transisi untuk masing-masing kedalaman berbeda-beda. Hal serupa terjadi untuk luas lapangan 20 cm x 20 cm dan pada kedalaman yang sama.

Tabel dibawah ini merupakan tabel data dosis untuk tepi lapangan dan Dreff baik untuk lapangan simetri maupun asimetri 16x16 cm dan 20x20 cm. Untuk lapangan simetri 16x16 cm tepi lapangan berada pada titik -8.0 cm dan Dreff pada tengah lapangan atau titik 0.0 cm. Tepi lapangan untuk lapangan simetri 20x20 cm berada pada titik -10.0 cm dan Dreff pada 0.0 cm. Sedangkan tepi lapangan untuk asimetri 16x16 cm berada pada titik 0.0 cm dan Dreff pada titik 8.0 cm, dan 20x20 cm tepi lapangan pada titik 0.0 cm dan dmax pada titik 10.0 cm.

**Tabel 4.9** Data dosis pada tepi lapangan dan Dreff untuk lapangan simetri-asimetri 16x16 cm

Kedalaman(cm)	Simetri (cGy)		Asimetri (cGy)	
	Pinggir lapangan	Dreff	Pinggir lapangan	Dreff
1.80	135.90	205.33	194.67	186.63
3.00	141.80	194.50	182.67	207.87
5.00	148.83	177.30	164.07	188.27
10.00	126.30	139.27	124.00	144.83



Berdasarkan tabel diatas maka dapat dibandingkan antara data tepi lapangan dengan Dreff untuk simetri dan simetri. Persamaan yang digunakan untuk menghitung perbandingannya adalah

$$\text{Perbandingan} = \frac{\text{Dosis pada tepi lapangan}}{D_{\text{Reff}}} \quad (4.1)$$

**Tabel 4.10** Perbandingan dosis antara tepi lapangan dengan Dreff untuk lapangan simetri-asimetri 16x16 cm

Kedalaman (cm)	Simetri (cGy)	Asimetri (cGy)
1.80	0.66	1.04
3.00	0.73	0.88
5.00	0.84	0.87
10.00	0.91	0.86

Berdasarkan data diatas maka dapat diketahui bahwa perbandingan antara data tepi lapangan dengan Dreff untuk simetri naik dengan bertambahnya kedalaman sampai dengan 0.91 pada kedalaman 10 cm. Sedangkan untuk asimetri menurun dengan bertambahnya kedalaman sampai dengan 0.86 pada kedalaman 10 cm.

**Tabel 4.11** Data dosis pada tepi lapangan dan Dreff untuk lapangan simetri-asimetri 20x20 cm

Kedalaman (cm)	Simetri (cGy)		Asimetri (cGy)	
	Pinggir lapangan	Dreff	Pinggir lapangan	Dreff
1.80	142.73	208.43	193.17	224.43
3.00	197.80	202.40	184.00	213.43
5.00	159.67	180.33	165.07	193.30
10.00	131.47	133.97	124.47	148.70

Berdasarkan tabel diatas maka dapat dibandingkan antara data tepi lapangan dengan Dreff untuk simetri dan simetri. Dengan menggunakan persamaan 4.1 maka perbandingan antara tepi lapangan dengan Dreff dapat dihitung.

**Tabel 4.12** Perbandingan dosis antara tepi lapangan dengan Dreff untuk lapangan simetri-asimetri 20x20 cm

Kedalaman (cm)	Simetri (cGy)	Asimetri (cGy)
1.80	0.68	0.86
3.00	0.98	0.86
5.00	0.89	0.85
10.00	0.98	0.84

Berdasarkan data diatas maka dapat diketahui bahwa perbandingan antara data tepi lapangan dengan Dreff untuk simetri naik dengan bertambahnya kedalaman sampai dengan 0.98 pada kedalaman 10 cm. Sedangkan untuk asimetri menurun dengan bertambahnya kedalaman sampai dengan 0.84 pada kedalaman 10 cm.

Pada titik 3 cm dari daerah tepi lapangan mulai meningkat mencapai 90%, oleh karena itu untuk praktek klinik lapangan asimetri ini dapat digunakan untuk PTV yang berjarak 3 cm dari daerah tepi lapangan, karena daerah dibawah 3 cm masih terdapat penumbra. Perlu diberinya margin atau jarak sesuai dengan ICRU no.62 [20]. dalam praktek nyatanya PTV yang berjarak  $\frac{1}{2}$  cm sudah dapat diberi terapi radiasi karena pada jarak  $\frac{1}{2}$  cm sudah mencapai 95% dosis.

## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Perbandingan PDD antara TPS dengan eksperimen untuk lapangan simetri 16x16 cm dan 20x20 cm pada daerah setelah  $d_{max}$  tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan masih dalam jangkauan 0%-4%.
2. Hasil perbandingan PDD antara TPS dengan eksperimen untuk lapangan asimetri 16x16 cm dan 20x20 cm pada daerah setelah  $d_{max}$  menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan masih dalam jangkauan 0%-6%.
3. Menurunnya nilai PDD sebanding dengan bertambahnya kedalaman.
4. Perbandingan antara data tepi lapangan untuk lapangan 16 cm x 16 cm dengan Dreff untuk simetri naik dengan bertambahnya kedalaman sampai dengan 0.91 pada kedalaman 10 cm. Sedangkan untuk asimetri menurun dengan bertambahnya kedalaman sampai dengan 0.86 pada kedalaman 10 cm.
5. Perbandingan antara data tepi lapangan untuk lapangan 20 cm x 20 cm dengan Dreff untuk simetri naik dengan bertambahnya kedalaman sampai dengan 0.98 pada kedalaman 10 cm. Sedangkan untuk asimetri menurun dengan bertambahnya kedalaman sampai dengan 0.84 pada kedalaman 10 cm.
6. Pada titik 3 cm dari daerah tepi lapangan mulai meningkat mencapai 90%, dan panjang transisi ini dipengaruhi dengan bertambahnya kedalaman.

## 5.2. Saran/Rekomendasi

Pada lapangan asimetri panjang transisi mencapai 90% pada titik 3 cm, oleh karena itu disarankan untuk PTV yang dekat dengan tepi tidak menggunakan lapangan asimetri *halfbeam blocked*.

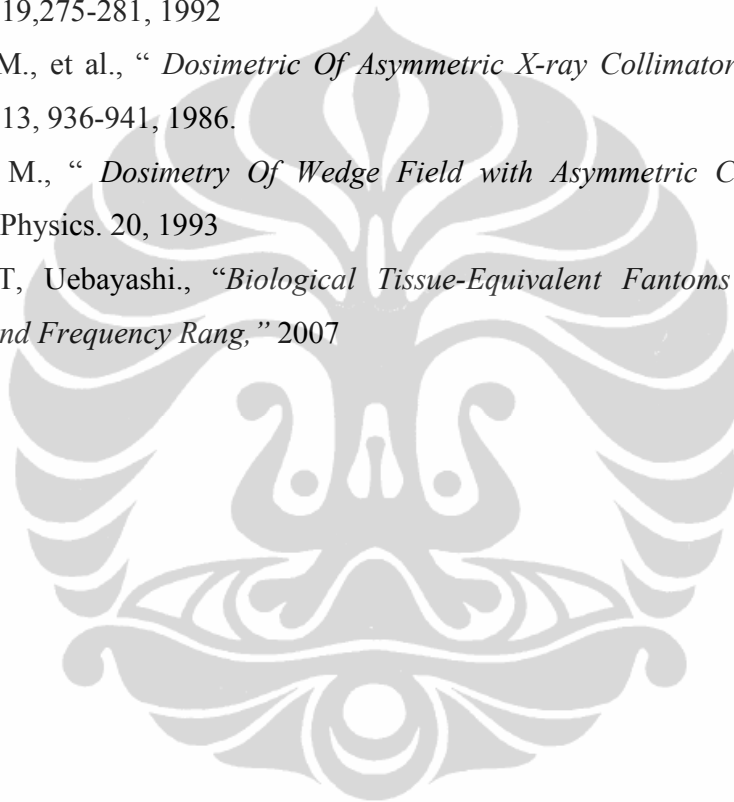


## DAFTAR REFERENSI

- [1]. Metcalf P., Kron T., et al., "*The Physics of Radiotherapy X-ray and Elektrons,*" Madison., Medical Physics Publishing, 2007
- [2]. Podgorsak E.B., "*Radiation Oncology Physics: hand Book For Teacher and Student,*" Austria., IAEA, 2005
- [3]. Wolbarst, A. B., et al., "*Advance In Medical Physics 2006,*" Medical Physics Publishing, 2006.
- [4]. Shahaby S., Blackburn's., "*Introducing to Clinical Radiation Therapy Physics*", Medphys Corp, 1989.
- [5]. W. Kwa, R.O., et al., "*Dosimetry For Asymmetrical X-Ray Field,*" Medical Physics. 21, 1599-1604, 1994
- [6]. Khan, F. M., "*The Physics of Radiation Therapy,*" Lippincott Williams &Wilkins, Baltimore, 1994.
- [7]. J.C Rosenwald and J. Drouard, "*Quality Assurance of 3D Treatment Planning System,*" EAR Workshop on 3D Treatment Planning WHO Gennewa. PP.19-21, 1992.
- [8]. J.C Rosenwald, "*Quality Control of 3D Treatment Planning System used for Conformal Radiotherapy,*" Medizinische Physik 95 Wurzburg, DGMP. PP.168-169,1995.
- [9]. B. Franciss, K. Doppke, M. Hunt, G. Kutcher, G. Starkshall, R. Stern and J. Van Dyne," *QA for Clinical radiotherapy Treatment Planning : Report of AAPM radiotherapy Comitee Task Group 53.*" Med. Phy.25, 1173-1829, 1998
- [10]. J.E. Shaw." *A Guide to Commissioning and QC of TPS,*" The Institution of Physics and Engineering in medical And Biology, Report No.68, 1995
- [11]. G.Kutcher et al., "*Comprehensive QA For Radiation Oncology: report Of AAPM Radiotherapy Committee task group 40.*" Med.Phy. 21, 581-618, 1994

- [12]. ICRU : ICRU Report 42," *used of Computer in External Beam radiotherapy Procedure With high Energy Photon and Electron,*" Bethesda and Maryland, International Committee on Radiation unit and measurement, 1987.
- [13]. J.van dyk, P. Barnett et al," *Commissioning and QA of TPS,*" Int. J. Radiat.Oncol., Biol., Phys, 261-273, 1993.
- [14]. E.C. McCullough and A.M Krueger," *Performance Evaluation of Computerized TPS For Radiotherapy : External Photon beams,*" Int. J. Radiat.Oncol., Biol., Phys 6, 1599-1601, 1980.
- [15]. M.E. Masterson, G. Barnest et al," *Interinstitutional Experience In Verification Of External Photon Dose Calculation,*" Int. J. Radiat.Oncol., Biol., Phys 21, 37-58, 1991.
- [16]. C. Westerman, B. Mijnheer and H.Van kleffent ," *Determination Of accuracy of Different Computer Planning System For Treatment With External Photon,*" Radiather. Oncol 1. 339-347, 1984.
- [17]. A. Konsuen, H. Jarvinen et al," *Intercomparison of Radiotherapy TPS for External Photon and Electron Beam Dose Calculation,*" Radiather. Oncol 29. 327-335, 1993.
- [18]. J.van dyk.," *The Modern Technology of Radiation Oncology, A Compediumfor Medical Physicists and Radiation Oncologyst.*" Medical Physics Publisng., Madison, Wiscosin, 1999.
- [19]. Spiridon Papatheodorou et al.," *Dose Calculation and verification of Intensity Modulation Generate By Dynamic MLC.*" ., 1999.
- [20]. ICRU Report 62, *Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy (Supplement to ICRU Reports 50)*, The International Commission on Radiation Units and Measurements, 1999.
- [21]. Suratman., " *Introduksi Proteksi Radiasi Bagi Siswa/Mahasiswa Praktek*". Puslitbang Teknologi Maju, Batan, Yogyakarta, 2001.
- [22]. Susworo R., " *Radioterapi: Dasar-Dasar Radioterapi, Tata-laksana Radioterapi Penyakit Kanker,*" Jakarta, Universitas Indonesia Press, 2007

- [23]. Wiryosimin, S., "Mengenal Asas Proteksi Radiasi". Penerbit ITB, Bandung, 1995.
- [24]. Araki Fujio., et al., "Dose Calculation For Asymmetrical Photon Field With Independent Jaw And Multi Colimators," Medical Physics., 1999
- [25]. G.Marinello and A. Dutreix, " A General Method to Perform Dose Calculation Along The Axis Of Symmetrical and Asymmetrical Photon Beams," Medical Physics. 19,275-281, 1992
- [26]. Khan F M., et al., " Dosimetric Of Asymmetric X-ray Collimator ," Medical Physics. 13, 936-941, 1986.
- [27]. Khan F M., " Dosimetry Of Wedge Field with Asymmetric Collimation," Medical Physics. 20, 1993
- [28]. Onishi T, Uebayashi., "Biological Tissue-Equivalent Fantoms Usable in Broadband Frequency Rang," 2007



**LAMPIRAN A**  
**PERSENTASE DOSIS KEDALAMAN (PDD) HASIL EKSPERIMEN**

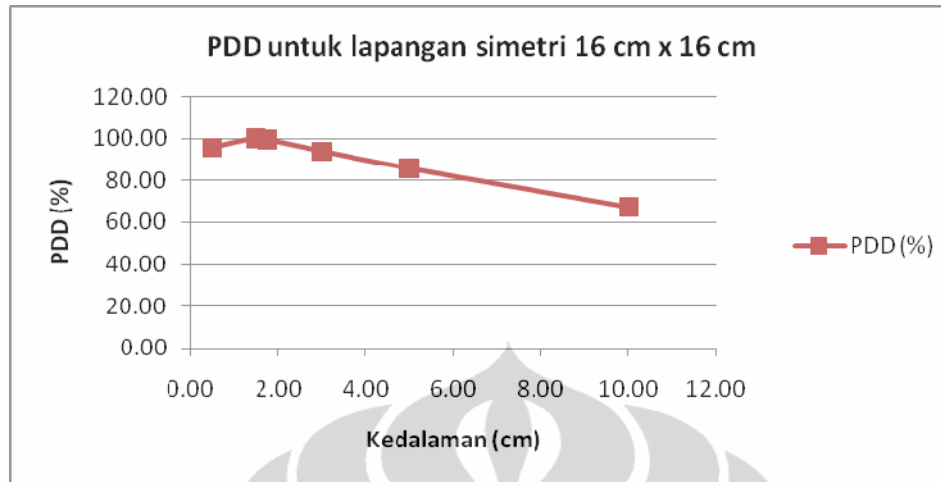
**Tabel A.1** PDD untuk lapangan simetri 16cm x 16cm

kedalaman (cm)	dosis terukur (cGy)			rata-rata (cGy)	PDD (%)
	I	II	III		
0.50	198.00	198.00	198.00	198.00	95.50
1.50	207.00	207.00	208.00	207.33	100.00
1.80	206.00	206.00	205.00	205.67	99.20
3.00	195.00	194.00	194.00	194.33	93.73
5.00	178.00	177.00	177.00	177.33	85.53
10.00	138.00	142.00	138.00	139.33	67.20

**Tabel A.2** PDD untuk lapangan simetri 16cm x 16cm hasil konversi

kedalaman (cm)	dosis terukur (cGy)			rata-rata (cGy)	PDD (%)
	I	II	III		
0.50	205.36	205.36	205.36	205.36	95.50
1.50	214.69	214.69	215.73	215.04	100.00
1.75	213.65	213.65	212.62	213.31	99.20
3.00	202.24	201.21	201.21	201.55	93.73
5.00	184.61	183.58	183.58	183.92	85.53
10.00	143.13	147.28	143.13	144.51	67.20





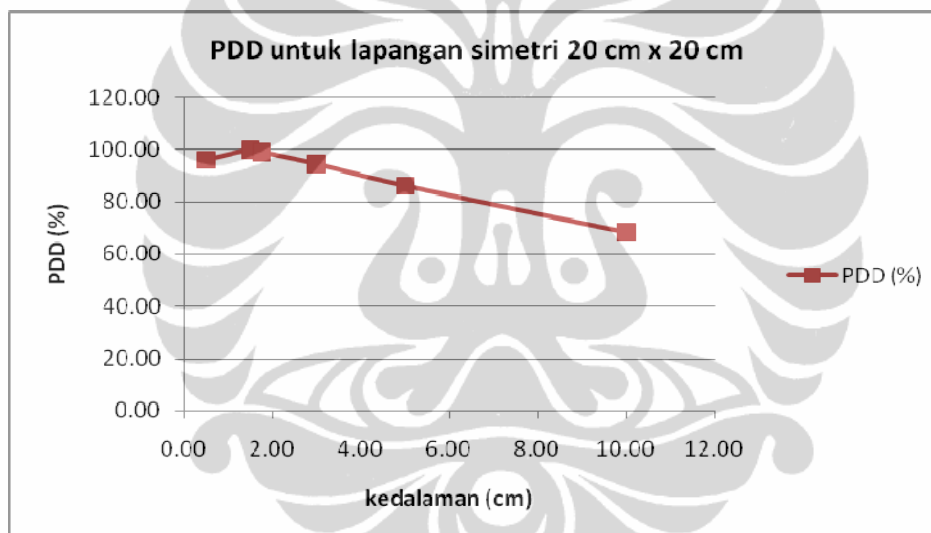
**Gambar A.1** PDD untuk lapangan simetri 16cm x 16cm

**Tabel A.3** PDD untuk lapangan simetri 20cm x 20cm

kedalaman (cm)	dosis terukur (cGy)			rata-rata (cGy)	PDD (%)
	I	II	III		
0.50	199.00	202.00	202.00	201.00	96.02
1.50	210.00	209.00	209.00	209.33	100.00
1.80	208.00	207.00	207.00	207.33	99.05
3.00	198.00	198.00	197.00	197.67	94.43
5.00	181.00	180.00	180.00	180.33	86.15
10.00	141.00	146.00	142.00	143.00	68.31

**Tabel A.4** PDD untuk lapangan simetri 20cm x 20cm hasil konversi

kedalaman (cm)	dosis terukur (cGy)			rata-rata (cGy)	PDD (%)
	I	II	III		
0.50	206.39	209.50	209.50	208.47	96.02
1.50	217.80	216.76	216.76	217.11	100.00
1.75	215.73	214.69	214.69	215.04	99.04
3.00	205.36	205.36	204.32	205.01	94.43
5.00	187.72	186.69	186.69	187.03	86.15
10.00	146.24	151.42	147.28	148.31	68.31

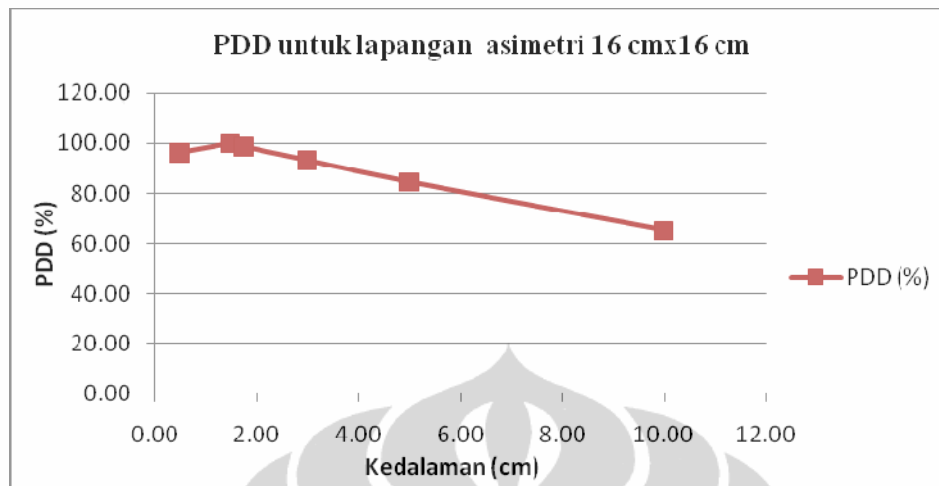
**Gambar A.2** PDD untuk lapangan simetri 20cm x 20cm

**Tabel A.5** PDD untuk lapangan asimetri 16x16cm

kedalaman (cm)	dosis terukur (cGy)			rata-rata (cGy)	PDD (%)
	I	II	III		
0.50	215.00	215.00	214.00	214.67	96.41
1.50	222.00	224.00	222.00	222.67	100.00
1.80	220.00	221.00	219.00	220.00	98.80
3.00	208.00	208.00	207.00	207.67	93.26
5.00	189.00	188.00	188.00	188.33	84.58
10.00	145.00	145.00	145.00	145.00	65.12

**Tabel A.6** PDD untuk lapangan asimetri 16cm x 16cm hasil konversi

kedalaman (cm)	dosis terukur			rata-rata	PDD (%)
	I	II	III		
0.50	222.99	222.99	221.95	222.64	96.41
1.50	230.25	232.32	230.25	230.94	100.00
1.75	228.17	229.21	227.14	228.17	98.80
3.00	215.73	215.73	214.69	215.38	93.26
5.00	196.02	194.98	194.98	195.33	84.58
10.00	150.39	150.39	150.39	150.39	65.12



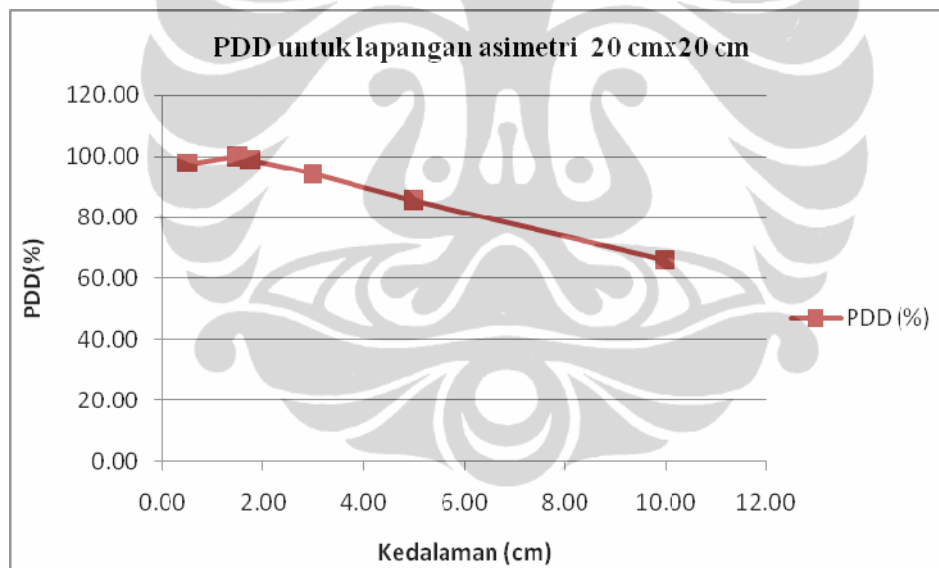
**Gambar A.3** PDD untuk lapangan asimetri 16cm x 16cm

**Tabel A.7** PDD untuk lapangan asimetri 20cm x 20cm

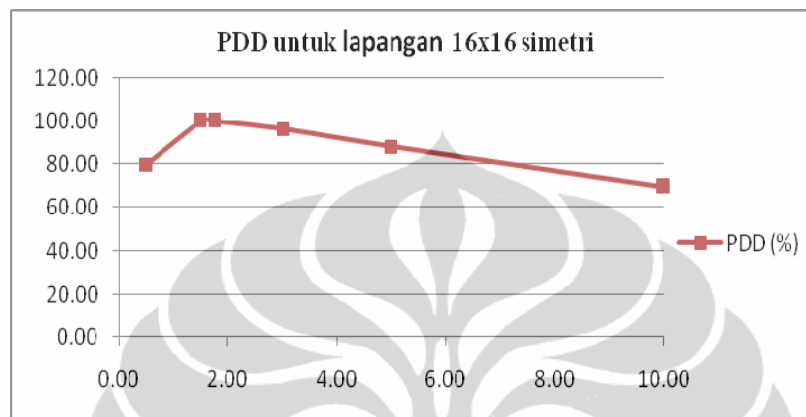
kedalaman (cm)	dosis terukur (cGy)			rata-rata (cGy)	PDD (%)
	I	II	III		
0.50	218.00	218.00	217.00	217.67	97.61
1.50	223.00	223.00	223.00	223.00	100.00
1.80	221.00	221.00	220.00	220.67	98.95
3.00	211.00	211.00	209.00	210.33	94.32
5.00	191.00	191.00	190.00	190.67	85.50
10.00	147.00	147.00	147.00	147.00	65.92

**Tabel A.8** PDD untuk lapangan asimetri 20cm x 20cm hasil konversi

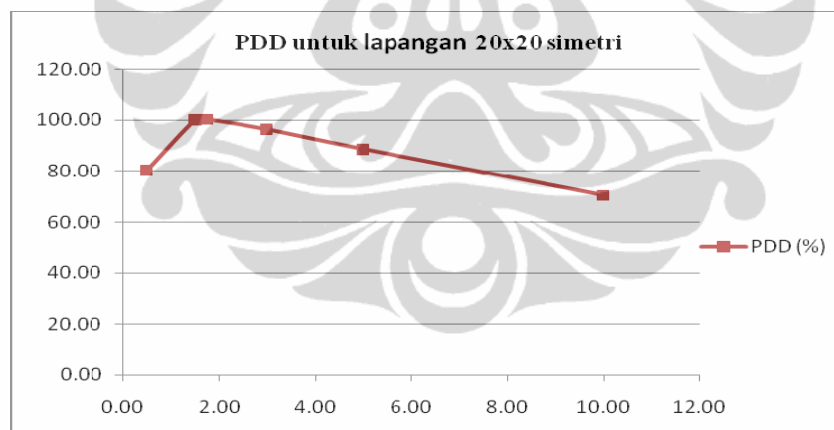
kedalaman (cm)	dosis terukur			rata-rata	PDD (%)
	I	II	III		
0.50	226.10	226.10	225.06	225.75	97.61
1.50	231.28	231.28	231.28	231.28	100.00
1.75	229.21	229.21	228.17	228.86	98.95
3.00	218.84	218.84	216.76	218.15	94.32
5.00	198.10	198.10	197.06	197.75	85.50
10.00	152.46	152.46	152.46	152.46	65.92

**Gambar A.4** PDD untuk lapangan asimetri 20cm x 20cm

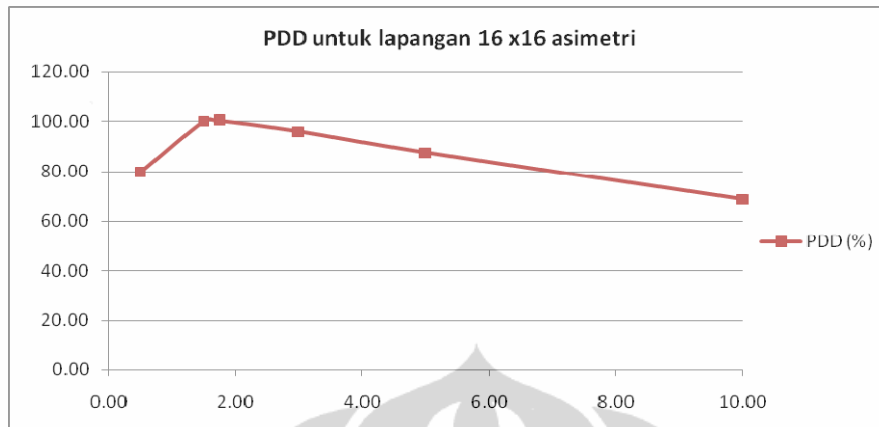
**LAMPIRAN B**  
**PERSENTASE DOSIS KEDALAMAN (PDD) HASIL TPS**



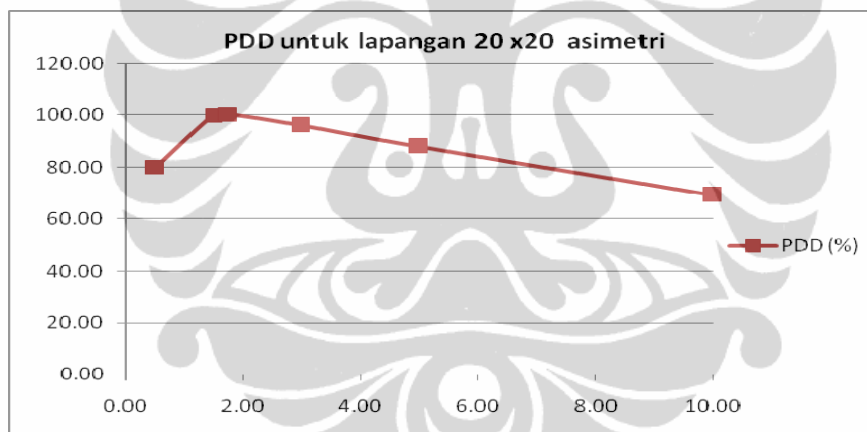
**Gambar B.1** PDD untuk lapangan simetri 16cm x 16cm



**Gambar B.2** PDD untuk lapangan simetri 20cm x 20cm



**Gambar B.3** PDD untuk lapangan asimetri 16cm x 16cm



**Gambar B.4** PDD untuk lapangan asimetri 20cm x 20cm

**LAMPIRAN C**  
**PERSENTASE DOSIS HASIL EKSPERIMEN**

**Tabel C.1** Persentase dosis untuk lapangan simetri 16x16cm

lapangan (cm)	kedalaman (cm)	Jarak pengukuran dari pusat lapangan (cm)	dosis terukur (cGy)			rata-rata (cGy)	Persentase dosis (%)
16 x 16	1.75	-8.00	133.00	147.40	127.30	135.90	66.19
		-7.50	170.95	178.55	168.00	172.50	84.01
		-7.00	208.90	209.70	208.70	209.10	101.83
		0.00	205.70	205.50	204.80	205.33	100.00
		7.00	208.40	208.00	208.80	208.40	101.49
		7.50	160.20	154.10	165.75	160.02	77.93
		8.00	112.00	100.20	122.70	111.63	54.37
	5.00	-8.00	147.90	154.40	144.20	148.83	83.94
		-7.50	162.50	165.90	160.15	162.85	91.85
		-7.00	177.10	177.40	176.10	176.87	99.76
		0.00	178.10	177.30	176.50	177.30	100.00
		7.00	177.20	176.40	176.60	176.73	99.68
		7.50	155.75	151.10	157.90	154.92	87.38
		8.00	134.30	125.80	139.20	133.10	75.07
	10.00	-8.00	125.50	128.20	125.20	126.30	90.69
		-7.50	129.70	133.25	129.65	130.87	93.97
		-7.00	133.90	138.30	134.10	135.43	97.25
		0.00	137.90	142.20	137.70	139.27	100.00
		7.00	133.80	137.40	134.20	135.13	97.03
		7.50	128.35	127.00	129.30	128.22	92.07
		8.00	122.90	116.60	124.40	121.30	87.10



**Tabel C.2** Persentase dosis untuk lapangan simetri 16cm x 16cm hasil konversi

lapangan (cm)	kedalaman (cm)	Jarak pengukuran dari pusat lapangan (cm)	dosis terukur (cGy)			rata- rata (cGy)	Persentase dosis (%)
16 x 16	1.75	-8.00	137.94	152.88	132.03	140.95	66.19
		-7.50	177.30	185.18	174.24	178.91	84.01
		-7.00	216.66	217.49	216.45	216.87	101.83
		0.00	213.34	213.13	212.41	212.96	100.00
		7.00	216.14	215.73	216.56	216.14	101.49
		7.50	166.15	159.83	171.91	165.96	77.93
		8.00	116.16	103.92	127.26	115.78	54.37
	5.00	-8.00	153.39	160.14	149.56	154.36	83.94
		-7.50	168.54	172.06	166.10	168.90	91.85
		-7.00	183.68	183.99	182.64	183.44	99.76
		0.00	184.72	183.89	183.06	183.89	100.00
		7.00	183.78	182.95	183.16	183.30	99.68
		7.50	161.54	156.71	163.77	160.67	87.38
		8.00	139.29	130.47	144.37	138.04	75.07
	10.00	-8.00	130.16	132.96	129.85	130.99	90.69
		-7.50	134.52	138.20	134.47	135.73	93.97
		-7.00	138.87	143.44	139.08	140.46	97.25
		0.00	143.02	147.48	142.82	144.44	100.00
		7.00	138.77	142.50	139.19	140.15	97.03
		7.50	133.12	131.72	134.10	132.98	92.07
		8.00	127.47	120.93	129.02	125.81	87.10

**Tabel C.3** Persentase dosis untuk lapangan simetri 20x20cm

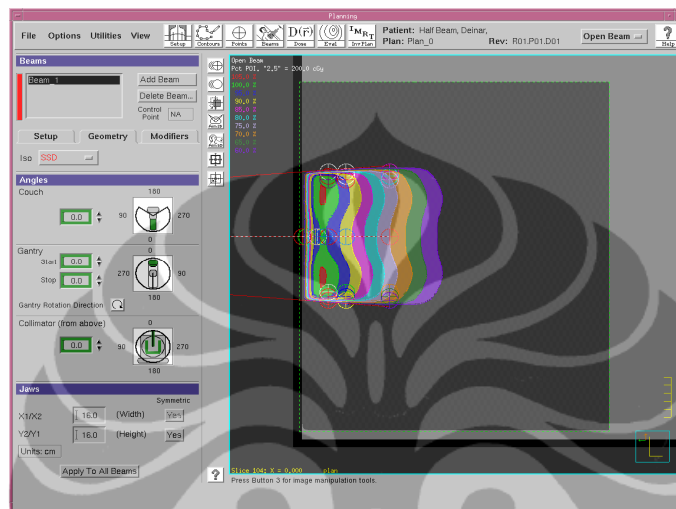
lapangan (cm)	kedalaman (cm)	Jarak pengukuran dari pusat lapangan (cm)	dosis terukur (cGy)			rata-rata (cGy)	Persentase dosis (%)
20x20	1.75	-10.00	140.80	153.30	134.10	142.73	68.48
		-9.50	176.40	183.15	173.20	177.58	85.20
		-9.00	212.00	213.00	212.30	212.43	101.92
		0.00	207.50	207.10	210.69	208.43	100.00
		9.00	213.70	213.40	214.50	213.87	102.61
		9.50	168.50	162.45	173.10	168.02	80.61
		10.00	123.30	111.50	131.70	122.17	58.61
	5.00	-10.00	159.20	163.90	155.90	159.67	88.54
		-9.50	169.85	172.25	167.70	169.93	94.23
		-9.00	180.50	180.60	179.50	180.20	99.93
		0.00	181.10	180.30	179.60	180.33	100.00
		9.00	182.40	181.50	181.60	181.83	100.83
		9.50	165.45	161.60	166.75	164.60	91.28
		10.00	148.50	141.70	151.90	147.37	81.72
	10.00	-10.00	130.40	133.40	130.60	131.47	98.13
		-9.50	133.30	137.20	133.75	134.75	100.58
		-9.00	136.20	141.00	136.90	138.03	103.04
		0.00	114.20	146.20	141.50	133.97	100.00
		9.00	137.60	141.30	138.50	139.13	103.86
		9.50	133.40	133.80	134.40	133.87	99.93
		10.00	129.20	126.30	130.30	128.60	95.99

**Tabel C.4** Persentase dosis untuk lapangan simetri 20cm x 20cm hasil konversi

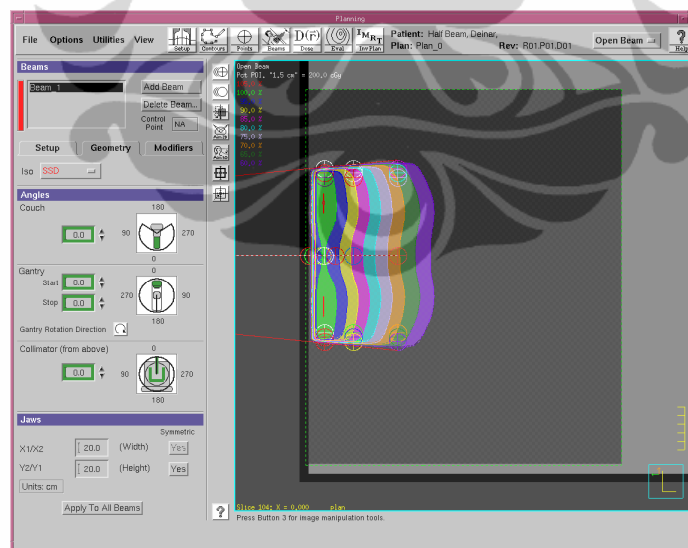
lapangan (cm)	kedalaman (cm)	Jarak pengukuran dari pusat lapangan (cm)	dosis terukur (cGy)			rata-rata (cGy)	Persentase dosis (%)
20x20	1.75	-10.00	146.03	159.00	139.08	148.04	68.48
		-9.50	182.95	189.95	179.63	184.18	85.20
		-9.00	219.88	220.91	220.19	220.33	101.92
		0.00	215.21	214.79	218.52	216.17	100.00
		9.00	221.64	221.33	222.47	221.81	102.61
		9.50	174.76	168.49	179.53	174.26	80.61
		10.00	127.88	115.64	136.59	126.71	58.61
	5.00	-10.00	165.11	169.99	161.69	165.60	88.54
		-9.50	176.16	178.65	173.93	176.25	94.23
		-9.00	187.21	187.31	186.17	186.89	99.93
		0.00	187.83	187.00	186.27	187.03	100.00
		9.00	189.18	188.24	188.35	188.59	100.83
		9.50	171.60	167.60	172.95	170.72	91.28
		10.00	154.02	146.96	157.54	152.84	81.72
	10.00	-10.00	135.24	138.36	135.45	136.35	98.13
		-9.50	138.25	142.30	138.72	139.76	100.58
		-9.00	141.26	146.24	141.99	143.16	103.04
		0.00	118.44	151.63	146.76	138.94	100.00
		9.00	142.71	146.55	143.65	144.30	103.86
		9.50	138.36	138.77	139.39	138.84	99.93
		10.00	134.00	130.99	135.14	133.38	95.99

## LAMPIRAN D

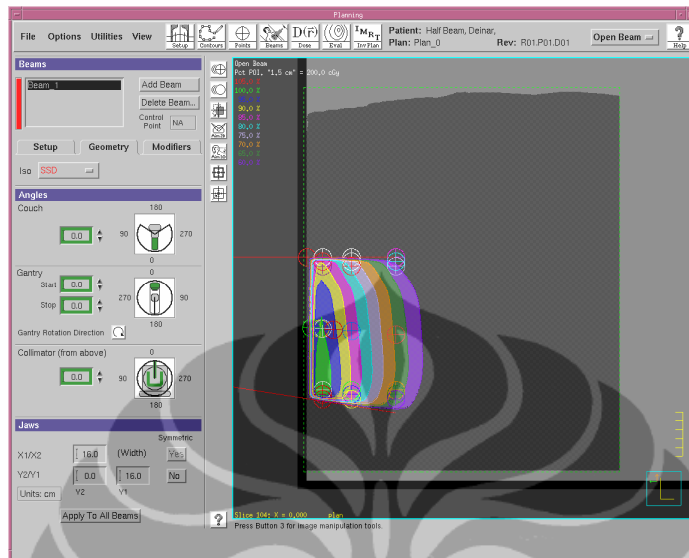
### HASIL GAMBAR KELUARAN TPS



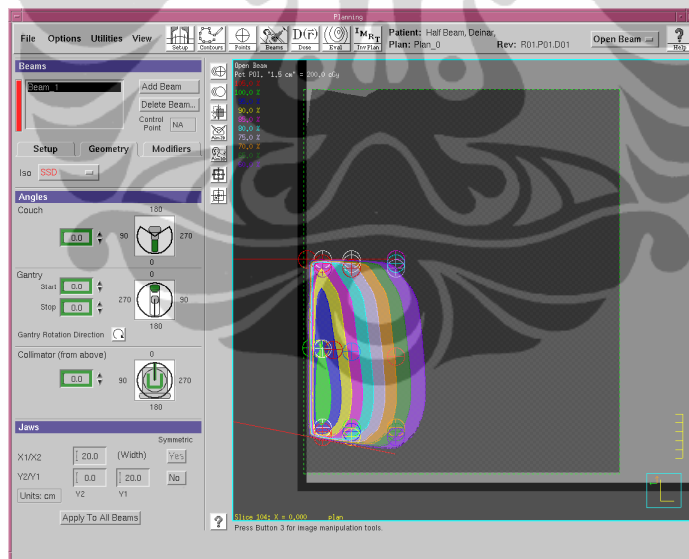
**Gambar D.1** Keluaran TPS untuk lapangan simetri 16 cm x 16 cm



**Gambar D.2** Keluaran TPS untuk lapangan simetri 20 cm x 20 cm

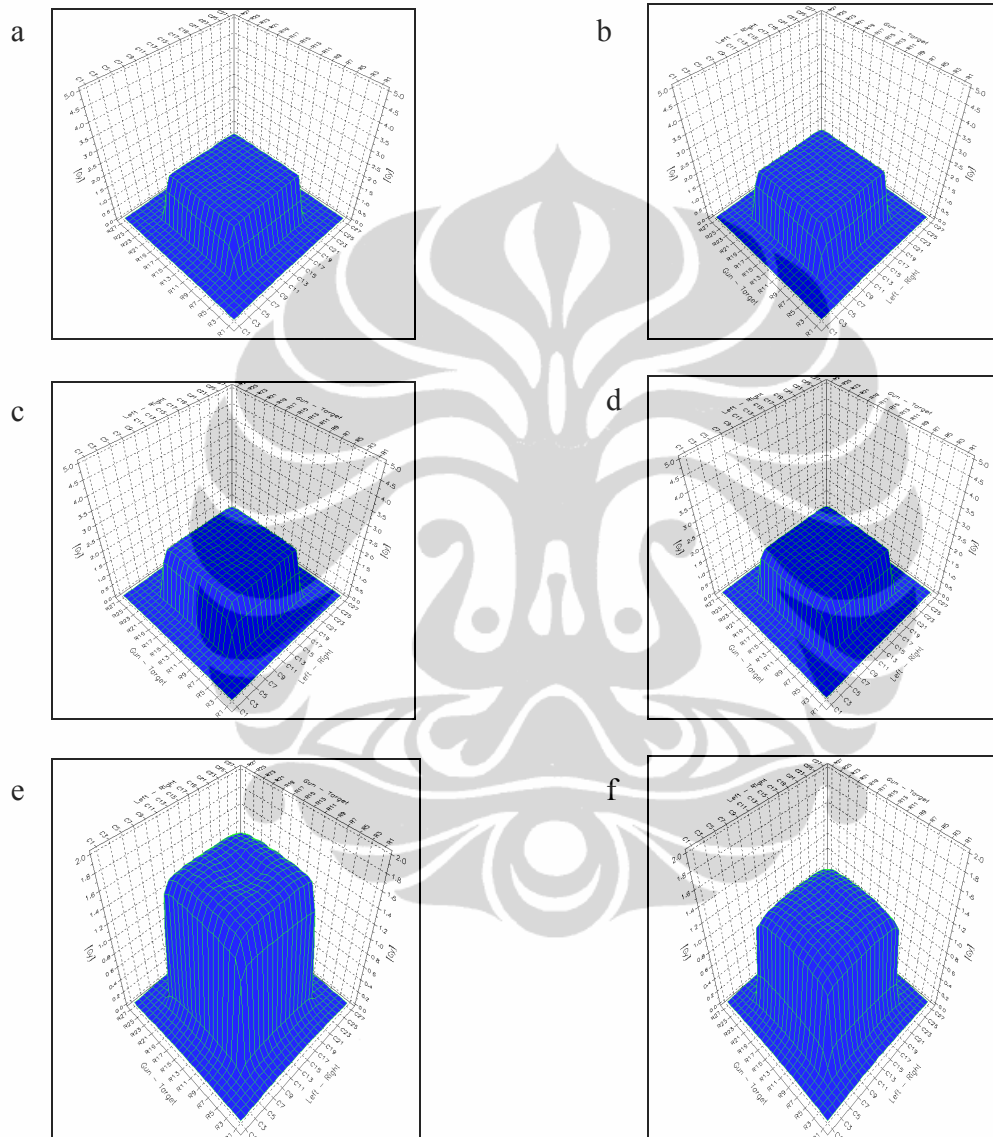


**Gambar D.3** Keluaran TPS untuk lapangan asimetri 16 cm x 16 cm

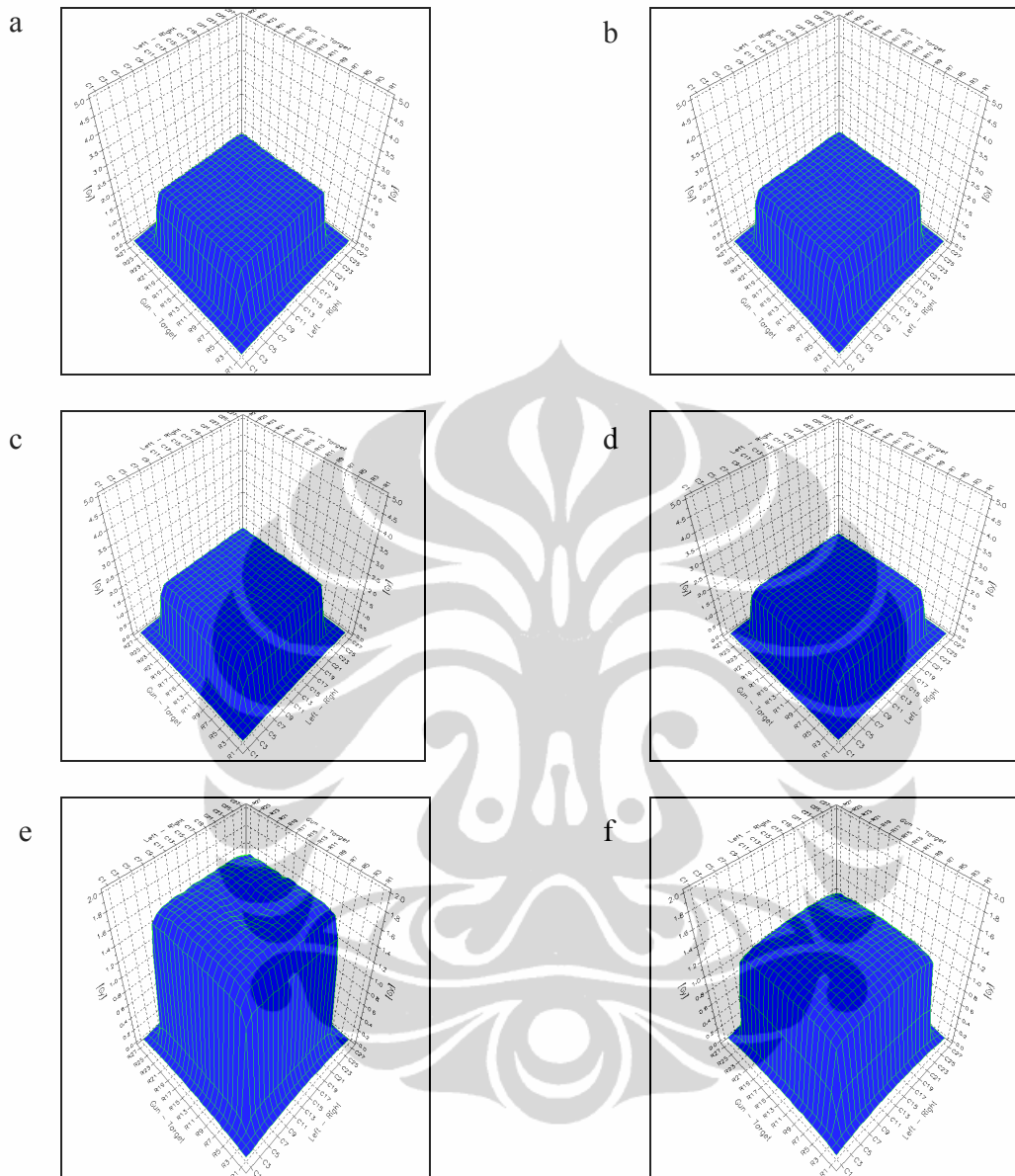


**Gambar D.4** Keluaran TPS untuk lapangan asimetri 20 cm x 20 cm

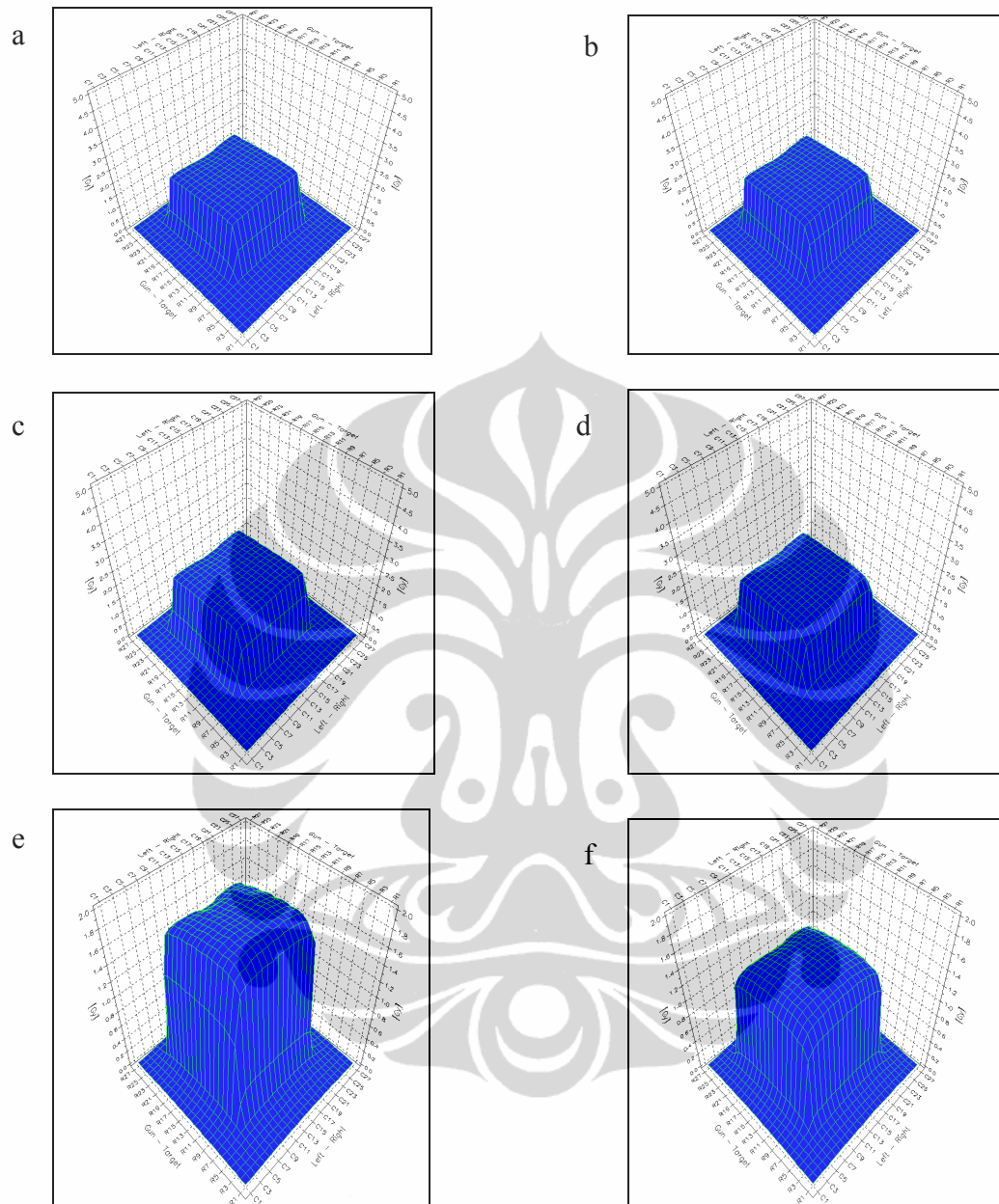
**LAMPIRAN E**  
**HASIL GAMBAR KELUARAN PTW 2D Array**



**Gambar E.1** Keluaran PTW 2D Array untuk lapangan simetri 16 cm x 16 cm  
a) kedalaman 0.5 cm, b) kedalaman 1.5 cm, c) kedalaman 1.8 cm, d) kedalaman 3.0 cm, e) kedalaman 5.0 cm, f) kedalaman 10.0 cm

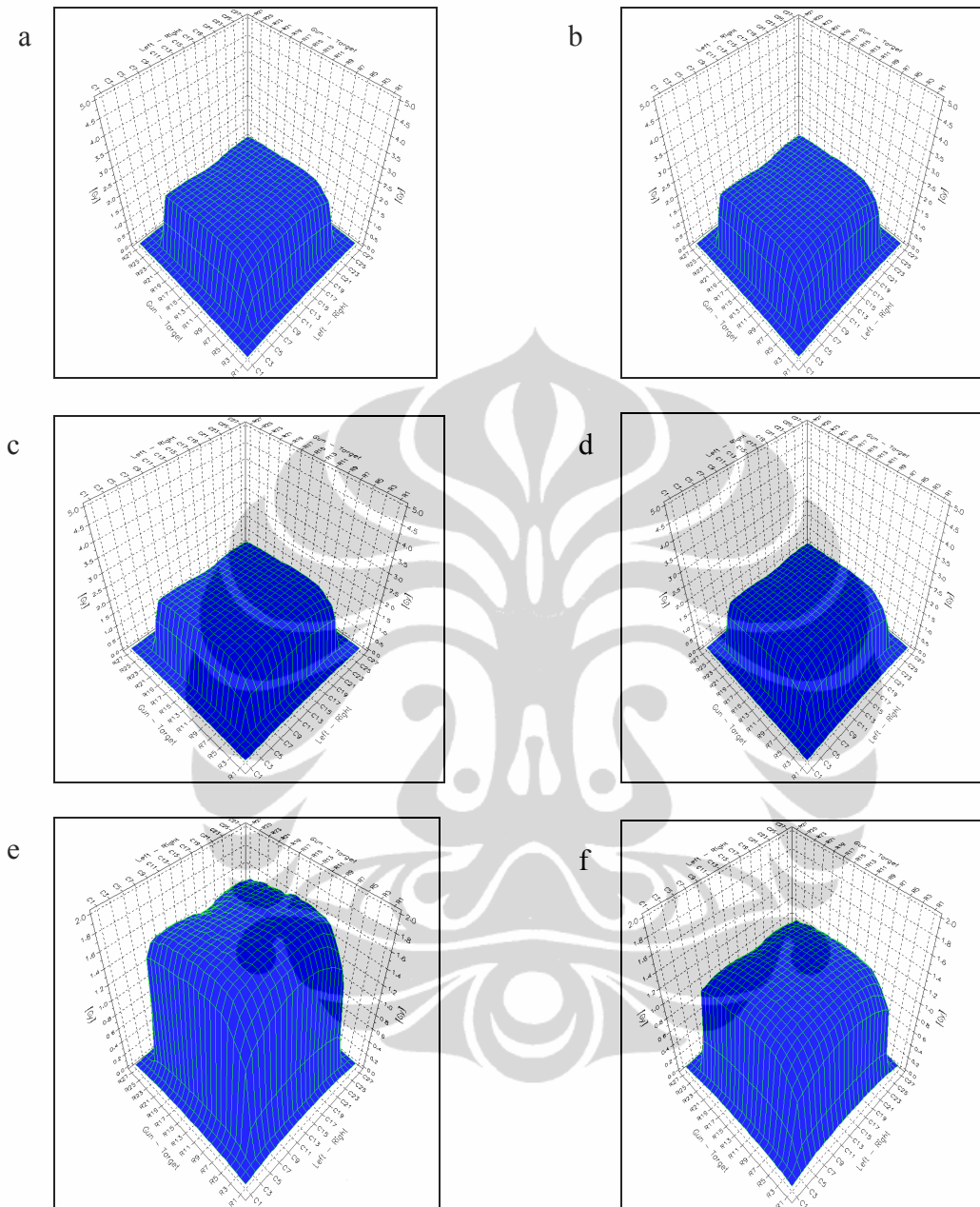


**Gambar E.2** Keluaran PTW 2D Array untuk lapangan simetri 20 cm x 20 cm  
 a) kedalaman 0.5 cm, b) kedalaman 1.5 cm, c) kedalaman 1.8 cm, d) kedalaman 3.0 cm, e) kedalaman 5.0 cm, f) kedalaman 10.0 cm



**Gambar E.3** Keluaran PTW 2D Array untuk lapangan asimetri 16 cm x 16 cm  
 a) kedalaman 0.5 cm, b) kedalaman 1.5 cm, c) kedalaman 1.8 cm, d) kedalaman 3.0 cm, e) kedalaman 5.0 cm, f) kedalaman 10.0 cm





**Gambar E.4** Keluaran PTW 2D Array untuk lapangan asimetri 20 cm x 20 cm  
 a) kedalaman 0.5 cm, b) kedalaman 1.5 cm, c) kedalaman 1.8 cm, d) kedalaman  
 3.0 cm, e) kedalaman 5.0 cm, f) kedalaman 10.0 cm