

**PENGUKURAN DAN SIMULASI MONTE CARLO  
PERSENTASE DOSIS KEDALAMAN BERKAS SINAR X 6 MV  
JATUH PADA BIDANG MIRING : VERIFIKASI *TPS***

**TESIS**

Diajukan untuk memenuhi tugas akhir  
dan syarat memperoleh gelar Magister Fisika

**Agung Nugroho Oktavianto**  
**0706172153**



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

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Agung Nugroho Oktavianto

NPM : 0706172153

Tanda Tangan :



Tanggal : 26 April 2010

## HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Agung Nugroho Oktavianto  
NPM : 0706172153  
Program Studi : Magister Fisika  
Judul Tesis : Pengukuran dan Simulasi Monte Carlo Persentase Dosis Kedalaman Berkas Sinar X 6 MV Jatuh pada Bidang Miring : Verifikasi *TPS*

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Djarwani S Soejoko

Pembimbing : Dr.rer.nat. Freddy Haryanto

Penguji : Dr. Musadiq Musbach

Penguji : Dr. Warsito

Penguji : Dr. Setiawan Sutopo dr.Sp.Rad (K) Onk.Rad

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 19 Mei 2010.

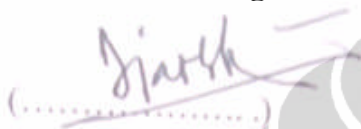
## LEMBAR PERSETUJUAN

Judul : **PENGUKURAN DAN SIMULASI MONTE CARLO  
PERSENTASE DOSIS KEDALAMAN BERKAS SINAR X 6 MV  
JATUH PADA BIDANG MIRING : VERIFIKASI TPS**

Nama : **Agung Nugroho Oktavianto**  
NPM : **0706172153**

Menyetujui :

**Pembimbing I**



Prof. Dr. Djarwani S. Soedjoko

**Pembimbing II**



DR. rer. nat. Freddy Haryanto

**Penguji I**



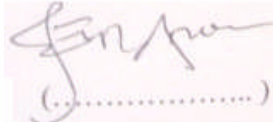
Dr. Musadiq Musbach

**Penguji II**



Dr. Warsito

**Penguji III**



Dr. Setiawan Sutopo dr. Sp. Rad (K) Onk. Rad

**Ketua Program Studi Magister Fisika  
Program Pasca Sarjana FMIPA Universitas Indonesia**



Dr. Yunus Daud

Tanggal Lulus : 19 Mei 2010.

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil alamin, puji dan do'a saya panjatkan kepada Allah SWT sehingga saya berhasil menyelesaikan tesis ini dengan baik. Tulisan ini selesai tidak atas kerja saya sendiri tetapi banyak pihak yang telah berkontribusi baik secara nyata ataupun secara dukungan moril, bahkan banyak nama yang tidak bisa saya sebut satu persatu.

Untuk yang sangat berarti dalam hidup saya, istriku tercinta Dedeh Komalawati, anakku Miftahul Jannah dan Chandra Kirana. Kepada ayahanda tercinta Bapak Achmad Munandir (Alm), Ibunda tercinta Ibu Marni (Alm), dan seluruh keluarga yang selalu memberi wejangan dalam hidup

Kepada Prof..Dr.Djarwani S.Soejoko sebagai pembimbing tesis I, dan DR.rer.nat.Freddy Haryanto sebagai pembimbing tesis II, terima kasih telah membimbing dan mengarahkan pada saat kami menjumpai kesulitan

Kepada para dokter khususnya Dr.Setiawan Sutopo,dr.Sp.Rad.(K).Onk.Rad dan karyawan di sub bagian Radioterapi RS. dr Hasan Sadikin Bandung terima kasih telah diskusi mengenai hal-hal yang berhubungan dengan tesis saya. Terima kasih khusus saya sampaikan kepada Hilario Hasibuan,dr.Sp.M(K) dari RS. Persahabatan Jakarta yang telah melakukan operasi pada kedua mata saya karena Gloukoma untuk menghindari kebutaan sehingga saya dapat menyelesaikan Tesis ini.

Kepada rekan seperjuangan Om Joe - Susila Wardaya,MSi beserta keluarga, yang selalu mendukung dan membantu dalam pengambilan data, saya mengucapkan *matur nuwun sanget*.

Kepada semua pihak yang tidak bisa saya sebut satu persatu terima kasih atas segala bantuannya.

Semoga tesis ini bisa bermanfaat.

Depok, 26 April 2010.

Agung Nugroho Oktavianto

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Agung Nugroho Oktavianto  
NPM : 0706172153  
Program Studi : Magister Fisika  
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 : **Pengukuran dan Simulasi Monte Carlo Persentase Dosis Kedalaman Berkas Sinar X 6 MV Jatuh pada Bidang Miring : Verifikasi TPS**, beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/format mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 26 April 2010.

Yang menyatakan



( Agung Nugroho Oktavianto)

## ABSTRAK

### PENGUKURAN DAN SIMULASI MONTE CARLO PERSENTASE DOSIS KEDALAMAN BERKAS SINAR X 6 MV JATUH PADA BIDANG MIRING : VERIFIKASI *TPS*

Agung Nugroho Oktavianto \*)

Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia Depok 16424  
(Tesis Magister, 32 + xiv halaman, 13 Gambar, 8 Tabel, Tahun 2010)

## ABSTRAK

Telah dilakukan pengukuran relatif untuk mengetahui perubahan parameter dosimetri berkas sinar X 6 MV pada sumbu vertikal/sumbu normal terhadap permukaan dengan variasi sudut gantry  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $60^\circ$  dari pesawat Linac Electa Precise 5991 milik Rumah Sakit Hasan Sadikin Bandung dengan luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , dan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ . Rekonstruksi *TPS* dan simulasi Monte Carlo menggunakan parameter yang sama dengan pengukuran.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi perubahan kedalaman maksimum yang dipengaruhi kenaikan luas lapangan dan sudut gantri dengan deviasi terbesar -33,3% pada luas lapangan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  dan sudut gantri  $60^\circ$  terhadap luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  dan sudut gantri  $0^\circ$ . Terjadi titik belok pada sumbu vertikal yang disebabkan karena adanya kemiringan permukaan, yang menurun dengan kenaikan sudut gantri.

Hasil rekonstruksi *TPS* menunjukkan kesesuaian terhadap hasil pengukuran pada titik *PDD* maksimum, kedalaman 5 cm dan 10 cm, berbeda dengan hasil perhitungan Monte Carlo yang relatif lebih tinggi. Demikian pula untuk titik-titik di luar sumbu vertikal/sumbu normal. Rekonstruksi *TPS* mempunyai deviasi  $< 2\%$ , sedangkan perhitungan Monte Carlo mempunyai deviasi  $< 2\%$  hanya pada daerah kuadran (+). Pengamatan titik-titik pada sumbu utama berkas hanya dilakukan dengan rekonstruksi *TPS* karena keterbatasan kemampuan alat, hasil penelitian menunjukkan bahwa *PDD* pada kedalaman  $d_{max}$ , 5 cm, dan 10 cm pada sumbu utama untuk sudut gantri  $15^\circ$  sampai dengan  $60^\circ$  cenderung menurun untuk ukuran lapangan yang sama demikian juga pada daerah kuadran (+).

Kata kunci : Sinar X 6 MV, *TPS*, Monte Carlo, *PDD*, sumbu vertikal, sumbu utama berkas

\*) agung\_nokt@yahoo.co.id

## ABSTRACT

### **MEASUREMENT AND MONTE CARLO SIMULATION PERCENTAGE DEPTH DOSE X RAY BEAM 6 MV DROP ON THE SLOPING FIELD : VERIFICATION OF TPS**

**Agung Nugroho Oktavianto <sup>\*)</sup>**

*Department of Physics FMIPA Indonesia University Depok 16424  
(Thesis Magister, 32 +xiv Pages, 13 Pictures , 8 Tableses, 2010)*

## ABSTRACT

*Relative measurement for change of dosimetry parameters X ray beam 6 MV Linac Electa Precise 5991 property of Hasan Sadikin Bandung's hospital at the vertical central line from surface with incident obliquity 0°, 15°, 30°, 45°, 60° and 10x10 cm<sup>2</sup>, 15x15cm<sup>2</sup>, 20x20 cm<sup>2</sup> field has been done. As in Reconstruction of TPS and Monte Carlo simulation with the same parameters measurement have been conducted.*

*The result of the experiment showed the change of maximum depth because of the increase in the field and angle of gantry with deviation -33% at the 20x20 cm<sup>2</sup> field and 60° angle of gantry to 10x10 cm<sup>2</sup> field and 0° angle of gantry . To happened point of to drop at the vertical central line because change sloping field to surface and drop on with increase of angle's gantry. The result of reconstruction of TPS to show not different with measurement at point maximum PDD, 5 cm depth, 10 cm depth, point at off vertical line, Monte Carlo calculation is higher. In all oint of reconstruction's TPS has deviation < 2%, but calculation Monte Carlo just happen at the kuadran (+) area. Observation at the point in the central beam just done with reconstruction of TPS because the equipment capability limitation in the measurement, PDD at the depth of  $d_{max}$ , 5 cm, 10 cm, 15° to 60° angle of gantry in the central beam tilted decrease for the same field and kuadran (+) area too.*

*Keyword : X ray beam 6 MV, TPS, Monte Carlo, PDD, vertikal line, central beam*

*\*) agung\_nokt@yahoo.co.id*



## DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vi
ABSTRAK .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSATAKA .....	4
2.1. Persentase Dosis Kedalaman ( <i>Percentage Depth Dose/PDD</i> ) .....	4
2.2. <i>Treatment Planning System</i> .....	8
2.3. Verifikasi <i>TPS</i> .....	9
2.4. Metode Monte Carlo dalam Radioterapi .....	10
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	13
3.1. Pengukuran <i>PDD</i> dan Profil Sinar X 6 MV .....	13
3.2. Rekonstruksi <i>TPS</i> .....	14
3.3. Simulasi Monte Carlo .....	15
BAB 4 HASIL PENELITIAN .....	18
4.1. Persentase Dosis Kedalaman ( <i>Percentage Depth Dose/PDD</i> ) .....	18
4.2. <i>PDD</i> di Luar Sumbu Vertikal .....	22
BAB 5 PEMBAHASAN .....	30
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN .....	35
6.1. Kesimpulan .....	35
6.2. Saran .....	36
DAFTAR PUSTAKA .....	37
LAMPIRAN .....	39

## DAFTAR GAMBAR

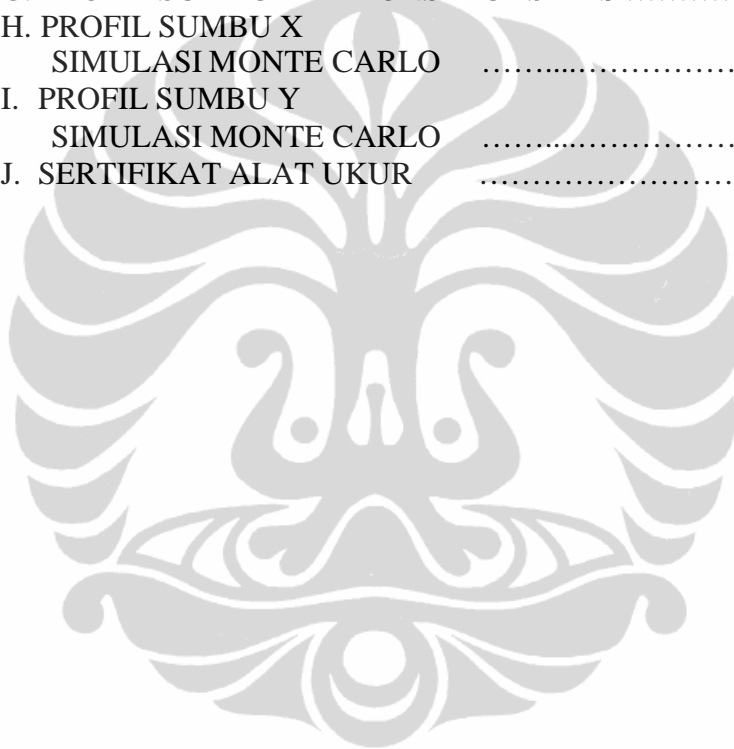
	Halaman
Gambar 2.1. Hubungan antara <i>kerma</i> dengan dosis absorpsi .....	5
Gambar 2.2. Distribusi <i>PDD</i> .....	4
Gambar 2.3. Pengujian <i>oblique-incidence</i> oleh Gifford et al.....	9
Gambar 2.4. Skema interaksi radiasi dengan materi .....	
dalam program Monte Carlo .....	11
Gambar 2.5. Sistem Koordinat Polar dengan Titik Isosenter pada	
<i>x iso, y iso, z iso</i> .....	12
Gambar 2.6. Geometri Perjalanan Partikel Z : vertikal dan	
X-Y : Horisontal, .....	12
Gambar 3.1. Pengukuran Relatif Sinar X 6 MV .....	14
Gambar 3.2. Rekonstruksi TPS .....	14
Gambar 3.3. <i>Input</i> data program simulasi Monte Carlo DosXYZnrc .....	16
Gambar 4.1. Kurva <i>PDD</i> pada Sumbu Vertikal dalam Fantom Air .....	18
Gambar 4.2. Kurva Isodosis <i>TPS</i> .....	20
Gambar 4.3. Kurva <i>PDD</i> Luas Lapangan 15x15 cm <sup>2</sup> Pengukuran,	
Rekonstruksi TPS dan Simulasi Monte Carlo	
dengan Variasi Sudut Gantri .....	21
Gambar 4.4. Profil Berkas Sinar X 6 MV pada Medium Air .....	23
Gambar 4.5. Deviasi Perbandingan <i>PDD off axis</i> Luas lapangan 10x10 cm <sup>2</sup> ..	24
Gambar 4.6. Deviasi Perbandingan <i>PDD off axis</i> luas lapangan 15x15 cm <sup>2</sup> ..	25
Gambar 4.7. Deviasi Perbandingan <i>PDD off axis</i> luas lapangan 20x20 cm <sup>2</sup> ..	26
Gambar 4.8. Skema Perhitungan <i>PDD</i> searah Sumbu Berkas Utama .....	27

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Table 4.1. Nilai $d_{max}$ dalam Medium Air dengan Perubahan Sudut Gantri untuk Luas Lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , $20 \times 20 \text{ cm}^2$ .....	19
Tabel 4.2. Titik kedalaman dengan penurunan $PDD \leq 2\%$ terhadap sudut gantri $0^\circ$ dan kedalaman titik belok dengan variasi sudut gantri untuk luas lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , dan $20 \times 20 \text{ cm}^2$ .....	19
Tabel 4.3. Nilai Beberapa Titik $PDD$ pada Sumbu Vertikal terhadap permukaan .....	21
Tabel 4.4. $PDD$ luas lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ hasil pengukuran, rekonstruksi $TPS$ , dan simulasi Monte Carlo pada titik -3 cm dan 3 cm di luar sumbu Y pada kedalaman $d_{max}$ dengan perubahan sudut gantri .....	24
Tabel 4.5. $PDD$ luas lapangan $15 \times 15 \text{ cm}^2$ hasil pengukuran, rekonstruksi $TPS$ , dan simulasi Monte Carlo pada titik -4 cm dan 4 cm di luar sumbu Y pada kedalaman $d_{max}$ dengan perubahan sudut gantri .....	25
Tabel 4.6. $PDD$ luas lapangan $20 \times 20 \text{ cm}^2$ hasil pengukuran, rekonstruksi $TPS$ , dan simulasi Monte Carlo pada titik -5 cm dan 5 cm di luar sumbu Y pada kedalaman $d_{max}$ dengan perubahan sudut gantri .....	26
Tabel 4.7. Perhitungan $PDD$ searah sumbu berkas utama pada kedalaman $d_{max}$ , 5 cm, 10 cm, dan luas lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , $20 \times 20 \text{ cm}^2$ serta variasi sudut gantri .....	28
Tabel 4.8. Deviasi $PDD$ pada kedalaman $d_{max}$ , 5 cm, dan 10 cm searah sumbu utama berkas pada luas lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , $20 \times 20 \text{ cm}^2$ serta variasi sudut gantri .....	29

## LAMPIRAN

	Halaman
LAMPIRAN A. <i>PDD</i> PENGUKURAN .....	40
LAMPIRAN B. KURVA ISODOSIS .....	43
LAMPIRAN C. <i>PDD TREATMENT PLANNING SYSTEM (TPS)</i> .....	58
LAMPIRAN D. <i>PDD</i> SIMULASI MONTE CARLO .....	61
LAMPIRAN E. PROFIL SUMBU X PENGUKURAN.....	76
LAMPIRAN F. PROFIL SUMBU Y PENGUKURAN.....	79
LAMPIRAN G. PROFIL SUMBU Y REKONSTRUKSI <i>TPS</i> .....	82
LAMPIRAN H. PROFIL SUMBU X SIMULASI MONTE CARLO .....	85
LAMPIRAN I. PROFIL SUMBU Y SIMULASI MONTE CARLO .....	91
LAMPIRAN J. SERTIFIKAT ALAT UKUR .....	97



## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1. Latar Belakang

Pesawat *Linear Accelerator* (LINAC) untuk keperluan medis berkembang dari hasil riset selama perang dunia II untuk memperoleh gelombang elektromagnet frekuensi tinggi dengan daya tinggi untuk radar. Pesawat *Linac* Elekta Precise 5991 RS. Hasan Sadikin mempunyai mode produksi foton sinar X (6 MV dan 10 MV) dan elektron (4MeV,6MeV,8MeV,10MeV,12MeV dan 15MeV)<sup>[1]</sup>.

Sebelum diaplikasikan untuk pengobatan radioterapi, berkas sinar x 6 MV diukur dalam fantom air untuk mendapatkan parameter yang berhubungan dengan efektifitas terhadap jaringan biologis yaitu dosis serap pada sumbu pusat berkas yang disebut persentase dosis kedalaman atau *Percentage Depth Dose* (*PDD*) dan profil<sup>[2,3]</sup>. Dengan pengukuran *PDD* akan diketahui persentase dosis pada kedalaman yang sudah ditentukan pada sumbu kedalaman (*Z*). Sedangkan untuk profil akan memperlihatkan karakter luasan lapangan / geometri penyinaran sumbu datar (*X* dan *Y*) pada kedalaman  $d_{max}$ <sup>[4]</sup>.

IAEA mempersyaratkan kesalahan dosimetri adalah sebesar 5%, didalamnya sudah termasuk kesalahan *TPS* sebesar 2%<sup>[5]</sup>. *American Association Physicist Medicine Task Group AAPM TG 53* (1998) memberikan batasan toleransi sebesar 2,5 % untuk kemiringan permukaan<sup>[6]</sup>. Oleh karena itu diperlukan verifikasi *TPS* untuk memastikan keakurasian perhitungan *TPS*. Pesawat *Linac* Elekta Precise 5991 dan *TPS* ISIS milik RS. Hasan Sadikin belum pernah dilakukan pengujian untuk mengetahui faktor koreksi terhadap kemiringan permukaan.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas dapat dirumuskan masalah penelitian sebagai berikut :

- 1.2.1. Bagaimana bentuk *PDD* pada sumbu vertikal dan di luar sumbu vetikal berkas sinar X 6 MV *Linac* Elekta pada luas lapangan berbeda dan variasi sudut gantri untuk pengukuran, rekonstruksi *TPS*, dan simulasi Monte Carlo *DOSXYZnrc*?
- 1.2.2. Bagaimana perbandingan *PDD* pada sumbu vertikal dan di luar sumbu vetikal dari hasil pengukuran dengan rekonstruksi *TPS* dan simulasi *Monte Carlo DOSXYZnrc* ?
- 1.2.3. Bagaimanakah verifikasi *TPS* dengan melakukan perbandingan terhadap pengukuran maupun simulasi Monte Carlo *DOSXYZnrc*

## 1.3. Batasan Masalah

Mengingat sangat banyaknya data yang harus diamati maka penelitian ini dibatasi hanya pada hal-hal yang sangat memungkinkan dilakukan di lapangan dengan mengingat adanya keterbatasan kemampuan alat pengukuran, yaitu :

- 1.3.1. Pengukuran relatif untuk memperoleh data *PDD* pada sumbu vertikal dan di luar sumbu vetikal berkas sinar X 6 MV dilakukan pada luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , dan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  dengan penyudutan gantri  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $60^\circ$
- 1.3.2. Perhitungan *PDD* pada sumbu vertikal dan di luar sumbu vetikal berkas sinar X 6 MV dari rekonstruksi *TPS* secara manual luas untuk lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , dan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  serta penyudutan arah berkas  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $60^\circ$
- 1.3.3. Simulasi *Monte Carlo DOSXYZnrc* untuk mendapatkan data *PDD* pada sumbu vertikal dan di luar sumbu vetikal berkas sinar X 6 MV dilakukan dengan luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , dan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  serta penyudutan gantri  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $60^\circ$

#### 1.4. Tujuan Penelitian

- 1.4.1. Untuk mengetahui perubahan nilai  $PDD$  pada kedalaman  $d_{max}$ , 5 cm, dan 10 cm pada sumbu vertikal dan di luar sumbu vertikal berkas sinar X 6 MV dari pesawat *Linac* Elekta Precise 5991, rekonstruksi *TPS*, dan simulasi Monte Carlo *DOSXYZnrc* pada luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , dan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  serta penyudutan gantri  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ , dan  $60^\circ$
- 1.4.2. Untuk mencari koreksi kemiringan permukaan *TPS* ISIS RS. Hasan Sadikin Bandung.



## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Persentase Dosis Kedalaman (*Percentage Depth Dose /PDD*)

Energi kinetik yang ditransfer dari foton ke elektron dalam elemen volume dengan massa ( $dm$ ) disebut *Kerma* (*kinetic energy released in the medium, dE*)<sup>[2]</sup>:

$$K = \frac{d\bar{E}_{tr}}{dm} \left[ \frac{\text{energi}}{\text{massa}} \right] = K = \Phi \frac{\mu}{\rho} \bar{E}_{tr} \quad (2.1)$$

$\Phi \frac{\mu}{\rho}$  adalah jumlah foton yang melakukan interaksi per unit massa

$\bar{E}_{tr}$  adalah energi rata-rata yang ditransfer kepada elektron dalam interaksi.

*Kerma* total dapat dibagi menjadi dua komponen, *kerma* tumbukan  $K_{col}$  dan  $K_{rad}$ . Yang dimaksud dengan  $K_{col}$  adalah bagian *kerma* yang menghasilkan elektron dan memberikan energinya untuk ionisasi sepanjang lintasan elektron dalam medium. Dengan demikian  $K_{col}$  adalah energi yang ditransfer kepada banyak partikel per satuan massa pada suatu titik tertentu, dengan tidak memasukkan energi hilang akibat bremsstrahlung dan energi yang dihasilkan dari satu partikel bermuatan menjadi ke partikel lain (anihilasi elektron – positron). Sedangkan  $K_{rad}$  adalah bagian *kerma* yang dipakai untuk produksi bremsstrahlung.

$$K = K_{col} + K_{rad} \quad (2.2)$$

$$K_{col} = K (1-g) \quad (2.3)$$

Untuk berkas dengan monoenergi:  $K_{col} = \psi \left( \frac{\mu_{abs}}{\rho} \right)$  (2.4)

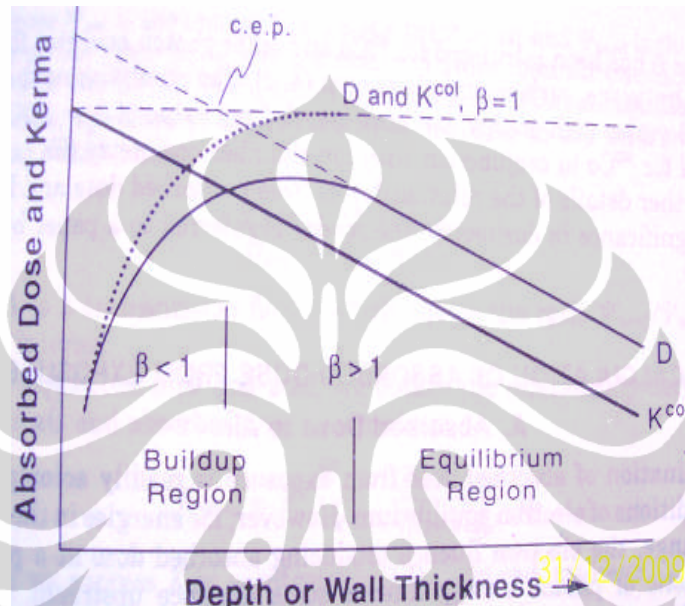
Untuk berkas polienergi, nilai  $K_{col}$  dapat diperoleh dengan menghitung rata-rata nilai  $\frac{\mu_{abs}}{\rho}$  dan menyatakan  $\psi$  dengan integrasi dalam daerah spektrum energinya.

$$K_{col} = \int_0^{E_{max}} \Psi_E(E) \frac{\mu_{abs}}{\rho}(E) dE = \Psi \left( \frac{\bar{\mu}_{abs}}{\rho} \right) \quad (2.5)$$



$$\Psi = \int_0^{E_{\max}} \Psi_E(E) dE \quad \text{dan} \quad \left( \frac{\bar{\mu}_{\text{abs}}}{\rho} \right) = \frac{1}{\Psi} \int_0^{E_{\max}} \Psi_E(E) \frac{\mu_{\text{abs}}(E)}{\rho} dE \quad (2.6)$$

Transfer energi (*kerma*) foton tidak terjadi pada tempat yang sama dengan absorpsi energi oleh medium (dosis absorpsi). Ini disebabkan karena jangkauan elektron yang tertentu dan tidak sama dengan nol. Secara skematis hubungan antara *kerma* dengan dosis absorpsi dapat diilustrasikan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Hubungan antara *kerma* dengan dosis absorpsi<sup>[2,7]</sup>.

Pada kenyataannya, sangat sulit terjadi keseimbangan elektronik setelah kedalaman maksimum. Secara umum hubungan dosis dan *kerma* dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$D = \beta K_{\text{col}} \quad (2.7)$$

Bila foton radiatif tidak ada yang keluar dari sistem atau volume yang diamati, diasumsikan harga  $\beta = 1$ . Harga  $\beta < 1$  terjadi pada daerah buildup. Setelah daerah buildup, bila dianggap tidak ada atenuasi ataupun hamburan, maka akan terjadi keseimbangan muatan elektronik (CPE, charged particle equilibrium), berarti  $D = K_{\text{col}}$ , yang ditunjukkan oleh kurva dosis dan *kerma* berimpit pada Gambar 2.1.

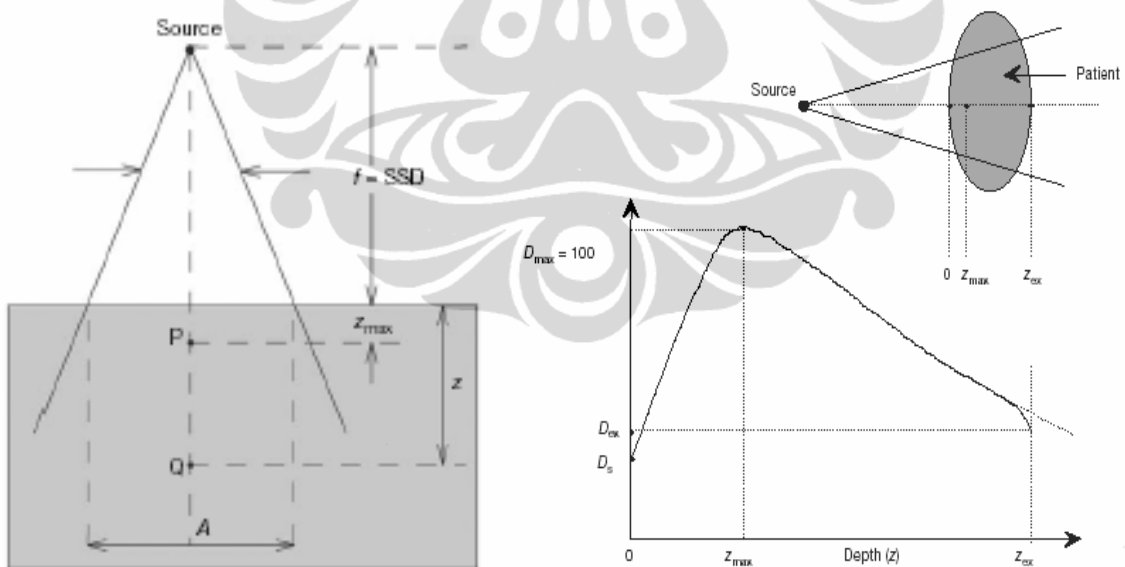
Pada kenyataannya, akan terjadi atenuasi foton maupun hamburan, sehingga setelah melampaui daerah buildup, akan terjadi daerah keseimbangan transien (TCPE, *transient charged particle equilibrium*), hubungan antara *kerma* dengan dosis konstan, mengingat untuk berkas foton energi tinggi, jangkauan elektron yang dihasilkannya tidak berubah dengan kenaikan kedalaman.

Bila terjadi keseimbangan yang sebenarnya, yang berarti terjadi pada kedalaman maksimum, hubungan antara *kerma* dan dosis absorpsi menjadi sebagai berikut :

$$D = \Phi \frac{\mu}{\rho} \bar{E}_{\text{abs}} = K_{\text{col}} = K(1-g) \quad (2.8)$$

$g$  adalah fraksi energi yang diubah menjadi bremsstrahlung. Nilai  $g$  tergantung pada energi kinetik elektron dan juga nomer atom material ( $Z$ ). Nilai  $g$  meningkat dengan kenaikan harga  $Z$ . Peristiwa ini terjadi pada pengukuran Persentase dosis kedalaman (*Percentage Depth Dose / PDD*).

Persentase dosis kedalaman (*Percentage Depth Dose / PDD*) diukur dengan menggunakan fantom air dengan kedalaman *semitak hingga*, radiasi datang tegak lurus permukaan, berhubungan dengan dosis pada sumbu utama [2,3,8,9]. Jarak antara permukaan sampai dengan titik dengan dosis maksimum disebut kedalaman maksimum atau kedalaman *buildup*. Untuk energi radiasi tinggi, elektron sekunder hasil interaksi cenderung bergerak ke depan, sehingga jumlah ionisasi meningkat dan maksimum pada saat mencapai kedalaman sama dengan jangkauan electron [3,8,10], dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Distribusi PDD [3]

*PDD* dapat dihitung dengan rumus :

$$= \text{PDD}^{\text{primer}} = 100 \frac{D_Q^{\text{primer}}}{D_P^{\text{primer}}} = 100 \left( \frac{f + z_{\text{maks}}}{f + z} \right)^2 e^{-\mu_{\text{eff}}(z - z_{\text{maks}})} \quad (2.9)$$

$\mu_{\text{eff}}$  adalah koefisien atenuasi efektif linear radiasi primer dalam fantom (untuk radiasi gamma  $^{60}\text{Co}$  harga  $\mu_{\text{eff}}$  dalam air adalah  $0.0657 \text{ cm}^{-1}$ ). Titik  $Q$  merupakan titik yang berubah-ubah di kedalaman  $z$  pada berkas sumbu pusat. Titik  $P$  menunjukkan titik acuan dosis khusus di  $z = z_{\text{maks}}$  pada berkas sumbu pusat [3].

PDD sebagai fungsi kedalaman  $z$ , lapangan radiasi  $A$ , SSD / *source surface distance* (sering ditunjukkan dengan  $f$ ), dan energi foton  $h\nu$ . Kedalaman maksimum dan dosis permukaan/dosis kulit tergantung pada energi radiasi, energi foton meningkat akan menaikkan kedalaman maksimum dan menurunkan dosis permukaan. Nilai PDD berkisar dari 0 di  $z = \infty$  sampai 100 di  $z = z_{\text{maks}}$ .

Untuk  $A$ ,  $f$ , dan  $h\nu$  yang konstan PDD awalnya meningkat dari permukaan sampai  $z = z_{\text{maks}}$  dan kemudian menurun seiring dengan meningkatnya  $z$ . Dosis kedalaman maksimum dan dosis permukaan bergantung pada berkas energi; makin besar berkas energinya maka makin besar pula dosis kedalaman maksimumnya dan makin kecil dosis permukaan. Jika  $z$ ,  $f$ , dan  $h\nu$  yang konstan maka PDD meningkat seiring dengan meningkatnya  $A$  karena kontribusi hamburan yang meningkat ke titik sumbu pusat. Dan untuk  $z$ ,  $A$  dan  $h\nu$  yang konstan maka PDD meningkat seiring dengan meningkatnya  $f$  karena pengaruh  $z$  yang menurun terhadap faktor kuadrat terbalik, yang menentukan komponen primer dari berkas foton. Sedangkan jika  $z$ ,  $A$ , dan  $f$  yang konstan maka PDD di luar  $z_{\text{maks}}$  meningkat berkas energi karena terjadinya penurunan berkas atenuasi [3].

Setelah maksimum dicapai, PDD menurun dengan kenaikan kedalaman karena pengaruh *inverse square law* dan atenuasi foton. Kedalaman dosis maksimum juga sering disebut kedalaman *buildup*, dan daerah dari permukaan sampai dosis maksimum disebut daerah *buildup*. Kedalaman *buildup* dipengaruhi oleh lapangan radiasi dan energi radiasi primer [2,3,8,9]. Selain itu PDD juga dipengaruhi oleh sifat medium yakni kemiringan permukaan dan *inhomogenitas* medium [2,3,9].

Koreksi kemiringan permukaan telah diberikan oleh IAEA dan ICRU 24, berkas yang jatuh pada permukaan miring dikalkulasi oleh TPS dengan menggunakan koreksi yang mungkin digunakan oleh TPS, antara lain dengan metode koreksi TAR dan metode koreksi SSD efektif [3,9,11].

## 2.2. Treatment Planning System (TPS)

Sebelum radioterapi, perencanaan diperlukan untuk memperoleh akurasi tinggi dalam perlakuan. Kalkulasi dosimetri pada umumnya dilakukan dengan komputerisasi<sup>[12,13]</sup>. Pada mulanya *TPS* hanya dapat melakukan kalkulasi dosimetri dalam 2D (dimensi) yang memberikan informasi dosis pada penampang lintang bidang utama berkas. Kemudian ditingkatkan dengan perhitungan dosimetri tidak hanya pada bidang sumbu utama, juga pada beberapa bidang lain sejajar bidang utama. *TPS* demikian disebut 2D (dimensi) *Conformal*. Umumnya distribusi dosis diperoleh pada 3 atau 5 bidang penampang lintang tubuh. RS. Hasan Sadikin memiliki *TPS* 2D (dimensi) *Conformal*<sup>[8]</sup>. Saat ini telah berkembang *TPS* 3D (dimensi) yang memberikan informasi dosis pada volume medium yang menerima dosis radiasi.

Pada umumnya *software TPS* menggunakan salah satu dari 3 jenis algoritma yaitu *convolution / superposition algorithm*, *pencil beam algorithm*, dan *Monte Carlo method*<sup>[3,14]</sup>. *TPS* ISIS RS. Hasan Sadikin Bandung menggunakan program dasar algoritma metoda *Pencil Beam* dengan algoritma dasar :

$$D(x,y,z) = \frac{\mu_{en}}{\rho} \iiint \psi(x',y',z') K(x-x',y-y',z-z') dx'dy'dz' \quad [15] \quad (2.10)$$

Doppke menyatakan bahwa kalkulasi algoritma *TPS* dengan metode pencil beam meliputi pengukuran *PDD*, variasi sudut berkas dan sudut kolimator, sudut *scatter* dengan model gaussian, rekonstruksi pada *TPS* bukan 3 D (dimensi), kalkulasi MU untuk lapangan yang tidak beraturan dan kalkulasi dosis termasuk untuk tulang dan rongga udara dalam tubuh<sup>[16]</sup>.

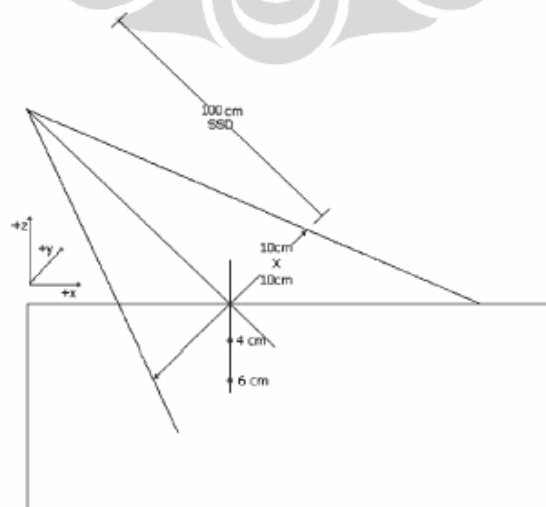
*PDD* hanya memberikan informasi dosis pada sumbu utama. Informasi dosis di luar sumbu utama diberikan dalam bentuk kurva isodosis. Kurva isodosis pada umumnya berdasarkan data pengukuran dalam fantom air. *PDD* dipengaruhi oleh kualitas berkas, ukuran lapangan dan bentuk lapangan<sup>[17,18]</sup>. Kurva isodosis dari *TPS* merupakan representasi variasi dosis dari fungsi kedalaman (*PDD*), jarak (*inverse square law*) dan atenuasi<sup>[2]</sup>.

### 2.3. Verifikasi TPS

Verifikasi TPS diperlukan untuk mengetahui ketelitian kinerja TPS<sup>[19]</sup>. Menurut Oloffson, TPS digunakan untuk kalkulasi distribusi dosis dengan software yang terintegrasi. Kecepatan dan keakuratan dengan kalkulasi dosis TPS sangat menentukan keberhasilan penyinaran. Verifikasi kalkulasi dosis sangat diperlukan untuk memastikan keakuratan pemberian dosis penyinaran. Verifikasi kalkulasi dosis dengan melakukan perbandingan pengukuran dengan hasil rekonstruksi TPS<sup>[19]</sup>

Sebelum implementasi dosimetri radiasi TPS dalam klinis, algoritma kalkulasi dosis harus divalidasi, algoritma harus dapat mengkalkulasi secara akurat berbagai variasi berkas. Secara umum algoritma harus dapat melakukan kalkulasi distribusi dosis untuk berkas radiasi normal, sedangkan untuk variasi klinis dengan kemiringan sudut gantri harus diverifikasi terlebih dahulu misal penyinaran tangensial payudara<sup>[20]</sup>. Selama *treatment*, verifikasi dilakukan untuk meyakinkan kebenaran pemberian dosis, selain menggunakan TLD, verifikasi juga dapat dilakukan dengan simulasi Monte Carlo untuk melihat kecenderungan karakteristi algoritma untuk kalkulasi dosis<sup>[7,21]</sup>.

Menurut Gifford et al, distribusi dosis untuk *oblique-incidence* berbeda terhadap *normal incidence*, pengujian dilakukan dengan fantom air, luas lapangan 10x10 cm<sup>2</sup>, SSD 100 cm, sudut gantri 330<sup>0</sup> dan 305<sup>0</sup> dan pengukuran dilakukan pada sumbu vertical. Pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 2.3<sup>[20]</sup>.



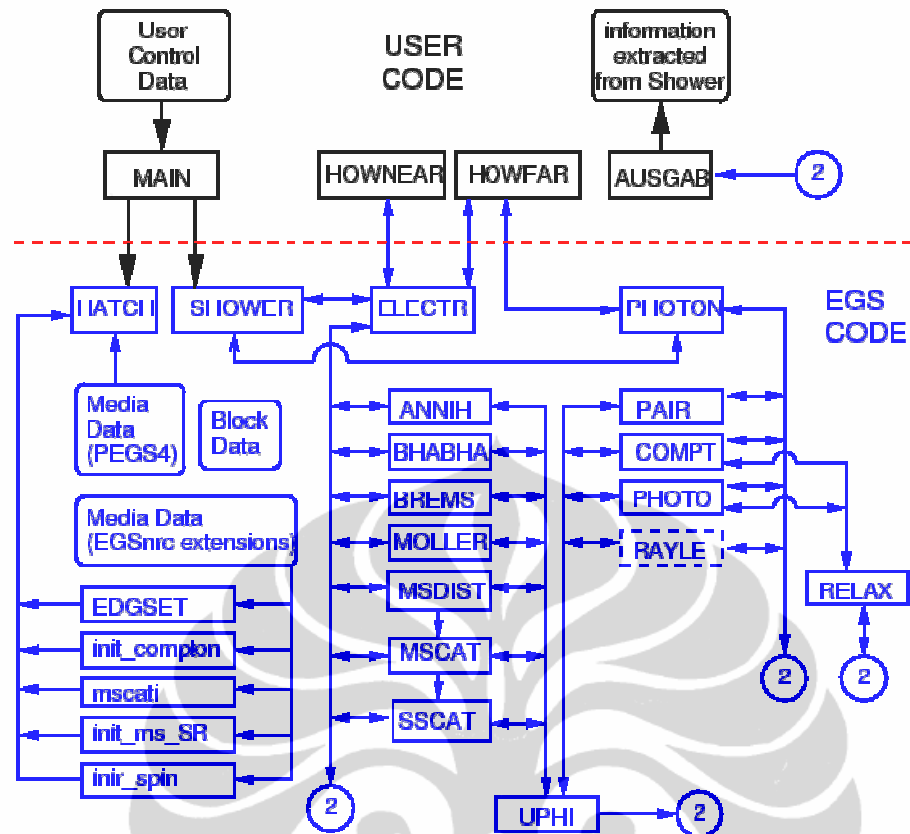
Gambar 2.3. Pengujian *oblique-incidence* oleh Gifford et al. Pengujian dilakukan pada fantom air dengan lapangan 10x10 cm<sup>2</sup>, SSD 100 cm, kedalaman 4 cm dengan sudut gantri 305<sup>0</sup> dan kedalaman 6 cm dengan sudut gantri 330<sup>0</sup><sup>[20]</sup>.

#### 2.4. Metode Monte Carlo dalam Radioterapi

Monte Carlo adalah suatu metoda simulasi yang sering digunakan untuk suatu peristiwa yang bersifat stokhastik. dalam hal ini gejala fisis yang diamati direpresentasikan dengan bilangan random. [22,23]. Dalam metode Monte Carlo cara untuk menghasilkan bilangan random yang digunakan untuk menentukan suatu perilaku atau keadaan dari partikel radiasi merupakan suatu hal yang penting. Pada saat partikel dibangkitkan maka hal pertama yang harus diperhatikan yaitu sejauh mana partikel itu bergerak sebelum partikel tersebut mengalami interaksi dengan atom dalam materi tersebut. Jarak yang ditempuh oleh partikel disebut dengan jalan bebas rata-rata. Untuk menentukan jalan bebas rata-rata dari bilangan random, maka hal yang perlu diperhatikan adalah besarnya peluang terjadinya tumbukan yang pertama dalam selang  $l$  sampai  $l+dl$  [22], secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P(l) = \int_0^l \exp(-\mu l) \mu dl = 1 - \exp(-\mu l)$$

Program Monte Carlo *DOSXYZnrc* dapat melakukan simulasi transport foton maupun elektron dan menghitung distribusi dosis pada fantom di kedalaman tertentu dengan menggunakan *voxel* yaitu titik terkecil dalam bentuk 3 dimensi. Jumlah maksimum *voxel* yang diperbolehkan untuk sumbu X dan Y masing-masing 128 dan *voxel* untuk sumbu Z adalah 56. Dalam proses transport foton atau elektron terjadi berbagai interaksi antara partikel atau medium yang dilewati oleh foton atau elektron, hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.4.

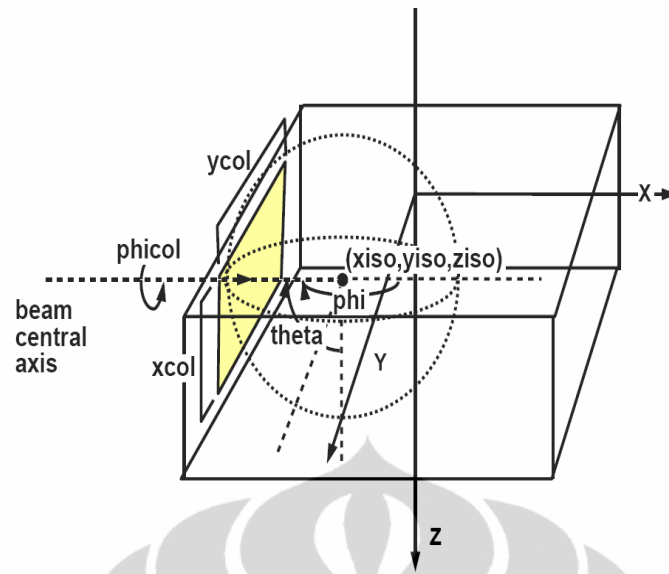


Gambar 2.4. Skema interaksi radiasi dengan materi dalam program Monte Carlo <sup>[23]</sup>.

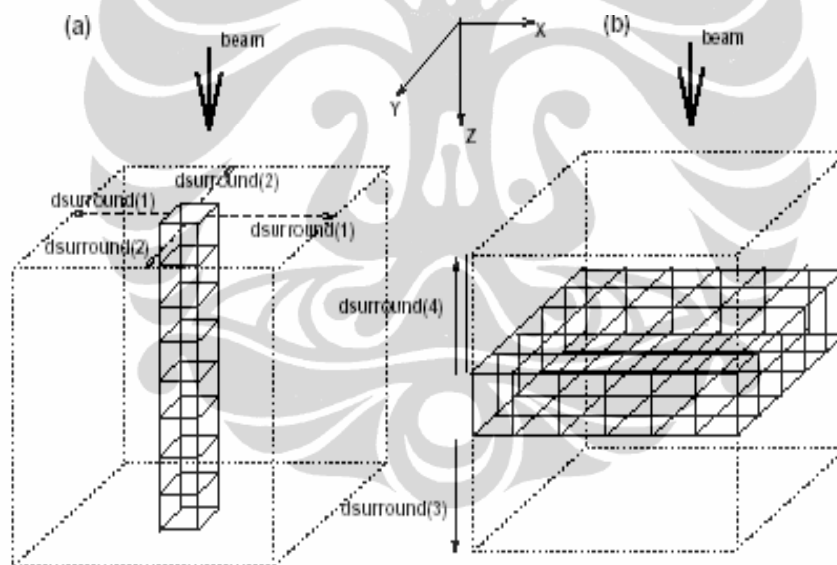
Tipe interaksi dan partikel yang dihasilkan ditentukan oleh *crosssection / probability density function (PDF)* yang merupakan fungsi dari energi dan kedalaman. Kumpulan data material dan *crosssection* untuk *EGSnrc* dibuat dengan kode *PEGS4*. Kode ini berdiri sendiri dan dapat digunakan untuk membangun data material yang akan digunakan dalam simulasi <sup>[17]</sup>.

Untuk input data pada program *DOSXYZnrc* perlu didefinisikan beberapa parameter yaitu *fantom* yang akan dipergunakan untuk simulasi, arah berkas elektron, spektrum berkas elektron, media yang akan dilewati berkas elektron dan banyaknya partikel yang akan disimulasikan. Sesuai dengan karakteristik interaksi antara berkas radiasi dengan materi maka untuk mensimulasikan berkas foton diperlukan kira-kira 300 juta partikel dan untuk berkas elektron cukup 10-20 juta partikel <sup>[23]</sup>.

Data tentang *head Linac* sudah didefinisikan dalam Program *DOSXYZnrc* tetapi arah penyudutan gantri perlu didefinisikan menurut koordinat polar seperti pada Gambar 2.5 dan Gambar 2.6.



Gambar 2.5. Sistem koordinat *polar* dengan titik isosenter pada  $x_{iso}$ ,  $y_{iso}$ ,  $z_{iso}$ . Posisi arah sinar ada kolimator didefinisikan menggunakan sudut  $\phi$  dan  $\theta$  <sup>[23]</sup>



Gambar 2.6. Geometri perjalanan partikel, Z : vertikal, X-Y : horizontal, <sup>[23]</sup>.

Salah satu parameter penting dalam simulasi yang dapat mempengaruhi efisiensi waktu perhitungan yaitu *ECUT* dan *PCUT*. *ECUT* adalah batas energi terendah dimana simulasi akan menghentikan transport partikel apabila energi elektron berada di bawah nilai *ECUT*. Sedangkan *PCUT* adalah batas energi terendah dari foton dimana simulasi akan menghentikan transport partikel apabila energi foton berada dibawah *PCUT* <sup>[23]</sup>.



## BAB 3

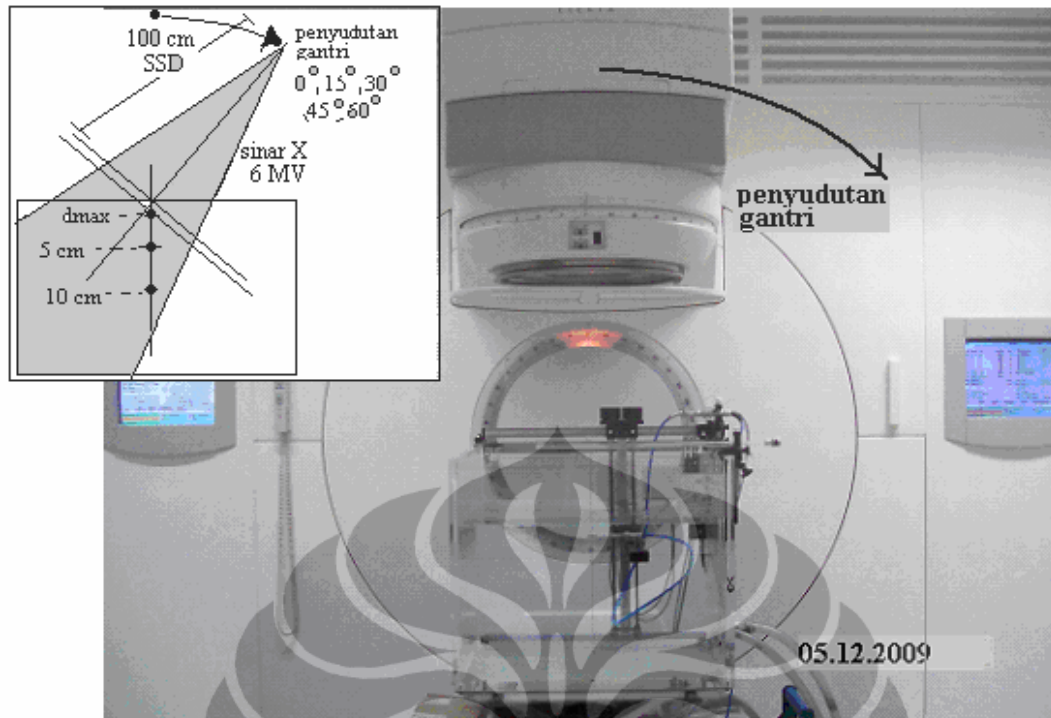
### METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari 2 bagian. Bagian pertama berkaitan dengan pengukuran dosimetri berkas sinar X 6 MV produksi *Linac* Elekta Precise 5991 milik Rumah Sakit Umum Pusat dr. Hasan Sadikin Bandung. Hasil pengukuran digunakan untuk verifikasi hasil kalkulasi *TPS*. Bagian kedua penelitian adalah rekonstruksi *TPS* dan simulasi *Monte Carlo* dengan kondisi seperti pada pengukuran, selanjutnya hasil pengukuran, rekonstruksi *TPS* dan simulasi *Monte Carlo* diperbandingkan.

#### 3.1. Pengukuran *PDD* dan Profil Sinar X 6 MV

Ada 2 (dua) tahap pengukuran *PDD* dan profil berkas sinar X 6 MV. Tahap pertama adalah persiapan pengukuran, meliputi persiapan fantom yang akan digunakan yaitu fantom air MP3 3D ukuran 50x60x40 cm<sup>3</sup>. Fantom diletakkan pada posisi tepat dibawah gantri pesawat *Linac* pada sumbu 0<sup>0</sup> dan diisi air *aquades* yang tersimpan dibagian bawah tangki fantom air. Persiapan selanjutnya adalah merangkaikan dua buah detektor bilik ionisasi *semiflex* (*semiflex chamber ionisation*) 0.125cc (*reference type* M310100542, faktor kalibrasi  $N_W = 2.836E+08 \text{Gy.nC}^{-1}$ ) dan (*field type* M310100541, faktor kalibrasi  $N_W = 2.870E+08 \text{Gy.nC}^{-1}$ ) dengan elektrometer PTW (faktor kalibrasi  $N_W = 0.0525 \text{Gy.nC}^{-1}$ ) dan posisi detektor dalam penjepit fantom air. Setelah tersambung dengan elektrometer PTW, maka dari elektrometer PTW disambung lagi dengan Komputer khusus yang dilengkapi program pengukuran software Mephysto PTW Version 7.33.

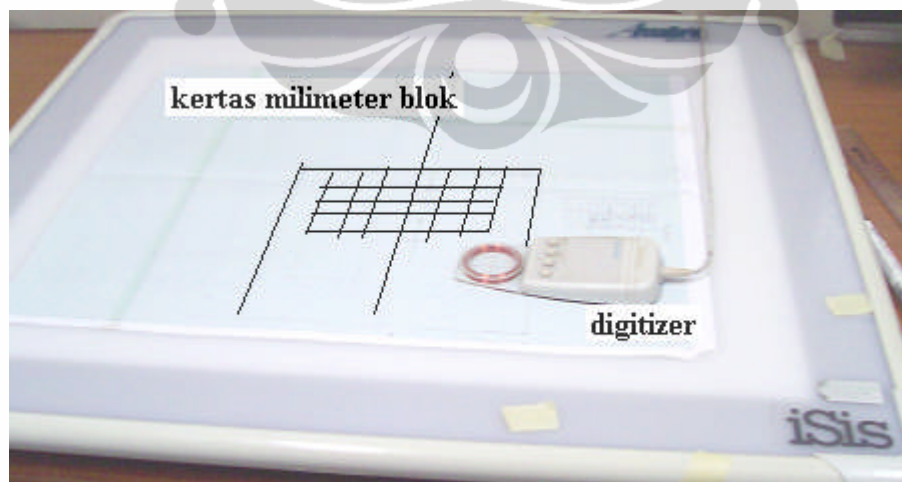
Tahap kedua adalah pengukuran yang dapat dilihat pada gambar 3.1. Dalam tahap pengukuran *PDD* dan profil ini, butuh kehati-hatian, yaitu selalu dicek kondisi jarak SSD (100 cm), luas lapangan (10x10 cm<sup>2</sup>, 15x15 cm<sup>2</sup> dan 20x20 cm<sup>2</sup>) dan penyudutan gantri dari 0<sup>0</sup> sampai dengan 60<sup>0</sup> dengan interval 15<sup>0</sup>. Setelah semua tahapan pengukuran selesai, dilanjutkan dengan pengukuran *PDD* dan profil secara langsung dan dilakukan evaluasi.



Gambar 3.1. Pengukuran relatif sinar x 6 MV pada lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  dengan sudut gantri  $0^\circ$  pesawat *Linac* Elekta Precise 5991 milik Rumah Sakit Umum Pusat dr. Hasan Sadikin Bandung.

### 3.2. Rekonstruksi TPS

Ada 3 tahap rekonstruksi *TPS*, yaitu tahap pertama adalah pembuatan fantom virtual 2 dimensi. Pembuatan fantom virtual 2 dimensi dilakukan di atas kertas milimeter blok dengan luas  $30 \times 30 \text{ cm}^2$  dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Rekonstruksi TPS

Tahap kedua adalah *plotting* area fantom. Dengan meletakkan gambar fantom virtual 2 dimensi di atas meja *plotting* yang dilengkapi dengan lampu *plotting* putih, kemudian dilakukan *plotting* dengan *digitizer* pada titik-titik yang

dikehendaki (masing-masing ujung tepi gambar, garis kedalaman 1, 1.2, 1.4, 1.6, 1.8 cm, 2 cm, 2.5 cm, 5 cm dan 10 cm)

Tahap ketiga adalah rekonstruksi kurva isodosis. Data titik-titik *plotting* dilengkapi dengan penentuan sumber radiasi berkas sinar X 6 MV, penyudutan gantri ( $0^0 - 60^0$ ) dan luas lapangan penyinaran ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  dan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ ) secara otomatis akan diolah membentuk kurva isodosis dan nilai *PDD* pada titik yang diamati muncul pada monitor. Setelah kurva isodosis terbentuk, dilakukan *print out*, dan dilanjutkan dengan rekonstruksi untuk menghasilkan kurva *PDD* dan profil sumbu Y.

### 3.3. Simulasi Monte Carlo

Perhitungan untuk mendapatkan *PDD* dan Profil X – Y dari berkas sinar X 6 MV dengan metoda *Monte Carlo DOSXYZnrc* menggunakan Notebook dengan spesifikasi RAM 1GB, processor intel pentium dual core 1.86 GHz, sistem operasi Microsoft Windows XP 2003.

*Head Linactid* dilakukan pemodelan karena sudah tersedia dalam standar aplikasi program *DOSXYZnrc* tetapi input parameter lainnya harus didefinisikan terlebih dahulu dengan meng-*input* data seperti pada Gambar 3.3, yaitu Tahap 1 adalah *Fantom definition*. Bagian yang harus diperhatikan adalah penentuan *Global electron cut off energy / ECUT = 0,521 MeV*, selanjutnya adalah penentuan *Global photon cut off energy / PCUT = 0,01 MeV*.

Tahap 2 adalah *Define fantom*. Tahap 2 bagian pertama yaitu penentuan *voxel dimension* untuk menentukan tujuan simulasi awal adalah simulasi pengukuran *PDD*, maka ditentukan jumlah grup untuk sumbu X = 3, dengan panjang 20 cm. untuk jumlah grup sumbu Y = 3, dengan panjang 20 cm, dan untuk jumlah grup sumbu Z = 2 dengan panjang 40 cm. Program selanjutnya adalah simulasi pengukuran Profil X maka ditentukan jumlah grup untuk sumbu X = 5, dengan panjang 20 cm. untuk jumlah grup sumbu Y = 3, dengan panjang 20 cm, dan untuk jumlah grup sumbu Z = 1 dengan panjang 40 cm. Program terakhir adalah simulasi Profil Y maka ditentukan jumlah grup untuk sumbu X = 3, dengan panjang 20 cm. untuk jumlah grup sumbu Y = 5, dengan panjang 20 cm, dan untuk jumlah grup sumbu Z = 1 dengan panjang 40 cm.

? Title belajar dosxyznrc

### Phantom definition

If you are using source 2 or 4, you must define the materials in the phantom here first before defining the source.

? Define phantom using ...  non-CT data input  phantom created from CT data

? Global electron cutoff energy - ECUT (MeV) 0.521

? Global photon cutoff energy - PCUT (MeV) 0.01

? Print summary of highest 20 doses yes

### Source parameters

? Incident particle photon

? Source type 1 - Parallel beam from any direction with rectangular collimation

### Simulation parameters

? Number of histories 300000000

? IWATCH Output none

? Maximum CPU time (hours) 100

? RNG seed 1 33

? RNG seed 2 97

? Incident beam size (source 2, 4 or 8) 100.0

? Run option first time

? 'HOWFARLESS' off

? Thickness of region outside phantom is uniform

? Medium of region outside phantom VACUUM

? Output restart data after every batch

? Range rejection off

? ESAVE: range rejection done only below this energy (MeV)

? Photon splitting number 1

? # times to recycle each particle in phase space source 0

? Run job in parallel no

Gambar 3.3. Input data program simulasi Monte Carlo DosXYZnrc

Tahap 2 bagian kedua adalah penentuan *define media*. Ada 46 jenis material penyusun fantom yang tersedia dalam program dan jenisnya berbeda-beda. Untuk program simulasi ini ditentukan media yang digunakan disesuaikan dengan pengukuran *PDD* dan profil sinar x 6 MV secara langsung yaitu air, oleh karena itu ditentukan media fantom dalam program simulasi Monte Carlo adalah H<sub>2</sub>O700ICRU.

Tahap 2 Bagian ketiga adalah penentuan *Output*. *Output* dalam program simulasi Monte Carlo ini merupakan penentuan tujuan dilakukannya simulasi ini, oleh karena itu ditentukan tujuan simulasi ini adalah simulasi pengukuran *PDD* dengan *Z Scan* dan untuk simulasi pengukuran profil dengan *X Scan*.

Tahap 3 adalah *Source parameter*. Tahap 3 bagian pertama yaitu penentuan *incident particle*. *Incident particle* dalam program ini tersedia 3 pilihan yaitu : *photon*, *electron* dan *positron*. Karena pengukuran *PDD* dan profil secara langsung menggunakan sumber radiasi berkas sinar X 6 MV, maka *incident particle* dalam program ini yang dipilih adalah *photon*

Tahap 3 bagian kedua adalah penentuan *Source type*. Tersedia 9 pilihan *source type* dalam program ini, dan yang dikehendaki adalah kesesuaian dengan pengukuran secara langsung, maka dipilih *source type* no 1 (*Paralel beam from any direction with rectangular collimation*) dengan penentuan pengisian sudut *theta*, *phi*, ukuran luas lapangan penyinaran ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  atau  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ ), serta *spectrum* 6 MV

Tahap 4 adalah *Simulation parameter*. Bagian yang harus diperhatikan adalah penentuan jumlah partikel yang akan berinteraksi dalam program. Sedikit atau banyak jumlah partikel akan mempengaruhi akurasi dan presisi hasil program. Untuk program simulasi Monte Carlo ini ditentukan yaitu *number of histories* sebesar 300.000.000 partikel.

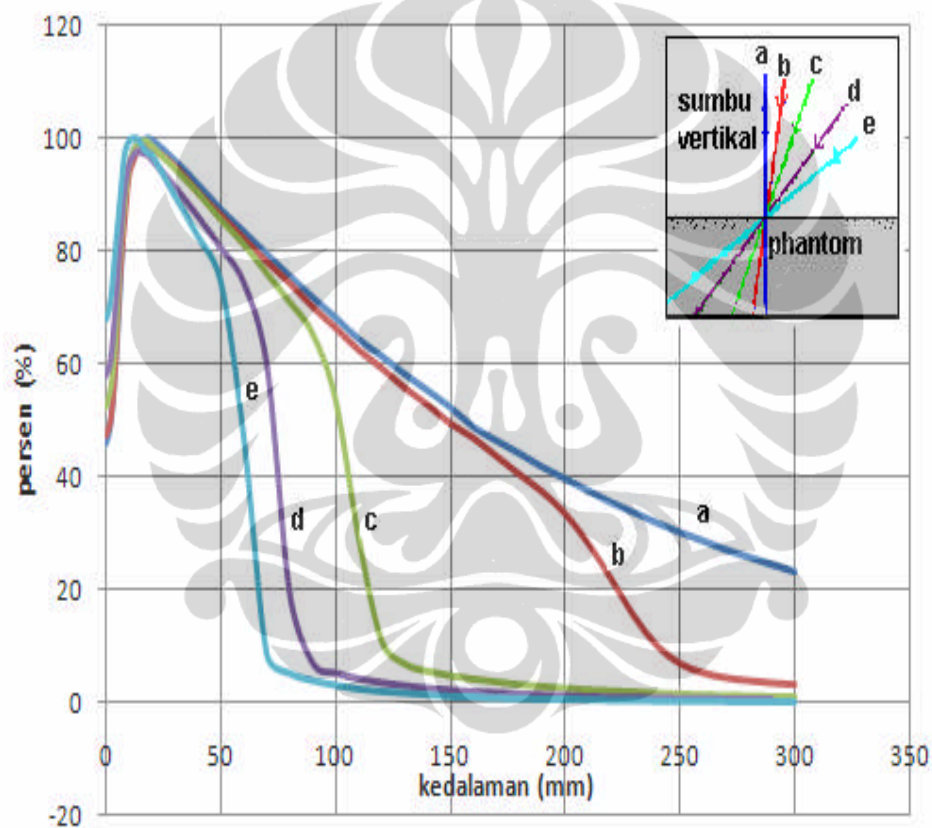
Setelah semua tahapan sudah ditentukan, maka program simulasi Monte Carlo untuk simulasi pengukuran *PDD* dan profil di-save dengan nama tertentu dilanjutkan dengan melakukan pilihan *Run* yaitu *compile* untuk mengetahui kelengkapan pengisian data *input* program, dilanjutkan *Run* untuk menjalankan program simulasi Monte Carlo sampai selesai dan dilanjutkan pengolahan hasil program simulasi sehingga menjadi kurva *PDD*, profil X dan profil Y.

## BAB 4

### HASIL PENELITIAN

#### 4.1. Persentase Dosis Kedalaman (*Percentage Depth Dose /PDD*)

Seluruh data hasil pengukuran *PDD* untuk luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  dan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ , tercantum dalam lampiran A. Sebagai contoh Gambar 4.1 menunjukkan kurva *PDD* dengan sudut gantri yang bervariasi terhadap sumbu vertikal untuk luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ .



Gambar 4.1. Kurva *PDD* pada sumbu vertikal dalam fantom air dengan variasi sudut gantri . Keterangan sudut gantri: a).  $0^\circ$ , b).  $15^\circ$ , c).  $30^\circ$ , d).  $45^\circ$  dan e).  $60^\circ$

Variasi sudut gantri akan mengakibatkan perubahan kedalaman  $d_{max}$  dan *PDD*, pada umumnya keduanya akan menurun dengan kenaikan sudut gantri. Pada luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  dan  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , sudut  $0^\circ$  dan  $15^\circ$  perubahan  $d_{max}$  tidak tampak. Dari lampiran A, diperoleh data perubahan nilai  $d_{max}$  untuk luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  dan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  yang ditunjukkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Nilai  $d_{max}$  dalam medium air dengan perubahan sudut gantri untuk luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  dan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ .

Sudut gantri	Kedalaman $d_{max}$ (cm) untuk luas lapangan			Deviasi kedalaman $d_{max}$ (%) untuk luas lapangan		
	$10 \times 10 \text{ cm}^2$	$15 \times 15 \text{ cm}^2$	$20 \times 20 \text{ cm}^2$	$10 \times 10 \text{ cm}^2$	$15 \times 15 \text{ cm}^2$	$20 \times 20 \text{ cm}^2$
0	1,8	1,8	1,6	0,0	0,0	0
15	1,8	1,8	1,6	0,0	0,0	0
30	1,6	1,6	1,6	-11,1	-11,1	0
45	1,4	1,6	1,4	-22,2	-11,1	-12,5
60	1,2	1,2	1	-33,3	-33,3	-37,5

Selain  $d_{max}$ , variasi sudut gantri akan menyebabkan penurunan  $PDD$  sumbu vertikal yang cepat / maksimum dan untuk selanjutnya disebut sebagai titik belok. Kedalaman titik belok akan meningkat dengan kenaikan luas lapangan untuk sudut gantri tertentu. Fenomena ini dapat dimengerti karena kedalaman sumbu vertikal yang masuk ke dalam lapangan radiasi untuk lapangan yang lebih luas tentunya lebih panjang.

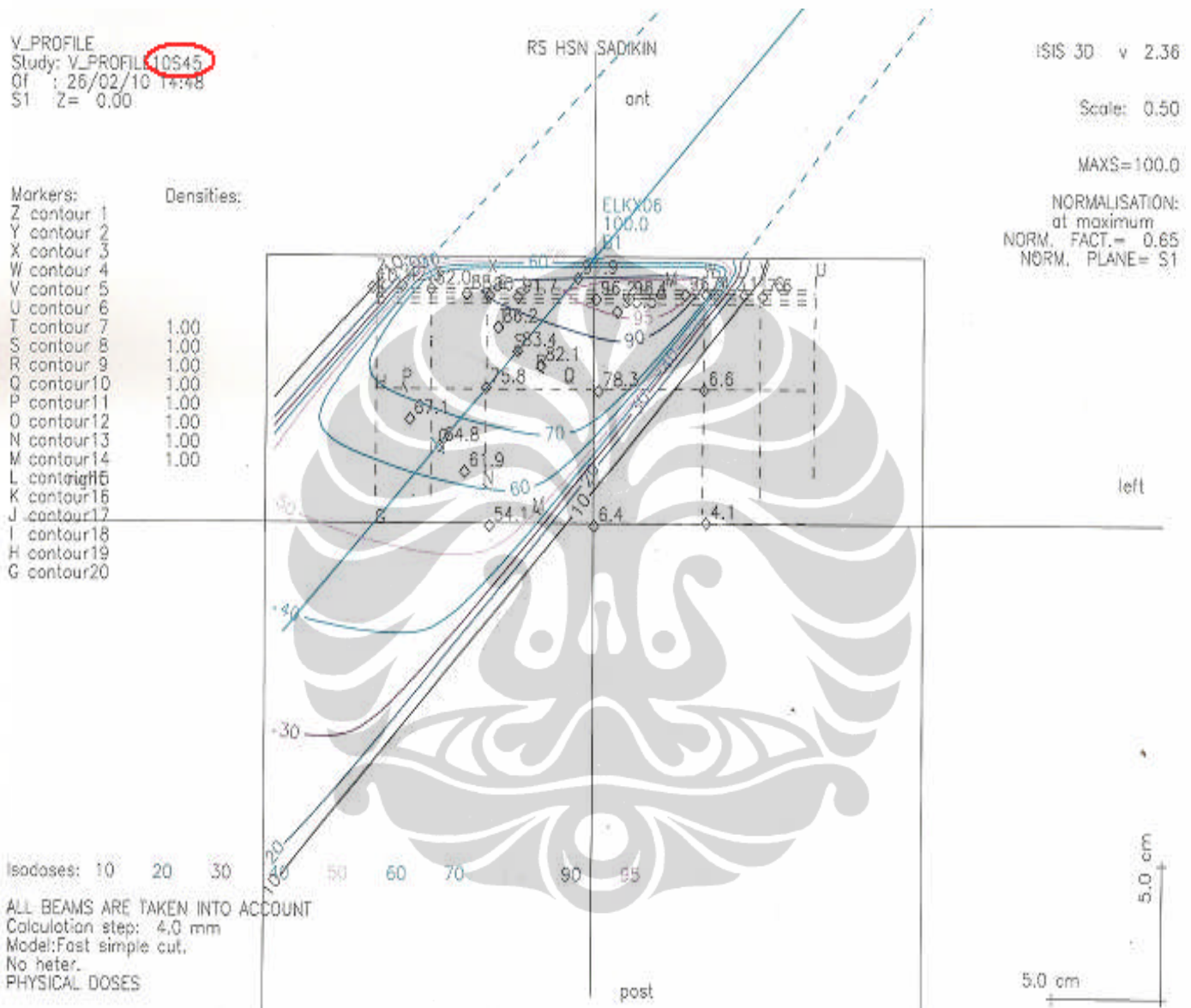
Dengan alasan yang sama, dapat dijelaskan bahwa untuk lapangan tertentu, kedalaman akan menurun dengan kenaikan sumbu gantri, untuk evaluasi selanjutnya dipilih penurunan  $PDD$  sebesar  $\leq 2\%$  terhadap  $PDD$  sumbu vertikal (sudut  $0^\circ$ ). Perubahan titik belok dan penurunan  $PDD \leq 2\%$  terhadap sumbu vertikal dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Titik kedalaman dengan penurunan  $PDD \leq 2\%$  terhadap sudut gantri  $0^\circ$  dan kedalaman titik belok dengan variasi sudut gantri untuk luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , dan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$

Sudut gantri	Kedalaman (cm) dengan deviasi $\leq 2\%$ terhadap $PDD$ sumbu vertikal			Kedalaman (cm) titik belok		
	$10 \times 10 \text{ cm}^2$	$15 \times 15 \text{ cm}^2$	$20 \times 20 \text{ cm}^2$	$10 \times 10 \text{ cm}^2$	$15 \times 15 \text{ cm}^2$	$20 \times 20 \text{ cm}^2$
0	-	-	-	-	-	-
15	11	3	1,2	21	-	-
30	5	2	0,8	10	15	21
45	1,6	1	0,8	6	11	14
60	1,8	1	0,8	5	7	9

Perubahan  $PDD$  pada sumbu vertikal dengan berbagai variasi gantri juga dapat diperoleh dari hasil rekonstruksi  $TPS$ . Perbandingan hasil pengukuran dengan hasil rekonstruksi  $TPS$  dapat digunakan untuk verifikasi ketelitian  $TPS$ . Data  $PDD$  sinar x 6 MV  $TPS$  diambil dari kurva isodosis dan dipilih pada kedalaman  $d_{max}$ , 5 cm dan 10 cm, dengan kondisi seperti pada pengukuran yakni SSD 100 cm serta lapangan penyinaran  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  dan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$

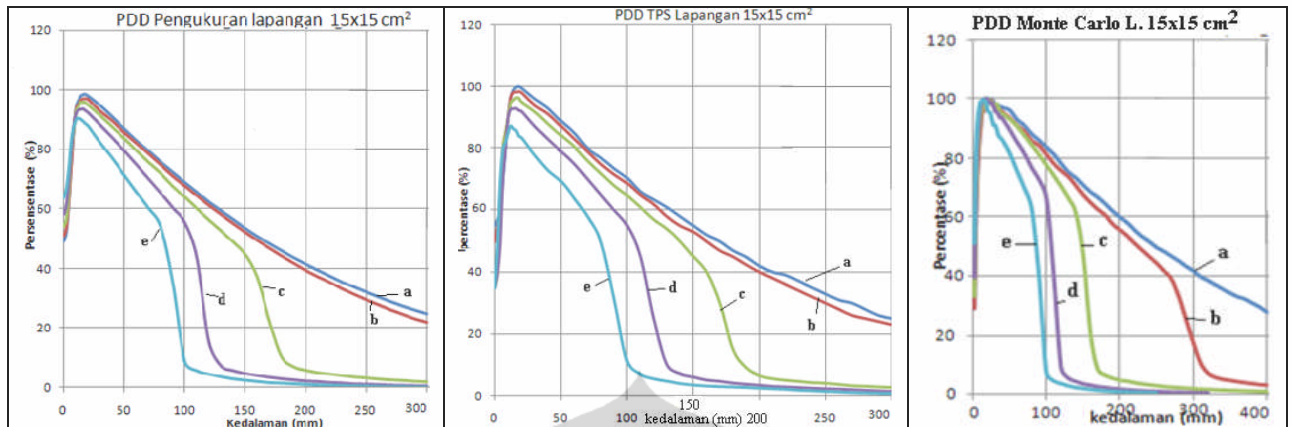
dengan sudut gantri yang bervariasi. Gambar 4.2 adalah contoh hasil *PDD TPS* untuk lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  dan sudut gantri  $45^\circ$ . Hasil *PDD TPS* yang lain dapat dilihat dalam lampiran C.



Gambar 4.2. Kurva isodosis luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , dengan penyudutan gantri  $45^\circ$

Nilai *PDD* pada sumbu vertikal hasil rekonstruksi *TPS* diberikan dalam Tabel 4.3. Untuk keperluan evaluasi selanjutnya, dalam tabel ini diberikan pula nilai *PDD* dari hasil pengukuran dan simulasi Monte Carlo yang diambil dari Gambar 4.3.





Gambar 4.3. Kurva *PDD* luas lapangan 15x15 cm<sup>2</sup> pengukuran, rekonstruksi TPS dan Simulasi Monte Carlo dengan variasi sudut gantri . Keterangan sudut gantri: a). 0<sup>0</sup>, b). 15<sup>0</sup>, c). 30<sup>0</sup>, d). 45<sup>0</sup> dan e). 60<sup>0</sup>

Data nilai *PDD* hasil pengukuran, rekonstruksi TPS dan simulasi Monte Carlo yang digunakan untuk evaluasi adalah nilai kedalaman pada *PDD* maksimum, nilai *PDD* pada kedalaman 5 cm dan 10 cm.

Tabel 4.3. Nilai beberapa titik *PDD* pada sumbu vertikal / sumbu normal terhadap permukaan untuk luas lapangan 10x10 cm<sup>2</sup>, 15x15 cm<sup>2</sup>, dan 20x20 cm<sup>2</sup> dengan variasi sudut gantri dan kedalaman  $d_{max}$ , 5 cm dan 10cm.

Luas Lapangan (cm <sup>2</sup> )	Sudut gantri (°)	Kedalaman <i>PDD</i> maksimum			<i>PDD</i> pada kedalaman					
		Pengukuran	TPS	Monte Carlo	5 cm			10 cm		
					Pengukuran	TPS	Monte Carlo	Pengukuran	TPS	Monte Carlo
10x10	0	1,8	1,8	2,4	86,9	88	95,0	68,2	68,5	82,0
	15	1,8	1,8	2,4	86,2	87,3	94,0	66,3	67,3	89,0
	30	1,8	1,8	2,0	85,4	85,6	92,0	53,5	56,1	56,0
	45	1,6	1,6	1,6	80,4	79,8	88,0	5,0	6,6	3,0
	60	1,2	1,2	1,4	74,3	69,6	79,0	3,0	4,6	2,0
15x15	0	1,8	1,8	2,4	87	88,8	96,0	69,1	70,2	83,0
	15	1,8	1,8	2,4	85,6	87,5	94,0	67,8	68,3	81,0
	30	1,6	1,6	1,6	83,8	84	93,0	64,1	64,8	78,0
	45	1,6	1,6	1,6	79,4	79,6	89,0	55,4	54,9	66,0
	60	1,2	1,2	1,4	71,3	69,4	82,0	8,8	10	7,0
20x20	0	1,6	1,6	1,8	87,2	88,9	96,0	69,5	71,4	84,0
	15	1,6	1,6	1,8	84,6	87	95,0	67,9	68,8	83,0
	30	1,6	1,6	1,8	81,7	82,8	94,0	64,3	64,9	80,0
	45	1,4	1,4	1,6	76,3	76,5	91,0	56,8	58,4	72,0
	60	1,0	1,2	1,2	70,2	66	84,0	44,0	45,7	57,0

Kedalaman dengan *PDD* maksimum, hasil rekonstruksi *TPS* tampak tidak berbeda dengan pengukuran untuk ketiga lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , dan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  dan untuk berbagai sudut gantri. Kedalaman yang lebih tinggi terjadi pada simulasi Monte Carlo yang diakibatkan oleh kualitas berkas yang lebih tinggi.

Kenaikan sudut gantri dan luas lapangan akan menurunkan *PDD*. Untuk hasil pengukuran dan rekonstruksi *TPS*, nilai *PDD* tidak jauh berbeda. Pada kedalaman 5 cm, *PDD* pada sumbu vertikal menurun dengan kenaikan luas lapangan dan sudut gantri. Fenomena ini disebabkan oleh kemiringan permukaan yang menyebabkan pengurangan volume media penghambur, khusus untuk sudut gantri  $60^\circ$ , deviasi antara pengukuran dan rekonstruksi *TPS* mencapai 6 %.

Kecenderungan penurunan yang sama, terjadi pada kedalaman 10 cm, kecuali pada daerah yang telah keluar dari lapangan berkas. Titik vertikal mulai pada sudut gantri  $45^\circ$  dengan luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  sudah berada di luar lapangan, sedangkan untuk luas lapangan  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , pada sudut gantri  $60^\circ$ , untuk luas lapangan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  masih berada dalam lapangan. Temuan ini tidak berbeda dengan berbagai literatur terdahulu<sup>[2,9]</sup>.

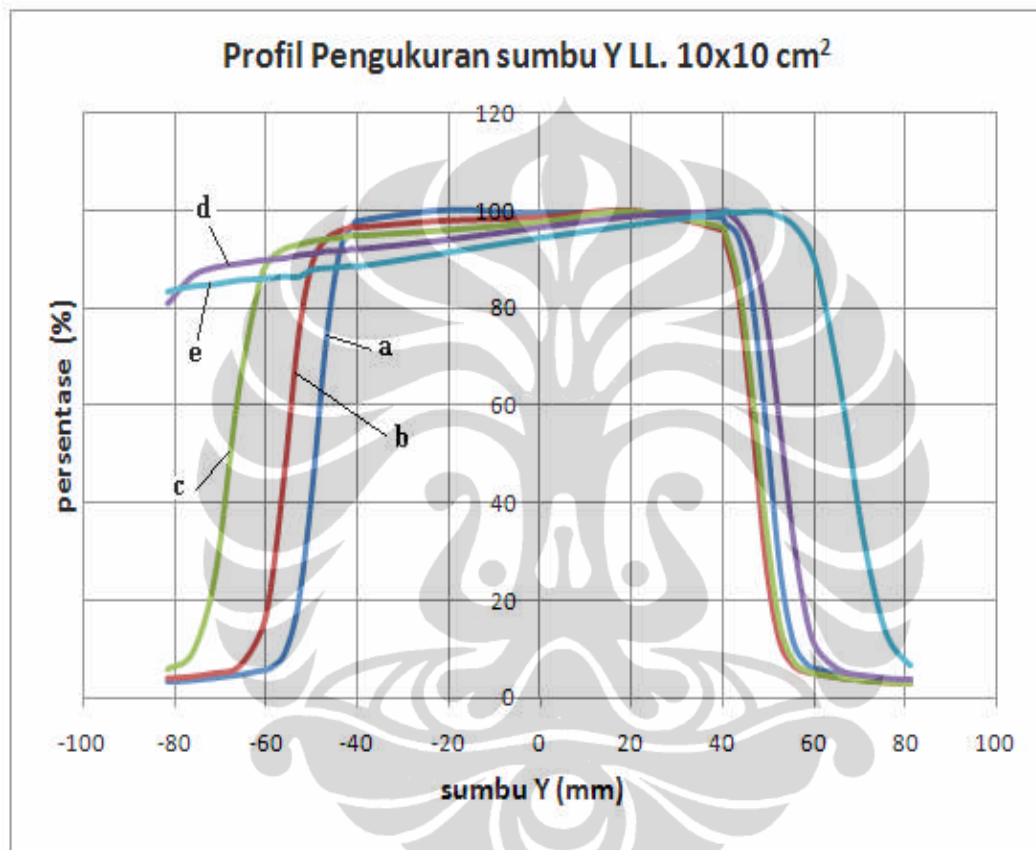
*PDD* hasil simulasi Monte Carlo pada kedalaman 5 cm maupun 10 cm memberikan hasil relatif lebih tinggi dibanding dengan pengukuran dan rekonstruksi *TPS*. Perbedaan *PDD* kedalaman 5 cm cukup signifikan mencapai 19 %, sedangkan pada kedalaman 10 cm, perbedaan berada diantara -40 % s.d. 34 %. Perbedaan ini disebabkan karena kualitas berkas yang digunakan simulasi Monte Carlo relatif lebih tinggi.

#### 4.2. *PDD* di Luar Sumbu Vertikal

Untuk mengetahui perubahan *PDD* di luar sumbu vertikal dilakukan pengukuran profil sepanjang sumbu X dan sumbu Y pada kedalaman  $d_{max}$  dengan kondisi yang sama dengan pengukuran *PDD*. Profil sepanjang sumbu X untuk berbagai sudut gantri dengan lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  dan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  pada saat dilakukan pengukuran, rekonstruksi *TPS* maupun simulasi Monte

Carlo menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan, hasil pengukuran profil sumbu X untuk semua lapangan dapat dilihat pada lampiran E.

Dengan metode yang sama, diukur pula profil sepanjang sumbu Y yang hasilnya untuk lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  dapat dilihat pada Gambar 4.4, sedangkan hasil untuk lapangan  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  dan  $20 \times 20$  dapat dilihat pada lampiran F.



Gambar 4.4. Profil berkas sinar X 6 MV pada sumbu Y dalam medium air, SSD 100 cm, lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  dan kedalaman  $d_{max}$ . Keterangan sudut gantri: a).  $0^\circ$ , b).  $15^\circ$ , c).  $30^\circ$ , d).  $45^\circ$  dan e).  $60^\circ$

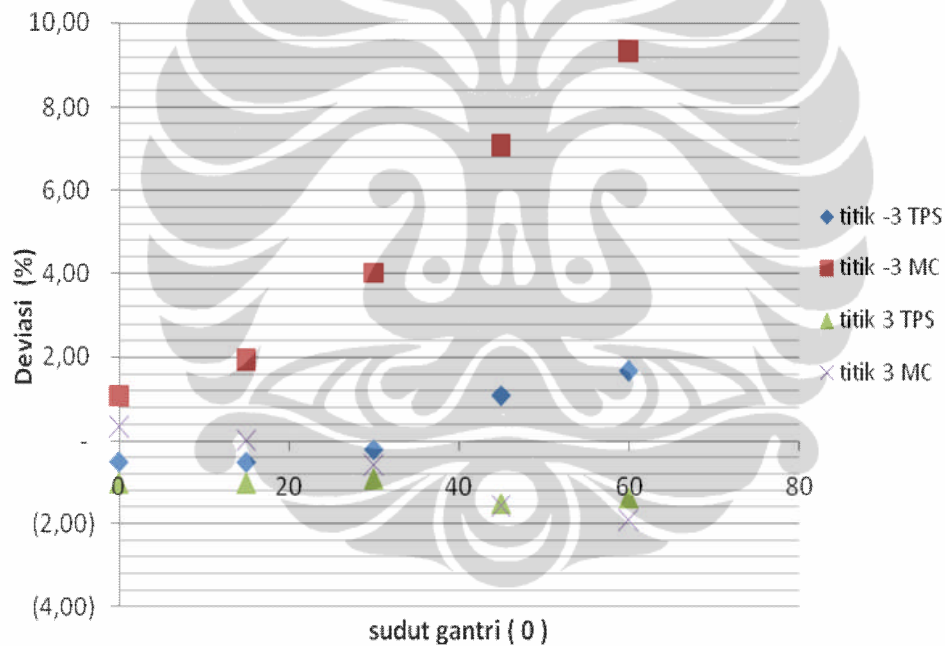
Dari kurva profil dipilih 2 (dua) titik off axis, pada titik-titik tersebut dapat langsung dibaca secara otomatis dari hasil perhitungan komputer. Kemudian nilai *PDD* pada off axis berbagai titik tersebut diperbandingkan dengan *PDD* pada off axis *TPS* yang dapat dilihat dari kurva isodosis. Nilai *PDD* diluar sumbu Y hasil pengukuran, rekonstruksi *TPS* dan simulasi Monte Carlo untuk luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  dapat dilihat dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4. *PDD* luas lapangan 10x10 cm<sup>2</sup> hasil pengukuran, rekonstruksi *TPS*, dan simulasi Monte Carlo pada titik -3 cm dan 3 cm di luar sumbu *Y* pada kedalaman *dmax* dengan perubahan sudut gantri

Sudut gantri	Titik -3					Titik 3				
	P	TPS	Deviasi TPS terhadap P (%)	MC	Deviasi MC terhadap P (%)	P	TPS	Deviasi TPS terhadap P (%)	MC	Deviasi MC terhadap P (%)
0	98,5	98	-0,51	99,55	1,07	99	98	-1,01	99,34	0,34
15	97,5	97	-0,51	99,39	1,94	99	98	-1,01	99,02	0,02
30	95,7	95,5	-0,21	99,54	4,01	98,9	98	-0,91	98,33	-0,58
45	93	94	1,08	99,57	7,06	99,5	98	-1,51	97,95	-1,56
60	90	91,5	1,67	98,4	9,33	98,35	97	-1,37	96,48	-1,90

Keterangan : P = Pengukuran TPS = Rekonstruksi TPS MC = Simulasi Monte Carlo

Apabila nilai pengukuran digunakan sebagai nilai acuan, maka deviasi *PDD* hasil rekonstruksi *TPS* dan kalkulasi Monte Carlo dapat dijelaskan dengan Gambar 4.5



Gambar 4.5. Deviasi perbandingan *PDD off axis* antara pengukuran dengan rekonstruksi *TPS* dan pengukuran dengan simulasi Monte Carlo pada luas lapangan 10x10 cm<sup>2</sup>

Nilai *PDD* pada kedalaman maksimum untuk lapangan 10x10 cm<sup>2</sup> (Gambar 4.4) dalam daerah kuadran (-), deviasi meningkat dengan kenaikan sudut gantri, hal ini disebabkan karena dengan kenaikan sudut gantri maka semakin berkurang ketebalan media penghambur. Dibandingkan dengan rekonstruksi *TPS*, simulasi Monte Carlo mempunyai deviasi *PDD* lebih tinggi untuk daerah kuadran (-) dengan  $Y = -3$ , deviasi 1,67% untuk rekonstruksi *TPS*

terhadap pengukuran, deviasi 9,33 % untuk simulasi Monte Carlo terhadap pengukuran. Untuk daerah kuadran (+) pada umumnya mempunyai deviasi hasil rekonstruksi *TPS* maupun simulasi Monte Carlo pada *PDD* kedalaman maksimum pada umumnya mempunyai deviasi  $\pm 2$  % pada sudut gantri  $60^\circ$ .

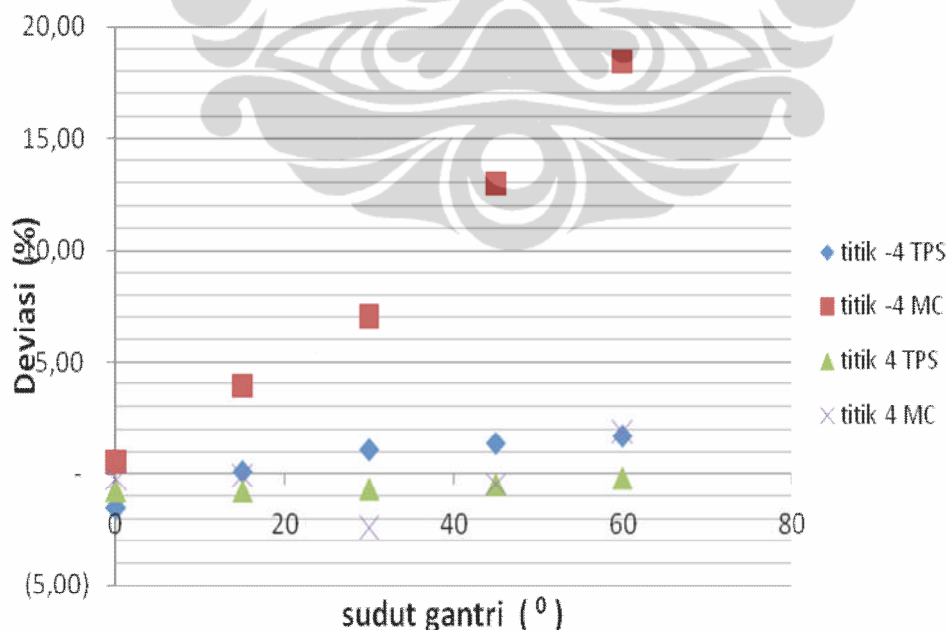
Nilai *PDD* diluar sumbu utama Y hasil pengukuran, rekonstruksi *TPS* dan simulasi Monte Carlo untuk luas lapangan  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  dapat dilihat dari Tabel 4.5.

Tabel 4.5. *PDD* luas lapangan  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  hasil pengukuran, rekonstruksi *TPS*, dan simulasi Monte Carlo pada titik -4 cm dan 4 cm di luar sumbu Y pada kedalaman  $d_{max}$  dengan perubahan sudut gantri

Sudut Gantri	Titik -4					Titik 4				
	P	<i>TPS</i>	Deviasi <i>TPS</i> terhadap P (%)	MC	Deviasi MC terhadap P (%)	P	<i>TPS</i>	Deviasi <i>TPS</i> terhadap P (%)	MC	Deviasi MC terhadap P (%)
0	99,5	98	-1,51	100	0,50	99,8	99	-0,80	99,55	-0,25
15	95,9	96	0,10	99,65	3,91	99,8	99	-0,80	99,73	-0,07
30	92,5	93,5	1,08	99,02	7,05	99,7	99	-0,70	97,3	-2,41
45	87,8	89	1,37	99,2	12,98	98,5	98	-0,51	98,05	-0,46
60	82,6	84	1,69	97,82	18,43	95,2	95	-0,21	97	1,89

Keterangan : P = Pengukuran *TPS* = Rekonstruksi *TPS* MC = Simulasi Monte Carlo

Nilai deviasi antara rekonstruksi *TPS* dan simulasi Monte Carlo yang diperbandingkan terhadap pengukuran dapat dijelaskan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6. Deviasi perbandingan *PDD* off axis antara pengukuran dengan rekonstruksi *TPS* dan pengukuran dengan simulasi Monte Carlo pada luas lapangan  $15 \times 15 \text{ cm}^2$

Kecenderungan perubahan nilai deviasi yang sama terjadi pada lapangan  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ . Deviasi *PDD* hasil rekonstruksi *TPS* maupun simulasi Monte Carlo terhadap pengukuran berubah dengan kecenderungan yang sama dengan yang terjadi pada luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , daerah kuadran (-) deviasi rekonstruksi *TPS* terhadap pengukuran mencapai 1,69 % untuk sudut  $60^\circ$  dan 18,43 % untuk simulasi Monte Carlo. Untuk daerah kuadran (+) deviasi *PDD* hasil rekonstruksi *TPS* maupun simulasi Monte Carlo pada umumnya berada dalam daerah  $\pm 2 \%$ .

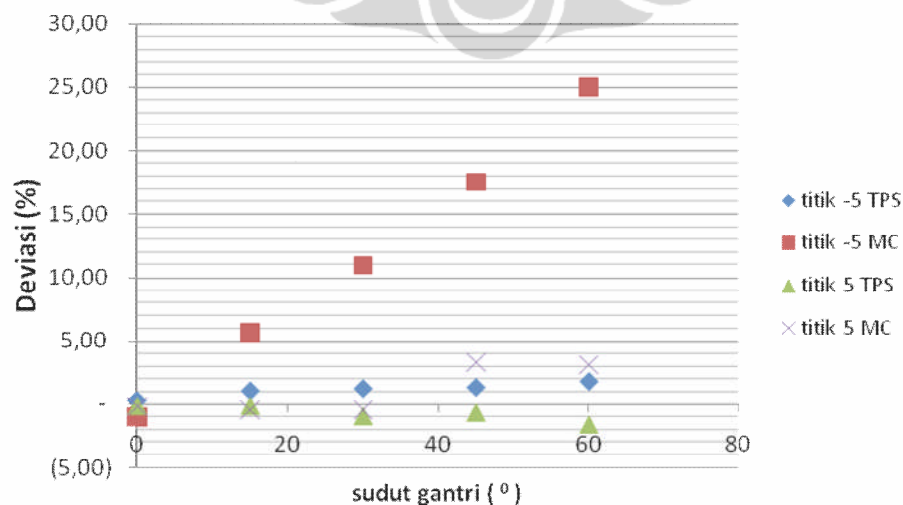
Nilai *PDD* diluar sumbu utama Y hasil pengukuran, rekonstruksi *TPS* dan simulasi Monte Carlo untuk luas lapangan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. *PDD* luas lapangan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  hasil pengukuran, rekonstruksi *TPS*, dan simulasi Monte Carlo pada titik -5 cm dan 5 cm di luar sumbu Y pada kedalaman *dmax* dengan perubahan sudut gantri

Sudut Gantri	Titik -5					Titik 5				
	P	TPS	Deviasi TPS terhadap P (%)	MC	Deviasi MC terhadap P (%)	P	TPS	Deviasi TPS terhadap P (%)	MC	Deviasi MC terhadap P (%)
0	98,7	99	0,30	97,68	-1,03	99,1	99	-0,10	98,9	-0,20
15	94	95	1,06	99,33	5,67	99,1	99	-0,10	98,64	-0,46
30	88,9	90	1,24	98,68	11,00	98,4	97,5	-0,91	97,96	-0,45
45	82,9	84	1,33	97,47	17,58	95,1	94,5	-0,63	98,23	3,29
60	78,6	80	1,78	98,31	25,08	93,5	92	-1,60	96,38	3,08

Keterangan : P = Pengukuran TPS = Rekonstruksi TPS MC = Simulasi Monte Carlo

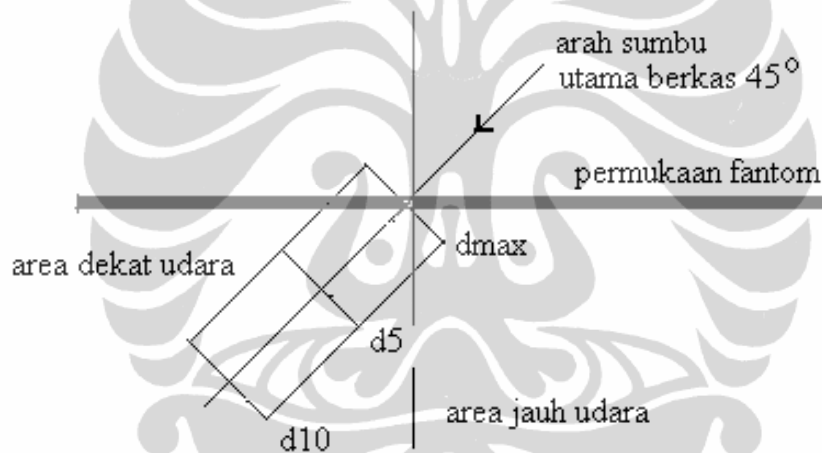
Nilai deviasi antara *TPS* dan Monte Carlo yang diperbandingkan terhadap pengukuran dapat dijelaskan pada Gambar 4.7



Gambar 4.7. Deviasi perbandingan *PDD* off axis antara pengukuran dengan rekonstruksi *TPS* dan pengukuran dengan simulasi Monte Carlo pada luas lapangan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$

Untuk lapangan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ , deviasi *PDD* hasil rekonstruksi *TPS* dan simulasi Monte Carlo terhadap pengukuran, cenderung masih sama dengan yang terjadi pada lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , dalam area kuadran (-) pada sudut gantri  $60^\circ$  deviasi mencapai 1,78 % untuk rekonstruksi *TPS* dan 25,08 % untuk simulasi Monte Carlo. Untuk daerah kuadran (+) rekonstruksi *TPS* dan simulasi Monte Carlo, nilai deviasi *PDD* berada dalam kisaran  $\pm 2\%$ .

Telah dievaluasi ulang, *PDD* beberapa titik di sumbu utama dan diluarnya dengan sudut gantri yang bervariasi berdasarkan kurva isodosis rekonstruksi *TPS* dengan pertolongan *pointer*. Kedalaman titik dipilih pada kedalaman maksimum, 5 cm dan 10 cm searah dengan sumbu utama berkas dan dimulai dari pusat lapangan di permukaan medium. Skema penentuan titik pengamatan diberikan untuk lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  dan sudut gantri  $45^\circ$  dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8. Skema perhitungan *PDD* searah sumbu utama berkas pada kedalaman  $d_{max}$ , 5 cm dan 10 cm.

Nilai *PDD* pada berbagai titik yang dipilih untuk lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ ,  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  pada kedalaman  $d_{max}$ , 5 cm, dan 10 cm dengan variasi sudut gantri ditunjukkan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Perhitungan *PDD* searah sumbu berkas utama pada kedalaman  $d_{max}$ , 5 cm, 10 cm, dan luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ ,  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  serta variasi sudut gantri

Lapangan	Titik Pengamatan Sudut gantri ( $^\circ$ )	<i>PDD</i> pada kedalaman								
		$d_{max}$			5 cm			10 cm		
		Kd-3	0	Kd+3	Kd-3	0	Kd+3	Kd-3	0	Kd+3
$10 \times 10 \text{ cm}^2$	0	99,1	99,6	98,9	86,8	88	86,7	67,4	68,5	67,3
	15	88,2	99	96,9	88,6	87,6	84,1	69,1	67,7	64,8
	30	over	94,9	95,9	89,9	85,7	79,7	69,7	67,1	62,1
	45	over	93,7	89,7	88	83,6	75,5	71,3	65,2	58
	60	over	84,7	81,3	over	80,5	67,4	72,9	62,7	52,4
$15 \times 15 \text{ cm}^2$		Kd-4	0	Kd+4	Kd-4	0	Kd+4	Kd-4	0	Kd+4
	0	99,2	99,8	99,1	87,6	88,8	87,5	69	70,2	68,9
	15	70,9	96,6	94,1	87,5	86	82,9	69,4	68,4	64,4
	30	over	90,8	94,6	89,3	84,6	77,9	70,6	67,1	61,6
	45	over	90,4	84,9	85,6	80,9	72	71,6	64,3	55,9
60	over	78,5	74,5	over	75,6	61,3	70,7	59,9	48,7	
$20 \times 20 \text{ cm}^2$		Kd-5	0	K+5	Kd-5	0	Kd+5	K-5	0	Kd+5
	0	99,5	99,5	99,5	87,8	88,9	88	70,2	71,4	70,2
	15	64	95,2	92,6	87,4	85,2	81,9	70	68,2	64,4
	30	over	91,6	91,5	87,8	82,8	75,3	71	66,5	60,6
	45	over	86,6	81,6	78	77,8	68,8	70,2	62,4	53,6
60	over	73,1	67,5	over	70,9	56	64,9	56,7	55,5	

Keterangan : Kd = kuadran

Nilai *PDD* pada  $d_{max}$  dan sumbu utama berkas menurun dengan kenaikan sudut gantri untuk ketiga lapangan, pada daerah kuadran (-) untuk gantri  $\geq 30^\circ$  pada semua titik yang dipilih berada di luar sudut lapangan. Untuk daerah kuadran (+) pada  $d_{max}$ , titik yang dipilih menurun dengan kenaikan sudut gantri karena adanya peningkatan ketebalan medium sebelum  $d_{max}$ , nilai *PDD* 100% tidak berada pada kedalaman  $d_{max}$  sumbu berkas. Untuk kedalaman 5 cm daerah kuadran (-) titik yang dipilih berada di luar berkas untuk sudut gantri  $60^\circ$ , sedangkan pada kedalaman 10 cm semua titik yang dipilih berada dalam lapangan radiasi.

Pada sumbu utama dan daerah kuadran (+) *PDD* menurun dengan kenaikan sudut gantri, tidak demikian dengan titik-titik yang berada dalam daerah kuadran (-) mempunyai *PDD* yang berfluktuatif.

Untuk lebih jelasnya deviasi *PDD* pada titik yang dipilih terhadap *PDD* untuk sudut gantri  $0^\circ$ , dapat dilihat pada Tabel 4.8.



Tabel. 4.8. Deviasi *PDD* pada kedalaman *dmax*, 5 cm, dan 10 cm searah sumbu utama berkas pada luas lapangan 10x10 cm<sup>2</sup>, 15x15 cm<sup>2</sup>, 20x20 cm<sup>2</sup> serta variasi sudut gantri

Lapangan (cm <sup>2</sup> )	Titik Pengamatan Sudut Gantri (°)	Deviasi (%) <i>PDD</i> Pada kedalaman <i>dmax</i>			Deviasi (%) <i>PDD</i> Pada kedalaman 5 cm			Deviasi (%) <i>PDD</i> Pada kedalaman 10 cm		
		Kd -3	0	Kd +3	Kd -3	0	Kd+3	Kd-3	0	Kd+3
10x10	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	15	-11,0	-0,6	-2,0	2,1	0,0	-3,0	2,5	-1,0	-3,7
	30	over	-4,7	-3,0	2,5	-2,2	-8,1	3,4	-1,9	-7,7
	45	over	-5,9	-9,3	2,5	-4,6	-12,9	5,8	-4,7	-13,8
	60	over	-15,0	-17,8	over	-8,1	-22,3	8,2	-8,3	-22,1
15x15		Kd-4	0	Kd+4	Kd-4	0	Kd+4	Kd-4	0	Kd+4
	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	15	-28,5	-3,2	-5,0	-0,1	-2,4	-5,3	0,6	-1,9	-6,5
	30	over	-9,0	-4,5	1,9	-4,0	-11,0	2,3	-3,7	-10,6
	45	over	-9,4	-14,3	-2,3	-8,2	-17,7	3,8	-7,7	-18,9
	60	over	-21,3	-24,8	over	-14,2	-29,9	2,5	-14,1	-29,3
20x20		Kd-5	0	K+5	Kd-5	0	Kd+5	K-5	0	Kd+5
	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	15	-35,7	-4,3	-6,9	-0,5	-3,7	-6,9	-0,3	-3,4	-8,3
	30	over	-7,9	-8,0	0,0	-6,4	-14,4	1,1	-5,8	-13,7
	45	over	-13,0	-18,0	-11,2	-12,1	-21,8	0,0	-11,6	-23,6
	60	over	-26,5	-32,2	over	-19,9	-36,4	-7,5	-19,7	-36,6

Keterangan : Kd = kuadran

Nilai deviasi semua titik pengamatan pada ketiga lapangan dan semua sudut penyinaran mempunyai karakteristik yang sama yaitu meningkat dengan kenaikan lapangan dan sudut penyinaran. Pada ketiga luas lapangan, 10x10 cm<sup>2</sup>, 15x15 cm<sup>2</sup>, 20x20 cm<sup>2</sup> terlihat pada sumbu utama dan daerah kuadran (+) deviasi *PDD* meningkat dengan kenaikan sudut gantri, demikian juga untuk deviasi *PDD* pada daerah dekat udara. Pada sudut gantri  $\geq 30^0$  daerah kuadran (-) berkas penyinaran masih berinteraksi dengan udara bebas belum masuk ke dalam medium, sehingga terjadi daerah *over*. Hal ini juga terjadi pada kedalaman 5 cm dengan sudut gantri 60<sup>0</sup>.

## BAB 5

### PEMBAHASAN

Dalam praktek penyinaran eksternal terhadap pasien, tidak selalu berkas jatuh tegak lurus pada permukaan kulit, padahal semua pengukuran berbagai parameter untuk kalkulasi dosis yang menjadi *data base TPS* diperoleh dengan berkas radiasi jatuh tegak lurus permukaan fantom. Menurut IAEA dan ICRU 24, berkas yang jatuh pada permukaan miring dikalkulasi oleh *TPS* dengan menggunakan koreksi yang mungkin digunakan oleh *TPS*, antara lain dengan metode koreksi TAR dan metode koreksi SSD efektif [3,9,11]. Metode koreksi TAR menyatakan bahwa *PDD* pada kedalaman maksimum dan ketebalan kemiringan dikalikan dengan TAR kedalaman maksimum dan diperbandingkan dengan TAR pada ketebalan medium kemiringan. metode koreksi SSD efektif menyatakan *PDD* dinormalisasikan terhadap kuadrat jarak dan kedalaman maksimum, yang diperbandingkan dengan jarak, kedalaman maksimum dan ketebalan medium kemiringan.

Sebagai persiapan penelitian telah diukur *PDD* pada kedalaman 10 cm, luas lapangan dari 10x10 cm<sup>2</sup> dan sudut gantri 0<sup>0</sup> menghasilkan data pengukuran *PDD* sebesar 68,2%. Menurut *Manual Operation* pesawat *Linac* Elekta Precise 5991, dengan lapangan standar 10x10 cm<sup>2</sup>, kedalaman 10 cm, dan sudut gantri 0<sup>0</sup> pesawat dinyatakan dalam kondisi prima apabila *PDD* 67,5 % ± 2%, dengan hasil pengukuran tersebut berarti pesawat yang digunakan dalam penelitian ini dalam kondisi prima [1].

Dalam penelitian ini telah dilakukan penyinaran fantom air dengan berkas sinar x 6 MV yang jatuh tidak tegak lurus permukaan dengan cara memvariasikan sudut gantri. Perubahan *PDD* menjadi perhatian utama, hasil pengukuran digunakan untuk verifikasi *TPS*.

Lebih jauh lagi dalam penelitian ini telah dilakukan pula perhitungan *PDD* akibat kemiringan permukaan dengan menggunakan simulasi Monte Carlo dengan sumber sinar x 6 MV yang tersedia dalam *data base*. Dapat dimengerti apabila hasil simulasi Monte Carlo berbeda signifikan dengan hasil pengukuran.

Proses simulasi Monte Carlo yang dipilih (DOSXYZnrc) dapat menjelaskan perhitungan probabilitas statistik interaksi semua foton yang jatuh pada medium air dengan sudut permukaan miring, sehingga hasil simulasi dapat menerangkan fenomena perubahan *PDD* hasil pengukuran.

Verifikasi *TPS* termasuk nilai *PDD* telah dilakukan oleh peneliti terdahulu antara. Sedangkan Gifford *et al* (2002) menyatakan dengan sudut kemiringan gantri  $305^{\circ}$  pada kedalaman 4 cm dan sudut gantri  $330^{\circ}$  pada kedalaman 6 cm akan menghasilkan deviasi *PDD* pada sumbu vertikal antara pengukuran dan algoritma *TPS* Pinnacle sebesar -1,84% dan -2,02%<sup>[21]</sup>.

Kemiringan permukaan ternyata mengubah kedalaman *dmax* yang dipengaruhi oleh luas lapangan dan sudut gantri. Dengan sudut gantri  $60^{\circ}$  lapangan  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup>,  $15 \times 15$  cm<sup>2</sup>, dan  $20 \times 20$  cm<sup>2</sup> perubahan kedalaman *dmax* terhadap sudut  $0^{\circ}$  mencapai > 30%. Perubahan kedalaman *dmax* mulai terjadi pada sudut  $30^{\circ}$  untuk luas lapangan  $10 \times 10$  cm<sup>2</sup> serta  $15 \times 15$  cm<sup>2</sup>. Untuk lapangan  $20 \times 20$  cm<sup>2</sup> perubahan mulai terjadi pada sudut gantri  $30^{\circ}$ .

Dalam klinis untuk lapangan kecil misalnya pada penyinaran leher, untuk lapangan besar misalnya pada penyinaran payudara, dengan kemiringan permukaan, kedalaman *dmax* berubah, yang meningkatkan *skin sparing*, sehingga dapat dimengerti jika pada daerah miring efek biologis lebih tinggi dari pada daerah datar.

Hasil pengukuran ternyata tidak berbeda dengan hasil rekonstruksi *TPS*, hal ini berarti bahwa *TPS* telah memberikan koreksi pada permukaan miring. Simulasi Monte Carlo memberikan *dmax* selalu lebih tinggi namun memberikan kecenderungan yang sama.

Untuk keperluan verifikasi *TPS* selain *dmax*, dipilih pula kedalaman 5 cm dan 10 cm pada sumbu vertikal. Hasil pengukuran juga tidak jauh berbeda dengan rekonstruksi *TPS*, kecuali untuk sudut  $60^{\circ}$  dan pada kedalaman yang tidak masuk berkas. Temuan ini memberi informasi bahwa apabila dapat dihindarkan kemiringan permukaan  $60^{\circ}$  sebaiknya tidak digunakan.

Dalam penelitian ini diperoleh informasi tentang titik belok pada sumbu vertikal yang terjadi pada kedalaman dengan penurunan *PDD* yang tinggi. Titik belok merepresentasikan kedalaman sepanjang sumbu vertikal yang berada dalam berkas. Informasi titik belok ini dapat dimanfaatkan untuk menyesuaikan kedalaman tumor yang akan memperoleh perlakuan sepanjang sumbu vertikal. Selain itu juga dapat digunakan untuk prediksi perlindungan berbagai organ kritis ataupun jaringan sehat yang berada di sepanjang sumbu vertikal.

Dalam klinis, informasi *PDD* di luar sumbu utama juga penting, oleh karena itu verifikasi *PDD* di luar sumbu utama juga menjadi perhatian. Hal ini direpresentasikan dengan profil. Apabila sumbu X adalah sumbu *cross plane* dan sumbu Y adalah sumbu *in plane* maka profil yang banyak berubah sepanjang sumbu *in plane*. Dari data profil akan didapatkan data *PDD* pada titik *off axis*. Nilai deviasi rekonstruksi *TPS* dan simulasi Monte Carlo terhadap hasil pengukuran pada luas lapangan dan variasi sudut gantri cenderung meningkat dengan kenaikan sudut gantri.

Khusus deviasi *PDD* untuk *TPS* pada kuadran (-) dan kuadran (+) sedikit meningkat dengan kenaikan luas lapangan, namun semuanya masih  $< 2\%$ . Di lain pihak deviasi *PDD* Monte Carlo relatif rendah untuk titik-titik pada kuadran (+) dan pada umumnya mempunyai nilai  $< 2\%$ . Untuk titik-titik di daerah kuadran (-) deviasi relatif tinggi dan meningkat tajam dengan kenaikan sudut gantri. Untuk sudut gantri  $60^0$  deviasi mencapai 9,33% untuk lapangan  $10 \times 10 \text{ m}^2$ , 18,43% untuk lapangan  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  dan 25,08% untuk lapangan  $20 \times 20 \text{ m}^2$ , hal ini disebabkan karena simulasi Monte Carlo berdasarkan pada pemrograman dengan kualitas berkas sinar x 6 MV yang lebih tinggi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa deviasi rekonstruksi *TPS* terhadap pengukuran untuk semua lapangan ( $10 \times 10 \text{ cm}^2$ ,  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , dan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ ) dan semua variasi sudut gantri ( $0^0$ ,  $15^0$ ,  $30^0$ ,  $45^0$ , dan  $60^0$ ) berada pada  $\pm 2\%$ , temuan ini menunjukkan bahwa algoritma *TPS* ISIS RS. Hasan Sadikin Bandung mempunyai kinerja yang prima dan masih dalam batas toleransi verifikasi *TPS* seperti yang disampaikan oleh *American Association Physicist Medicine Task Group AAPM TG 53* (1998), *Schweizerische Gesellschaft fur Strahlenbiologie und Medizinische Physik / SGSMP Rekomendasi 7* (1999), dan IAEA (2008) yang

memberi batasan toleransi sebesar  $\pm 2\%$  untuk daerah lapangan penyinaran (*inner region*) berkas radiasi tinggi [5,6,18].

Dalam praktek, sumbu vertikal tidak selalu menjadi titik interes, akan tetapi yang menjadi interes adalah *PDD* yang searah sumbu berkas utama. Namun informasi sepanjang dan searah sumbu utama berkas selain pada sudut gantri  $0^0$  tidak mudah untuk diukur. Karena keterbatasan fungsi alat, pengukuran pada sumbu berkas utama tidak dapat dilakukan, pengukuran ini dimungkinkan dengan menggunakan TLD. Oleh karena itu *PDD* sepanjang searah sumbu utama berkas tersebut ditentukan melalui kurva isodosis rekonstruksi *TPS*.

Ada beberapa titik pengamatan yang berada di luar sumbu utama berkas pada daerah kuadran (-). Pada sudut gantri  $15^0$ , luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , titik pada sumbu berkas kedalaman *dmax* menghasilkan deviasi sebesar 0,6%. Hal ini menunjukkan bahwa pada titik tersebut tidak terjadi perubahan akan tetapi masih berada dalam wilayah *inner region* penyinaran dengan batasan deviasi 2%. Untuk semua luas lapangan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut gantri  $\geq 30^0$  dengan kedalaman *dmax* maka berkas penyinaran tidak masuk dalam medium atau masih berada di udara, hal ini menunjukkan bahwa dosis radiasi yang diterima target pada kedalaman *dmax* tidak sepenuhnya menerima dosis radiasi daripada seharusnya yang diterima.

Apabila dibandingkan dengan *PDD* pada kedalaman *dmax* dan sudut gantri  $0^0$ , nilai *PDD* pada *dmax* untuk berbagai sudut gantri selalu  $< 100\%$ . Tampaknya *PDD* 100% terjadi tidak pada titik di sumbu utama melainkan pada daerah *hot spot* yang berada pada kuadran (+) Y-Z. Kenaikan sudut gantri akan menurunkan *PDD* pada kedalaman *dmax*. Dengan penurunan yang meningkat dengan kenaikan sudut gantri mencapai 15% untuk lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ , 21,3% untuk lapangan  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , dan 26,5% untuk lapangan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$ .

Dengan kemiringan sudut gantri, mengakibatkan kurva isodosis tidak simetri terhadap sumbu utama berkas terutama pada daerah kuadran (-). Seperti pada *PDD* sepanjang sumbu utama, *PDD* pada titik *off axis* kuadran (+) juga selalu relatif lebih rendah dibanding dengan nilai *PDD* kuadran yang sama untuk sudut gantri  $0^0$ . Hasil deviasi yang besar ini memperkuat saran penulis untuk tidak menggunakan permukaan kemiringan  $\geq 60^0$ .

Dalam praktek, seringkali kemiringan permukaan tidak dapat dielakkan. Contoh, bagian puncak pada perlakuan tangensial payudara, berkas membuat sudut  $> 60^0$  terhadap permukaan bagian atas payudara. Demikian pula dapat terjadi pada leher. Hasil penelitian ini dapat memberikan informasi bahwa pada daerah dengan kemiringan tajam, *TPS* memberikan prediksi yang dapat diperhitungkan.



## BAB 6

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1. Kesimpulan

Dari penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Terjadi perubahan kedalaman *PDD* maksimum yang dipengaruhi oleh perubahan luas lapangan dan kenaikan sudut gantri, kenaikan sudut gantri menurunkan kedalaman titik *PDD* maksimum dari 1,8 cm menjadi 1,2 cm untuk sudut gantri  $0^0$  sampai dengan  $60^0$  dengan luas lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  dan  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ , sedangkan untuk lapangan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  berubah dari 1,6 cm menjadi 1,0 cm.
2. Kemiringan permukaan akan menyebabkan terjadinya titik belok pada sumbu vertikal yang terjadi pada kedalaman menurun dengan kenaikan sudut gantri. Titik belok tertinggi pada kedalaman 21 cm untuk lapangan  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  dengan sudut gantri  $15^0$  serta lapangan  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  dengan sudut gantri  $30^0$ , dan 15 cm untuk lapangan  $15 \times 15 \text{ cm}^2$  dengan sudut gantri  $30^0$ .
3. Dibanding dengan hasil pengukuran *PDD* pada titik dengan *PDD* maksimum, kedalaman 5 cm, dan 10 cm secara umum hasil rekonstruksi menunjukkan kesesuaian, tetapi tidak demikian dengan hasil perhitungan Monte Carlo, semuanya relatif lebih tinggi.
4. Penelitian *PDD* pada titik di luar sumbu vertikal / sumbu normal menunjukkan hasil rekonstruksi *TPS* pada umumnya juga berkesesuaian dengan hasil pengukuran mempunyai deviasi  $< 2\%$ , sedangkan hasil kalkulasi Monte Carlo pada umumnya sesuai dengan hasil pengukuran hanya untuk titik-titik di daerah kuadran (+) dengan deviasi  $< 2\%$ .
5. Dibanding dengan *PDD* pada titik-titik di sumbu utama dan sudut gantri  $0^0$ , *PDD* pada sumbu utama untuk sudut gantri  $15^0$  sampai dengan  $60^0$  cenderung menurun untuk ukuran lapangan yang sama, dengan pengamatan pada titik  $d_{max}$ , kedalaman 5 cm dan 10 cm. Kecenderungan yang sama terjadi pada titik pengamatan di luar sumbu utama dan pada

kuadran (+), sedangkan pada kuadran (-) nilai *PDD* pada beberapa titik pengamatan cenderung lebih tinggi.

## 6.2. Saran

Kemiringan permukaan medium terhadap sumbu utama berkas sebaiknya tidak lebih dari  $15^{\circ}$  untuk lapangan sama atau kurang dari  $15 \times 15 \text{ cm}^2$ . Untuk lapangan lebih dari  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  kemiringan permukaan tidak lebih dari  $30^{\circ}$ .





## DAFTAR PUSTAKA

1. Manual Operation, 2004, *Linear Accelerator ELEKTA PRECISE 5991*.
2. Khan, Faiz M, 1994, *The Physics of Radiation Therapy*, William & Wilkins, USA
3. IAEA, 2005, *Radiation Oncology Physics : A Handbook for Teachers and Students*, VIENNA
4. IAEA, 2000, *Absorbed Dose Determination in External Beam Radioterapi (TRS 398)*, VIENNA
5. IAEA, 2008, *Radiation Protection in Radiotherapy part 10 Good Practice Including Radiation Protection in EBT*.
6. *American Association Physicist Medicine Task Group AAPM TG 53* (1998)
7. Jenkins, Theodore M; Nelson, Walter R; Rindi, Alessandro, 1988, *Monte Carlo Transport of Electrons and Photons*, Plenum Press, New York
8. Soejoko, Djarwani S, 2008, *Diktat Dosimetri Radiasi*, UI
9. Johns, Harold E & Cunningham, John R, 1983, *The Physics of Radiology 4<sup>th</sup> edition*, Charles Thomas Publisher, USA
10. Mould, RF, 1981, *Radiotherapy Treatment Planning (Medical Physics Handbooks 7)*, Adam Hilger Ltd, Bristol
11. International Commission on Radiation Units and Measurement, 1976, *ICRU Report 24 Determination of Absorbed Dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures*, ICRU Washington DC USA
12. Kumar, VKP & Block P, (2009), *Dose Distribution in The Build Up Region for Megavoltage Photon Beams*, Department of Radiation Therapy, University of Pennsylvania School of Medicine.
13. Bentel, Gunilla C; Nelson, Charles E & Noel, Thomas, 1989, *Treatment Planning & Dose Calculation in Radiation Oncology*, McGraw-Hill Inc, New York
14. Schmidt, WFO, 2008, *Planning Systems in Radiotherapy*, Institute for Radiooncology Donauspitae, Viena.

15. Haryanto, Freddy, 2008, *Diktat Fisika Radiasi*, UI
16. Doppke, Karen P.MS , 2003, *TPS Verification*, AAPM
17. Susworo, R, 2007, *Radioterapi : Dasar-Dasar Radioterapi Tata Laksana Radioterapi Penyakit Kanker*, UI Press, Jakarta
18. Born, Ernst ; Cozzi, Antonella F; Ionescu, Florica; Ionescu, Victor & Tercier, Pierre-Alain; 1999, *Quality Control of Treatment Planning System for Teletherapy – Recommendations no 7*, Schweizerische Gesellschaft fur Strahlenbiologie und Medizinische Physik / SGSMP, Swiss
19. Olofsson, Jorgon, 2006, *Developing and Evaluating Dose calculation Models for verification of Advanced Radiotherapy*, Umea University, Sweden.
20. Gifford, Kent A; Followill, David S & Helen, Liu H, 2002, *Verification of the Accuracy of a Photon Dose – Calculation Algorithm*, Journal of Applied Clinical Medical Physics, Vol. 3
21. Chin, PW & Gidd, JP, 2005, *A Monte Carlo Solution for External Beam Photon Radiotherapy Verification*, American Nuclear Society.
22. Haryanto, Freddy, 1996, *Metoda Monte Carlo untuk Penentuan Factor Build up Dosis dan Persentasi Dosis Kedalaman dari Sumber Radiasi Co<sup>60</sup>*, ITB, Bandung
23. B Walters; I Kawrakow & DWO Rogers; 2006, *DOSXYZnrc Users Manual*, NRC Canada

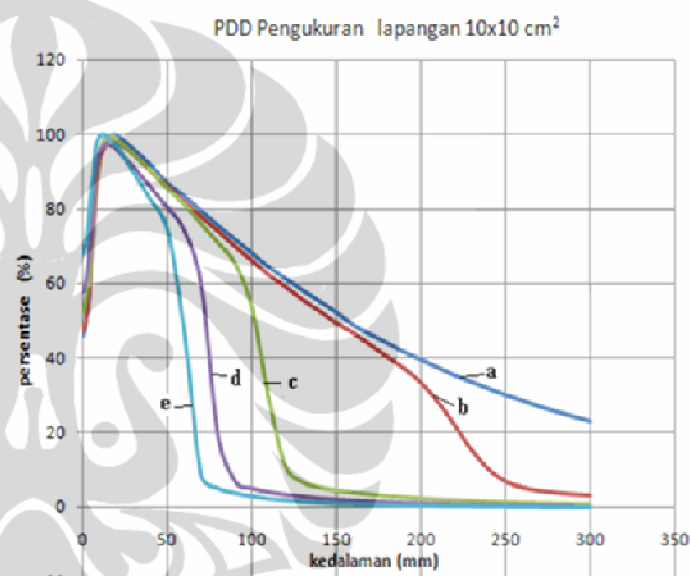
# LAMPIRAN



## LAMPIRAN A. PDD PENGUKURAN

### Lampiran A.1. PDD Pengukuran, Lapangan 10x10cm<sup>2</sup>

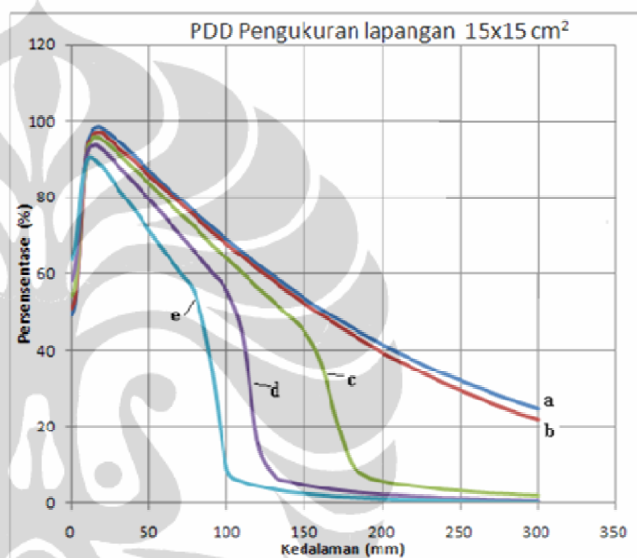
kedalaman (mm)	PDD (%)				
	sudut 0 <sup>0</sup> .	sudut 15 <sup>0</sup> .	sudut 30 <sup>0</sup> .	sudut 45 <sup>0</sup> .	sudut 60 <sup>0</sup> .
0	45,9	47,3	52,3	57,8	67,9
2	49,4	49,8	55,3	60,4	71,2
4	58,9	58,9	63,3	69,1	80
6	72,2	74,4	78,6	80,6	88,6
8	87,4	84,7	87,9	90,3	97
10	94,4	93,2	95	95,2	99,5
12	97,9	95,9	97,6	96,8	100
14	99,3	97,8	98,9	97,6	99,7
16	99,6	98,4	99,3	97,2	98,5
18	100	98,5	99,3	97	97,4
20	99,8	98,1	98,4	96,1	97
30	96,1	94,9	94,5	91,2	89,8
40	91,9	90,3	90,2	86	82,6
50	86,9	86,2	85,4	80,4	74,5
60	83,5	82,1	81,1	74,2	47
70	79,5	78	75,9	59,7	8,5
80	75,6	74,2	70,8	19	5,1
90	71,8	70	65,2	6,8	3,8
100	68,2	66,3	53,5	5	3
110	64,4	62,4	29,1	4	2,3
120	61,4	59,2	10,8	3,3	1,9
130	58,2	55,7	6,7	2,8	1,6
140	55,3	52,7	5,4	2,3	1,3
150	52,3	49,4	4,6	2	1
160	48,8	46,8	4	1,7	0,9
170	46,4	43,6	3,5	1,5	0,7
180	44,1	40,4	3	1,3	0,6
190	41,7	37,3	2,7	1,1	0,5
200	39,6	33,4	2,4	1	0,5
210	37,5	28,2	2,1	0,8	0,4
220	35,4	21,9	1,9	0,7	0,3
230	33,6	15,3	1,7	0,7	0,3
240	31,8	10,1	1,5	0,6	0,2
250	30,1	6,9	1,3	0,5	0,2
260	28,6	5,3	1,2	0,5	0,1
270	27	4,4	1,1	0,4	0,1
280	25,7	3,9	1	0,4	0
290	24,4	3,5	0,9	0,3	0
300	23,1	3,2	0,8		0



Gambar Lampiran A.1. Kurva PDD pada sumbu vertikal dalam fantom air dengan luas lapangan 10x10 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri.  
Keterangan sudut gantri: a). 0<sup>0</sup>, b). 15<sup>0</sup>, c). 30<sup>0</sup>, d). 45<sup>0</sup> dan e). 60<sup>0</sup>

Lampiran A.2. PDD Pengukuran, Lapangan 15x15cm<sup>2</sup>

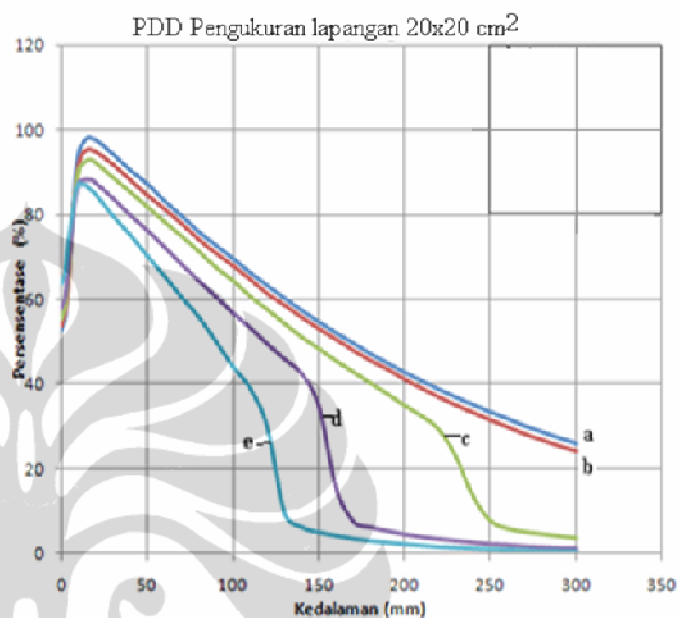
kedalaman (mm)	PDD (%)				
	sudut 0 <sup>o</sup> .	sudut 15 <sup>o</sup> .	sudut 30 <sup>o</sup> .	sudut 45 <sup>o</sup> .	sudut 60 <sup>o</sup> .
0	49,3	51,1	54,4	58,2	63,8
2	52,2	53,5	56,5	61,1	66,7
4	62,2	62,3	65,4	69	73,4
6	75,1	74,4	78,8	79,6	82,7
8	86,6	86,5	86,4	87,8	87,6
10	94,4	93,6	93	92	90
12	96,7	95,2	94,4	93,1	90,5
14	98,1	96,5	96	93,3	90,1
16	98,6	97	96	93,5	89,5
18	98,7	97	95,9	92,9	88,6
20	98,2	96,9	95,1	92,3	88
30	94,9	92,8	91,5	88,1	82,3
40	91	89,5	87,6	83,9	77
50	87	85,6	83,8	79,4	71,3
60	83,1	82,1	79,7	74,8	65,7
70	79,6	78,5	75,7	70,1	60,2
80	75,9	74,8	72,1	65,4	54,1
90	72,5	71,1	67,8	60,4	35,6
100	69,1	67,8	64,1	55,4	8,8
110	65,8	64,5	60,2	43,5	5,8
120	62,4	61,2	56,4	15,4	4,6
130	59,5	58,2	52,8	7,5	3,7
140	56,6	55,2	49	5,9	3
150	53,7	52,3	44,8	4,9	2,5
160	50,9	49,5	37,1	4,2	2,1
170	48,5	46,9	22,6	3,6	1,7
180	46,1	44,3	10,6	3,1	1,5
190	43,7	41,9	7,1	2,7	1,3
200	41,6	39,5	5,9	2,3	1,1
210	39,6	37,4	5,1	2,1	0,9
220	37,6	35,5	4,6	1,8	0,8
230	35,6	33,3	4,1	1,6	0,7
240	33,9	31,4	3,6	1,3	0,6
250	32,2	29,6	3,3	1,2	0,5
260	30,6	28	2,9	1,1	0,4
270	29	26,3	2,6	0,9	0,3
280	27,5	24,8	2,4	0,8	0,3
290	26,2	23,3	2,1	0,7	0,2
300	24,9	22,1	1,9	0,6	0,2



Gambar Lampiran A.2. Kurva PDD pada sumbu vertikal dalam fantom air dengan luas lapangan 15x15 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri.  
Keterangan sudut gantri: a) 0<sup>o</sup>, b) 15<sup>o</sup>, c) 30<sup>o</sup>, d) 45<sup>o</sup> dan e) 60<sup>o</sup>

Lampiran A.3. PDD Pengukuran, Lapangan 20x20cm<sup>2</sup>

kedalaman (mm)	PDD (%)				
	sudut 0 <sup>0</sup> .	sudut 15 <sup>0</sup> .	sudut 30 <sup>0</sup> .	sudut 45 <sup>0</sup> .	sudut 60 <sup>0</sup> .
0	52,8	53,7	55,4	58,2	63,9
2	55,8	57	58,3	60,5	66,6
4	66,2	63,6	66,3	68,6	74,4
6	76,2	79,4	77,1	76,5	79,8
8	89	86,1	85,8	83,8	85,3
10	94,6	92	90,5	87,7	87,4
12	96,6	94,5	91,8	88,2	87,1
14	97,7	95,2	92,6	88,4	87,1
16	98,1	95,5	92,8	88,3	86,2
18	97,8	95,2	92,7	88,2	85,6
20	97,5	94,9	92,1	87,5	84,8
30	94,1	91,9	88,6	83,9	79,7
40	90,3	88,2	85,2	79,9	75,2
50	87,2	84,6	81,7	76,3	70,2
60	83,1	81,4	78,2	72,4	65,5
70	79,6	77,9	74,8	68,3	60,5
80	75,8	74,1	71,2	64,4	55,8
90	72,6	70,9	67,4	60,6	50
100	69,5	67,9	64,3	56,8	44
110	66,2	64,7	60,6	53,3	38,9
120	63,1	61,3	57,5	49,5	29,6
130	60,2	58,6	54,2	45,9	9,3
140	57,3	55,7	51	42,4	6,1
150	54,6	53	48,3	34,7	4,9
160	52	50,5	45,4	15,4	4,1
170	49,6	47,9	42,8	7,6	3,4
180	47,1	45,5	40,2	6,2	2,9
190	44,9	43,4	37,6	5,3	2,5
200	42,7	41	34,9	4,5	2,1
210	40,7	38,9	32,4	3,9	1,8
220	38,7	36,8	29,2	3,4	1,5
230	36,8	34,9	22,7	3	1,3
240	35,1	33,2	13,4	2,6	1,1
250	33,4	31,4	7,7	2,2	0,9
260	31,8	29,8	5,9	2	0,8
270	30,1	28,1	5,1	1,7	0,7
280	28,7	26,7	4,6	1,5	0,5
290	27,3	25,3	4,1	1,3	0,5
300	26	24,1	3,7	1,2	0,4

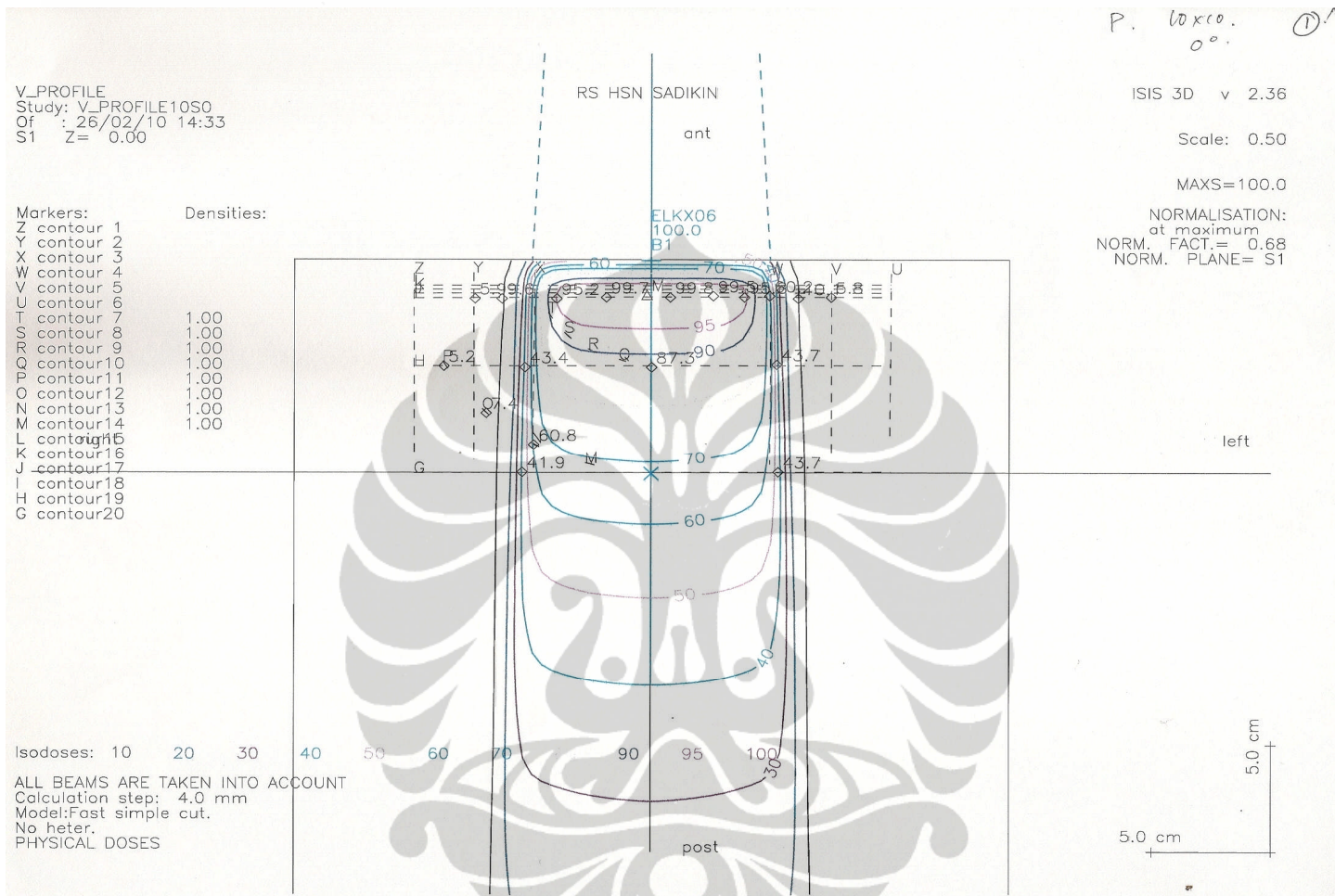


Gambar Lampiran A.3. Kurva PDD pada sumbu vertikal dalam fantom air dengan luas lapangan 20X20 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri.

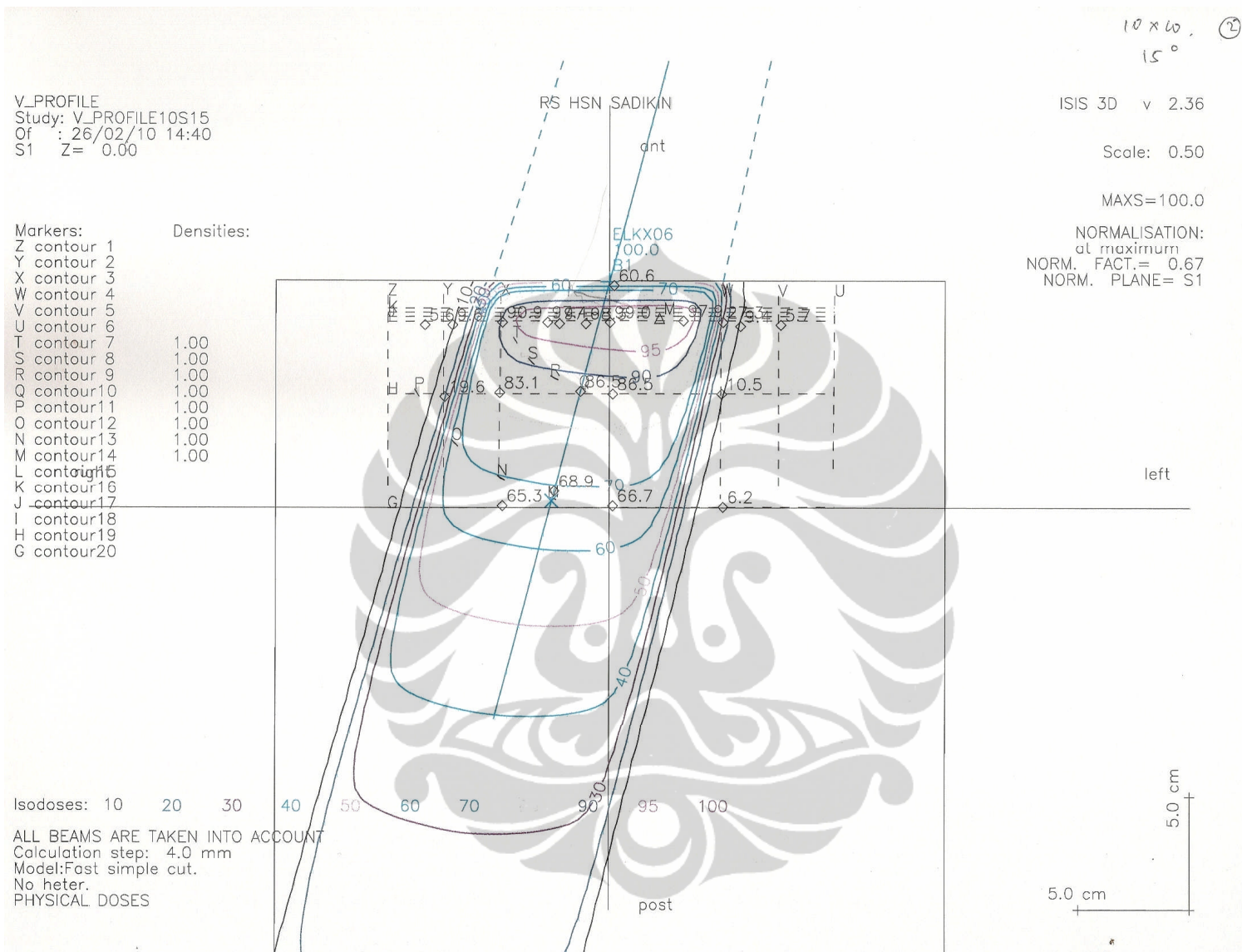
Keterangan sudut gantri: a) 0<sup>0</sup>, b) 15<sup>0</sup>, c) 30<sup>0</sup>, d) 45<sup>0</sup> dan e) 60<sup>0</sup>

## LAMPIRAN B. KURVA ISODOSIS

Lampiran B.1. Kurva Isodosis, Lapangan 10x10 cm<sup>2</sup>, Sudut 0<sup>0</sup>.

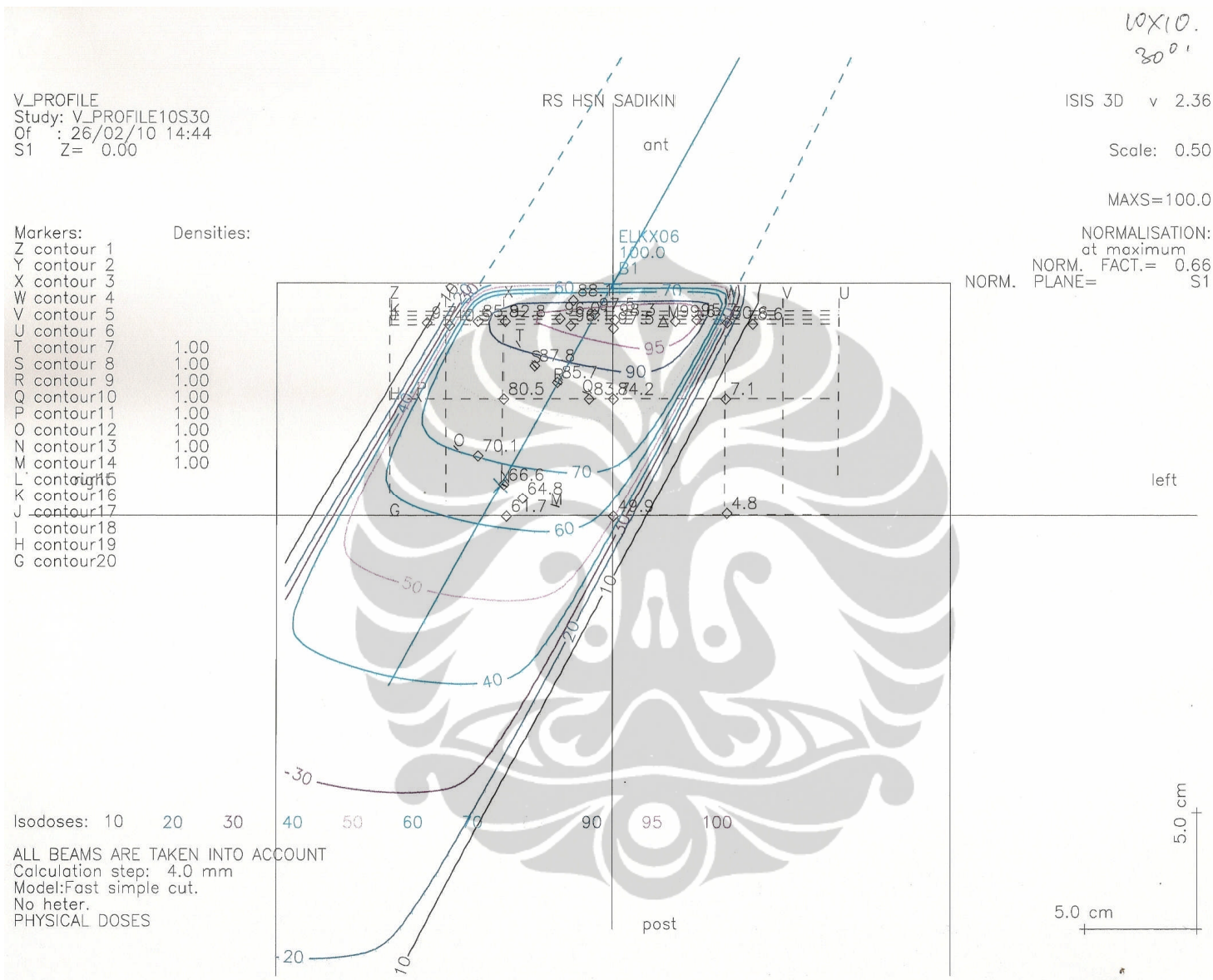


Lampiran B.2. Kurva Isodosis, Lapangan 10x10 cm<sup>2</sup>, Sudut 15<sup>0</sup>.





Lampiran B.3. Kurva Isodosis, Lapangan 10x10 cm<sup>2</sup>, Sudut 30<sup>0</sup>.



Lampiran B.4 Kurva Isodosis, Lapangan 10x10 cm<sup>2</sup>, Sudut 45°.

V\_PROFILE  
 Study: V\_PROFILE10S45  
 Of : 26/02/10 14:48  
 S1 Z= 0.00

Markers:  
 Z contour 1  
 Y contour 2  
 X contour 3  
 W contour 4  
 V contour 5  
 U contour 6  
 T contour 7  
 S contour 8  
 R contour 9  
 Q contour 10  
 P contour 11  
 O contour 12  
 N contour 13  
 M contour 14  
 L contour 15  
 K contour 16  
 J contour 17  
 I contour 18  
 H contour 19  
 G contour 20

Densities:  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00  
 1.00

10x10  
 45°

ISIS 3D v 2.36

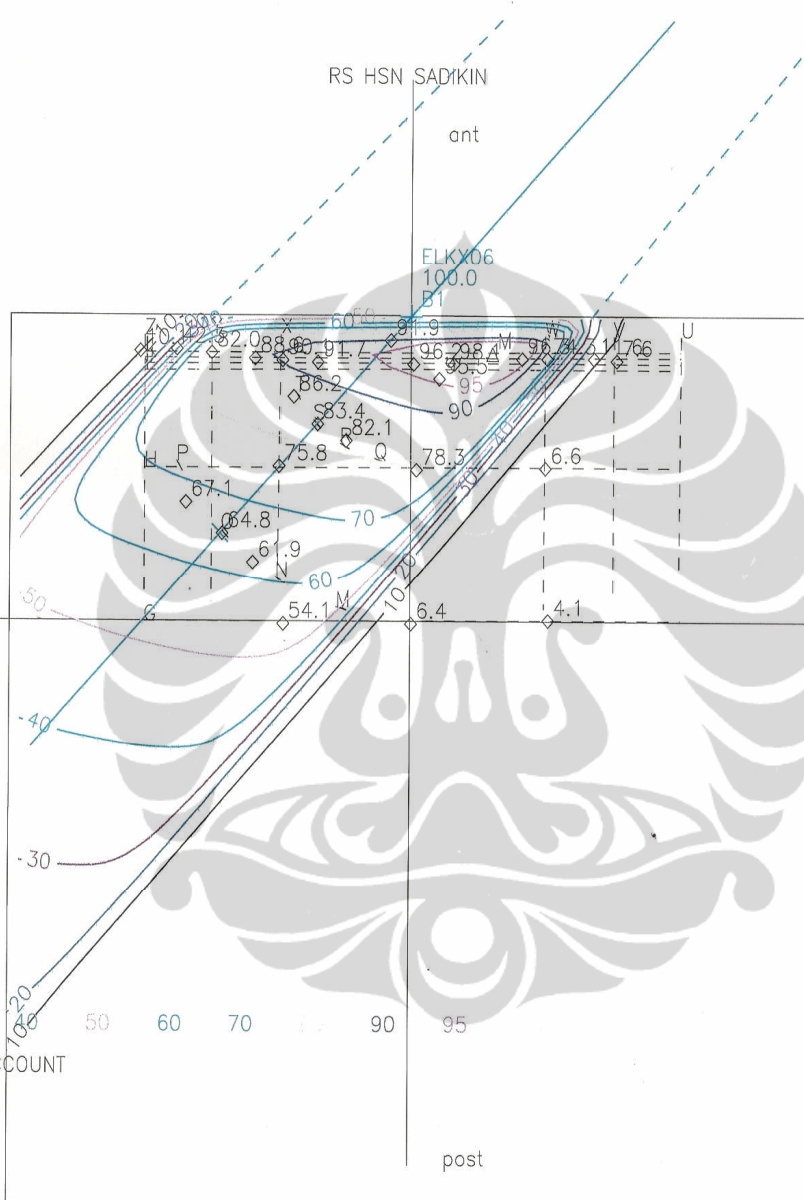
Scale: 0.50

MAXS=100.0

NORMALISATION:  
 at maximum  
 NORM. FACT.= 0.65  
 NORM. PLANE= S1

Isodoses: 10 20 30 40 50 60 70 80 90 95

ALL BEAMS ARE TAKEN INTO ACCOUNT  
 Calculation step: 4.0 mm  
 Model:Fast simple cut.  
 No heter.  
 PHYSICAL DOSES



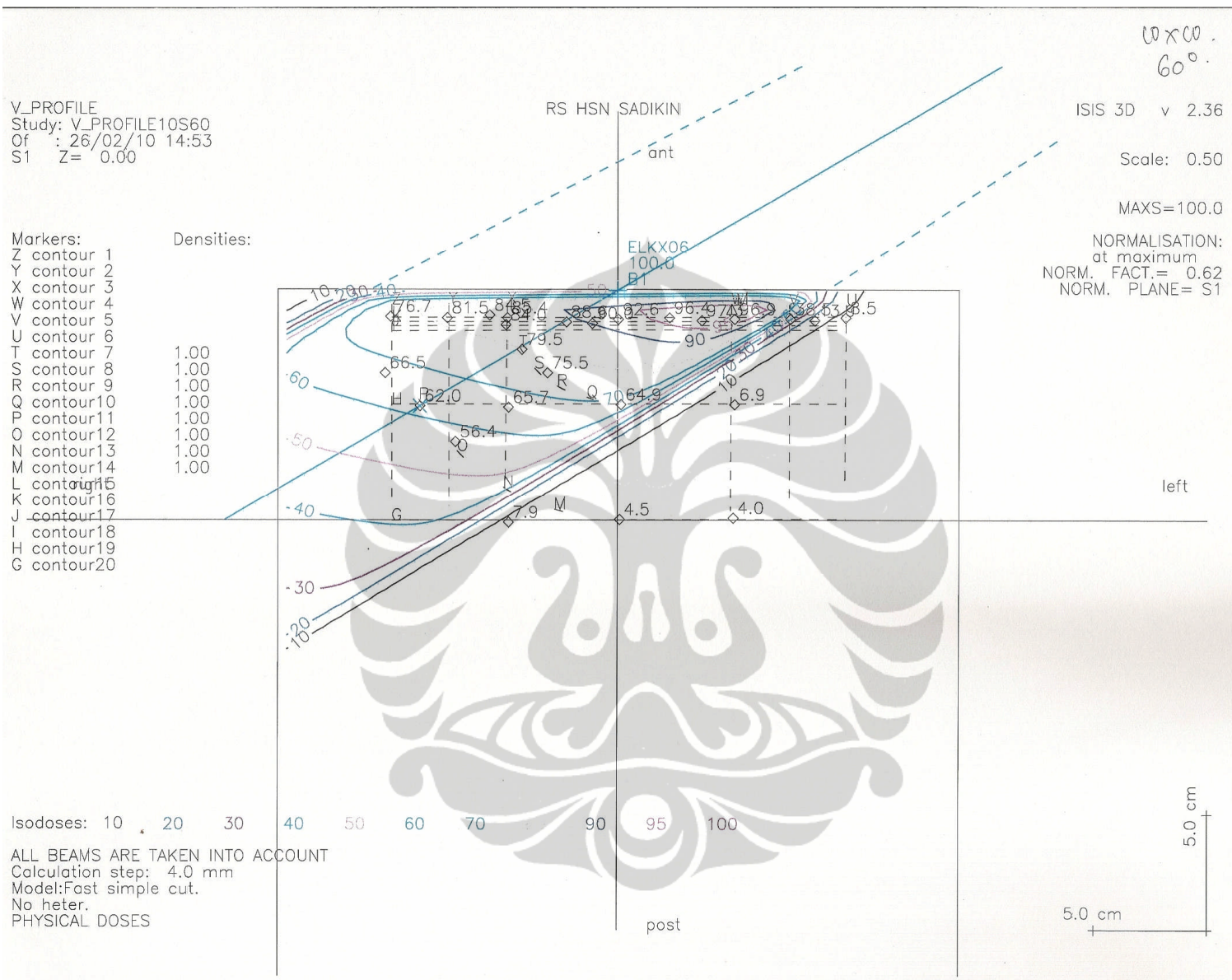
left

5.0 cm

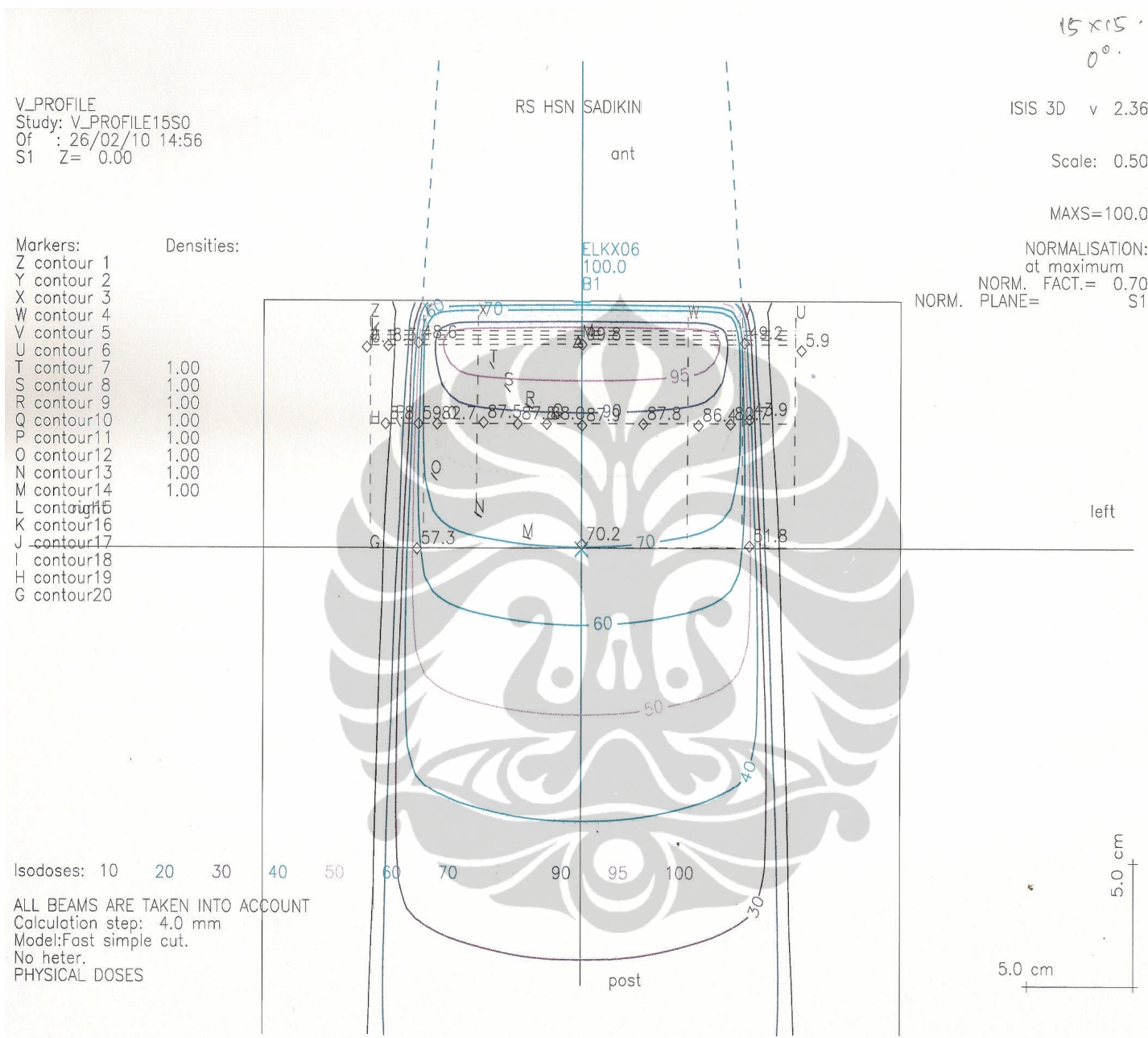
5.0 cm

post

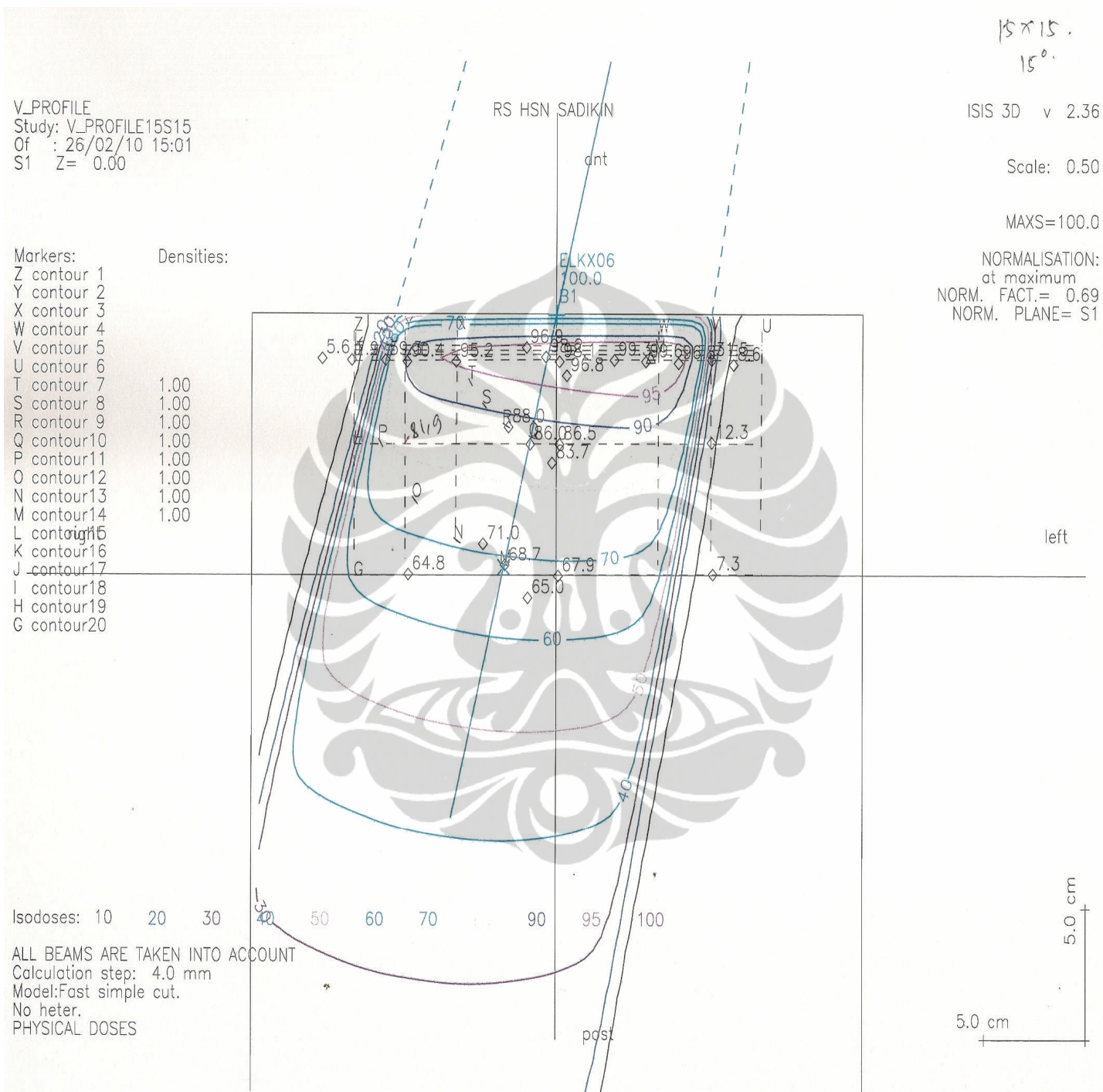
Lampiran B.5 Kurva Isodosis, Lapangan 10x10 cm<sup>2</sup>, Sudut 60°.



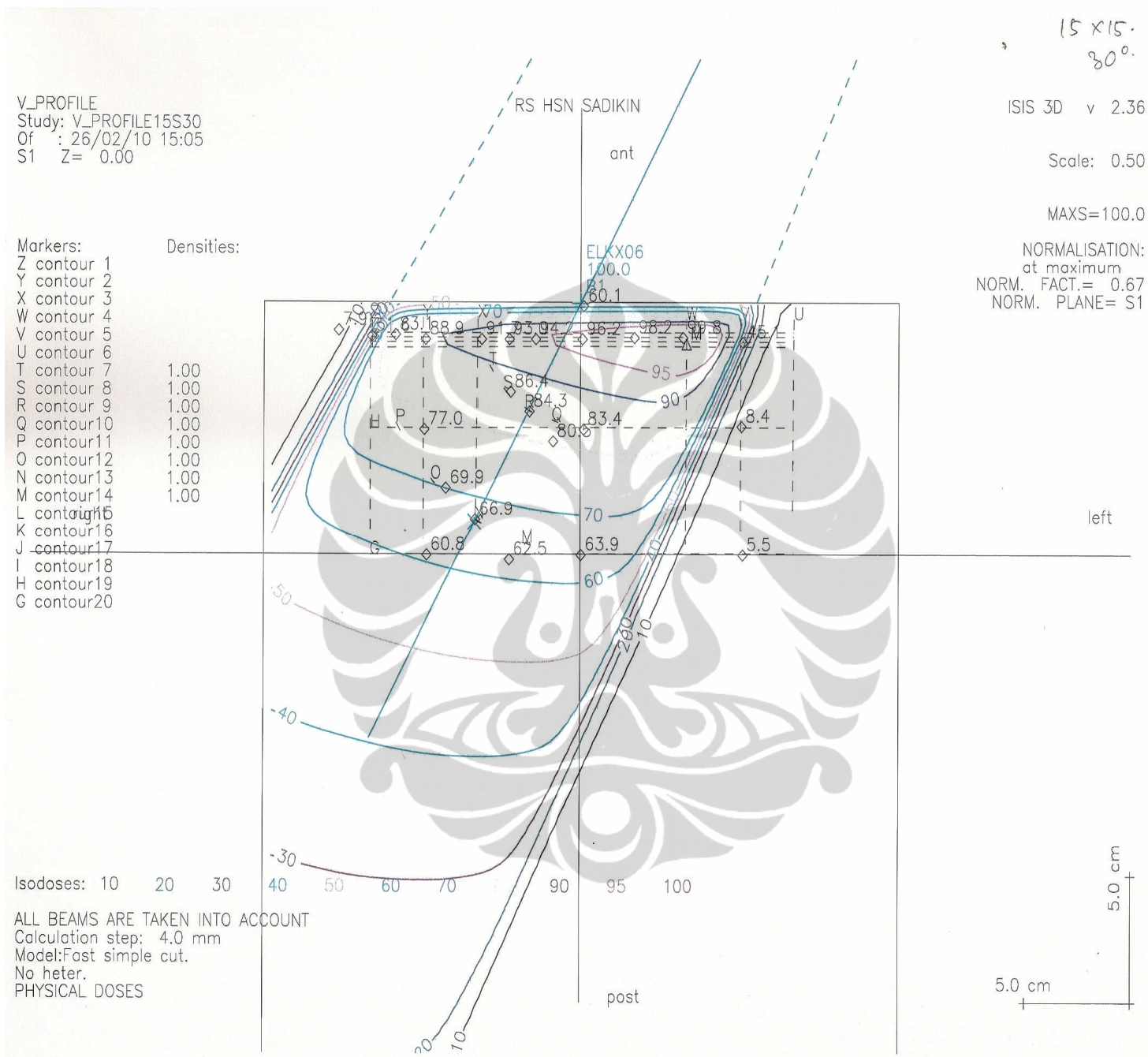
Lampiran B.6. Kurva Isodosis, Lapangan 15x15 cm<sup>2</sup>, Sudut 0°.

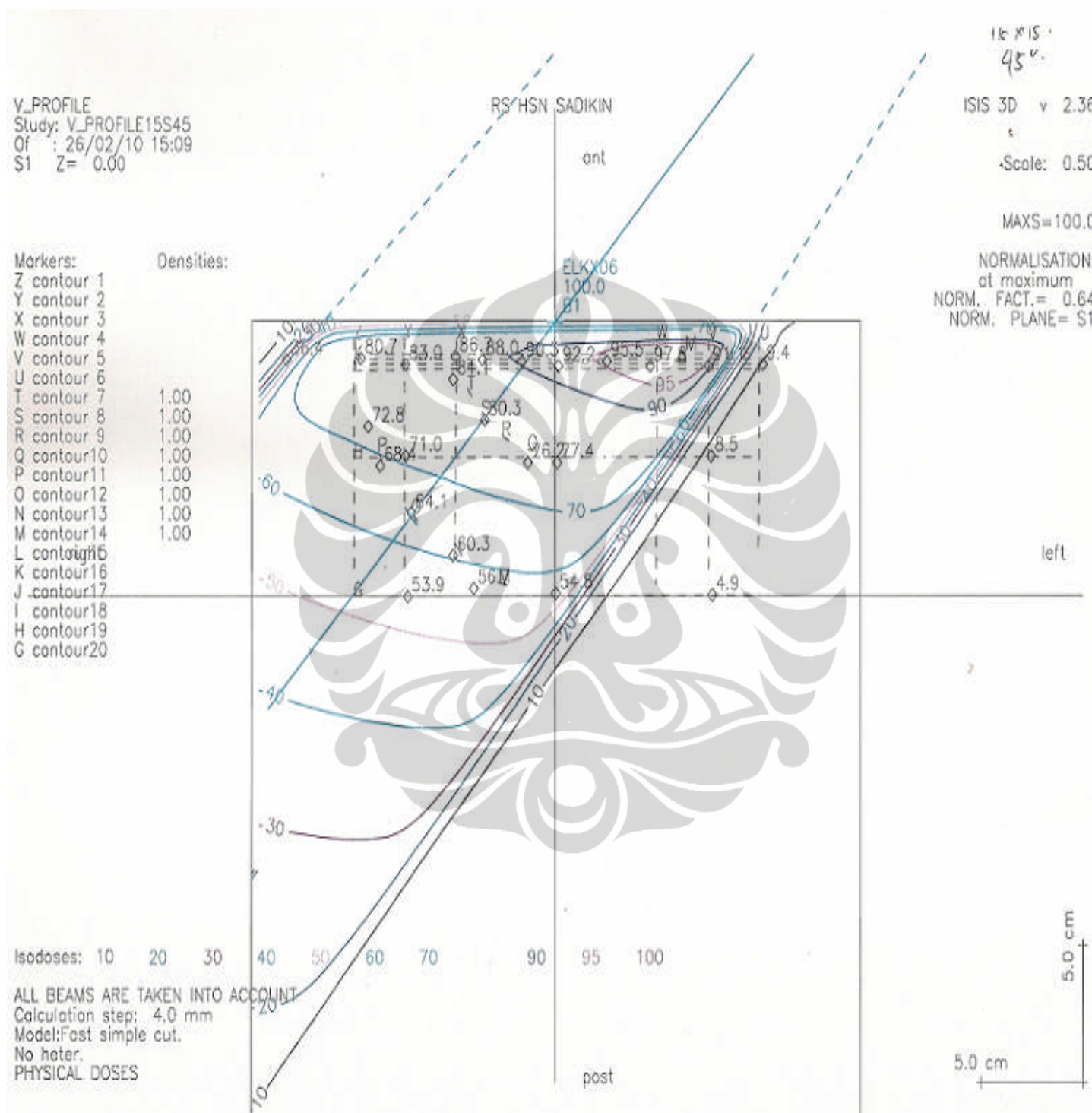


Lampiran B.7. Kurva Isodosis, Lapangan 15x15 cm<sup>2</sup>, Sudut 15<sup>0</sup>.

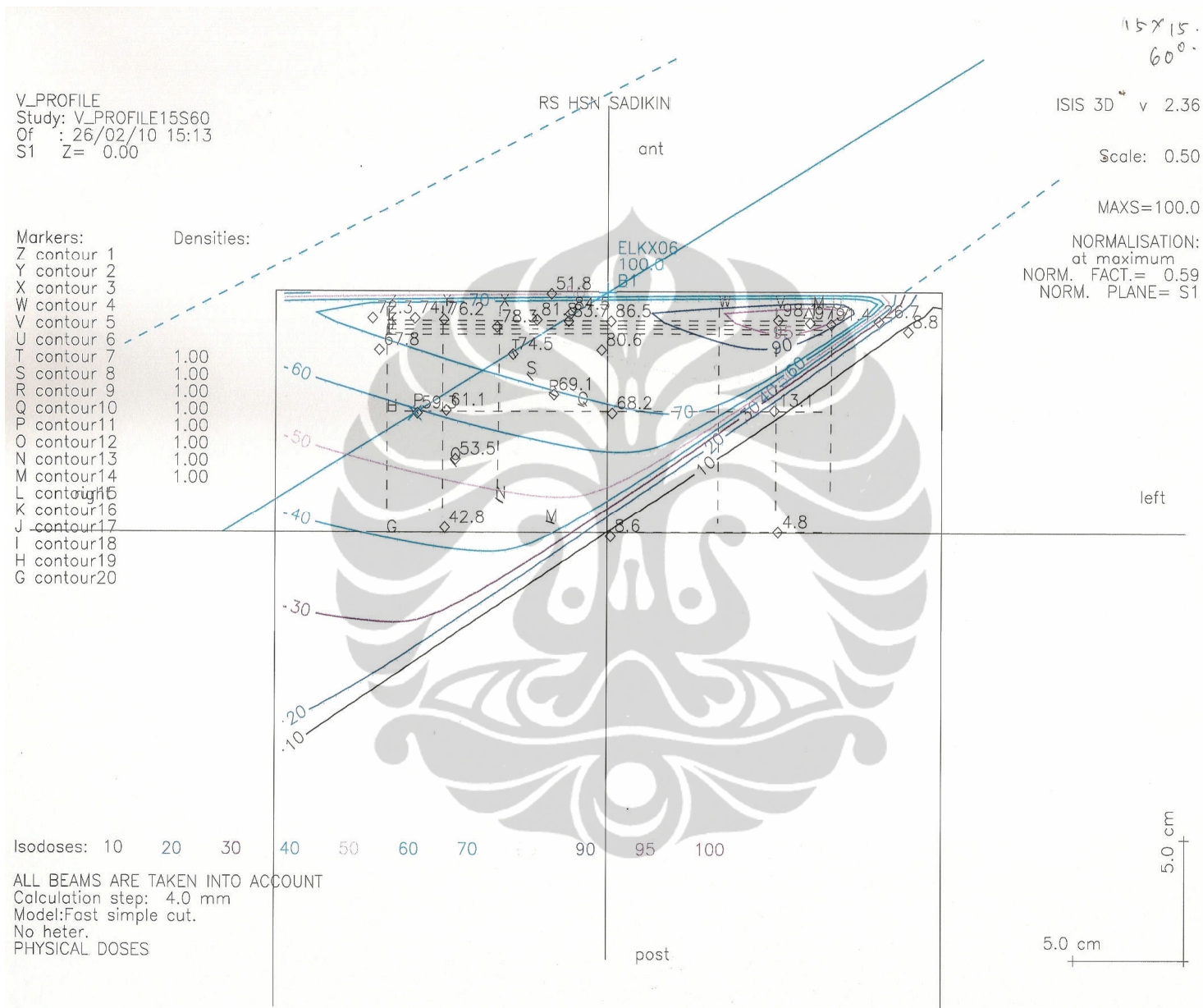


Lampiran B.8. Kurva Isodosis, Lapangan 15x15 cm<sup>2</sup>, Sudut 30<sup>0</sup>.



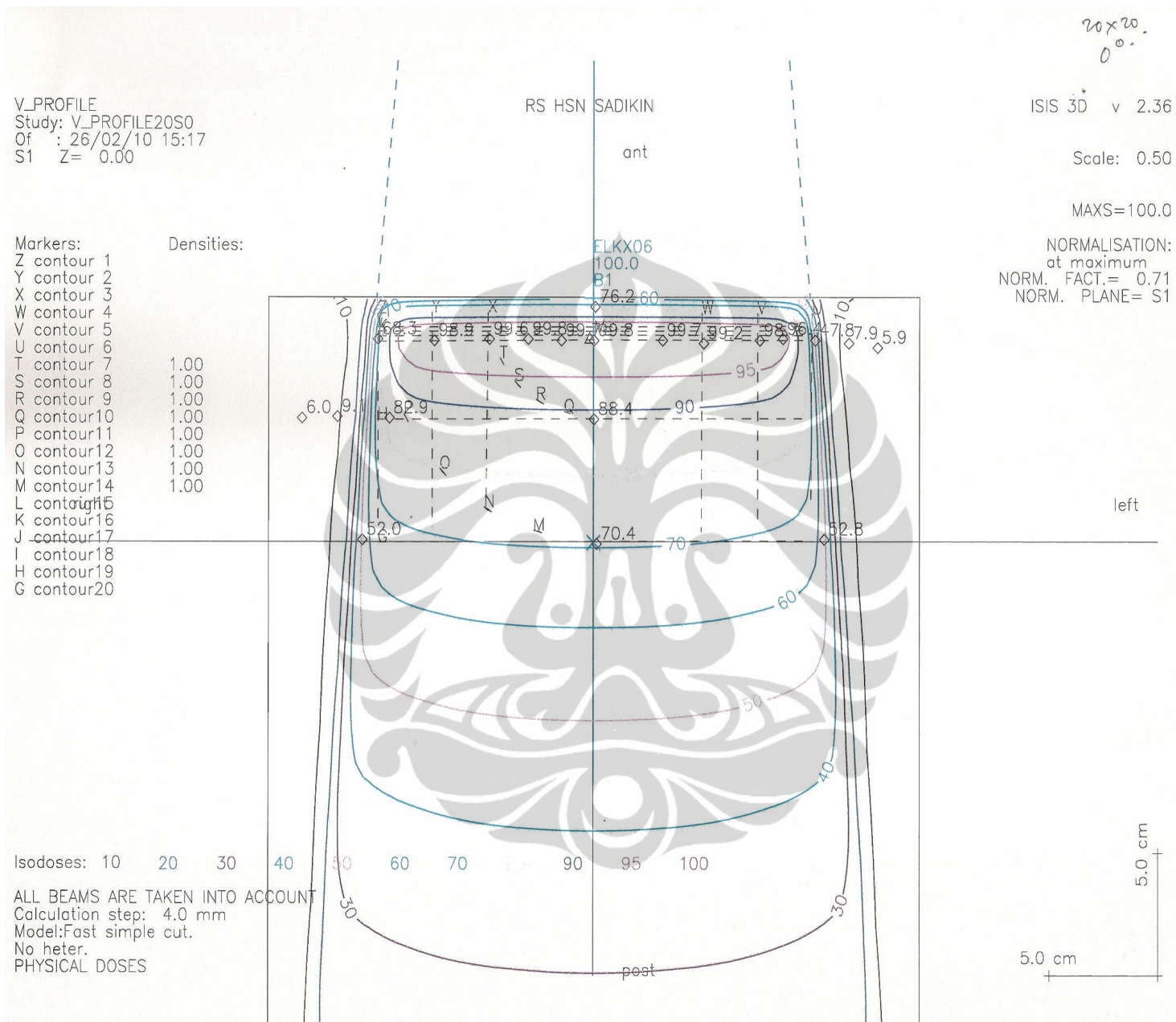
Lampiran B.9. Kurva Isodosis, Lapangan 15x15 cm<sup>2</sup>, Sudut 45<sup>0</sup>.

Lampiran B.10. Kurva Isodosis, Lapangan 15x15 cm<sup>2</sup>, Sudut 60<sup>0</sup>.

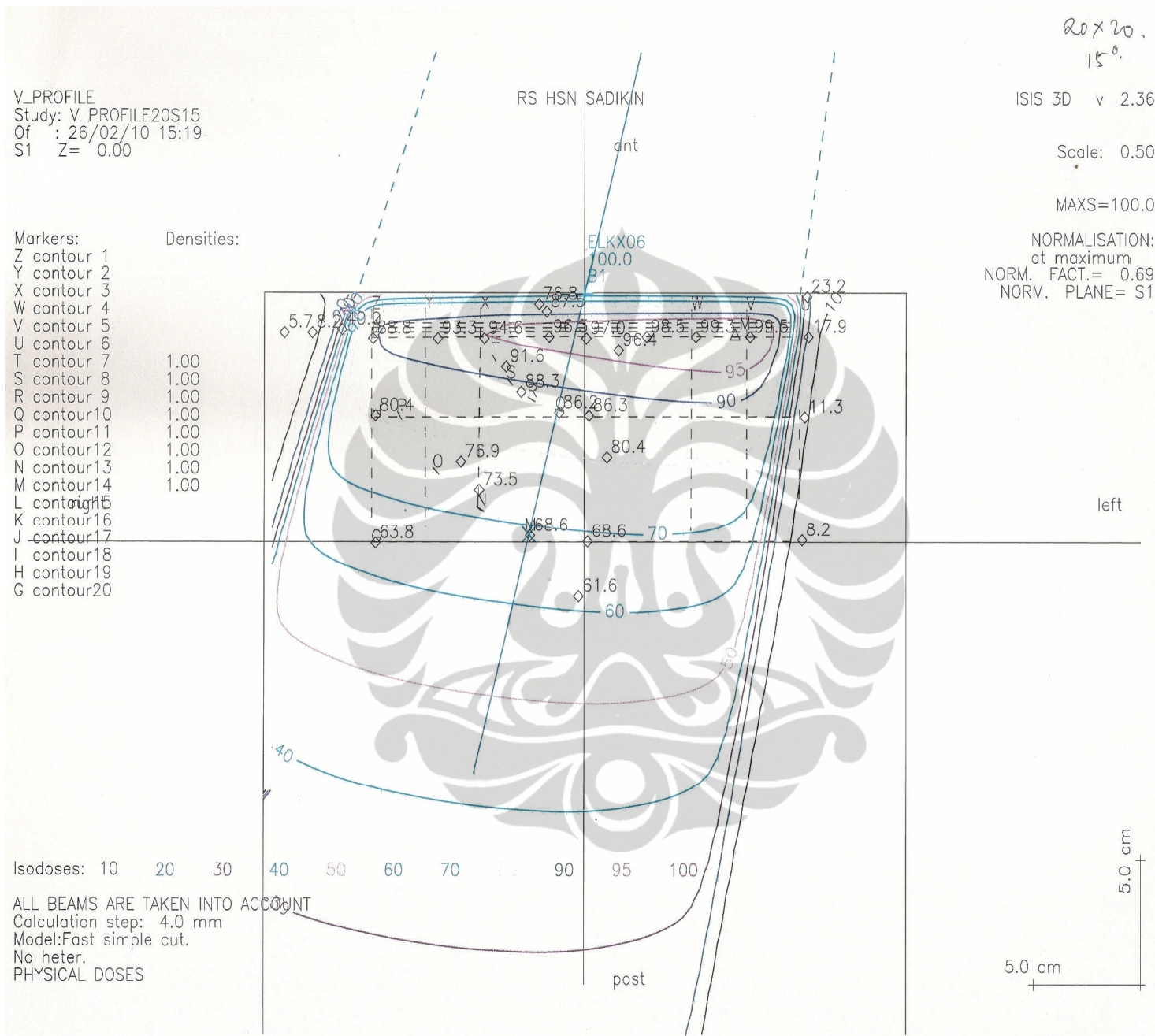




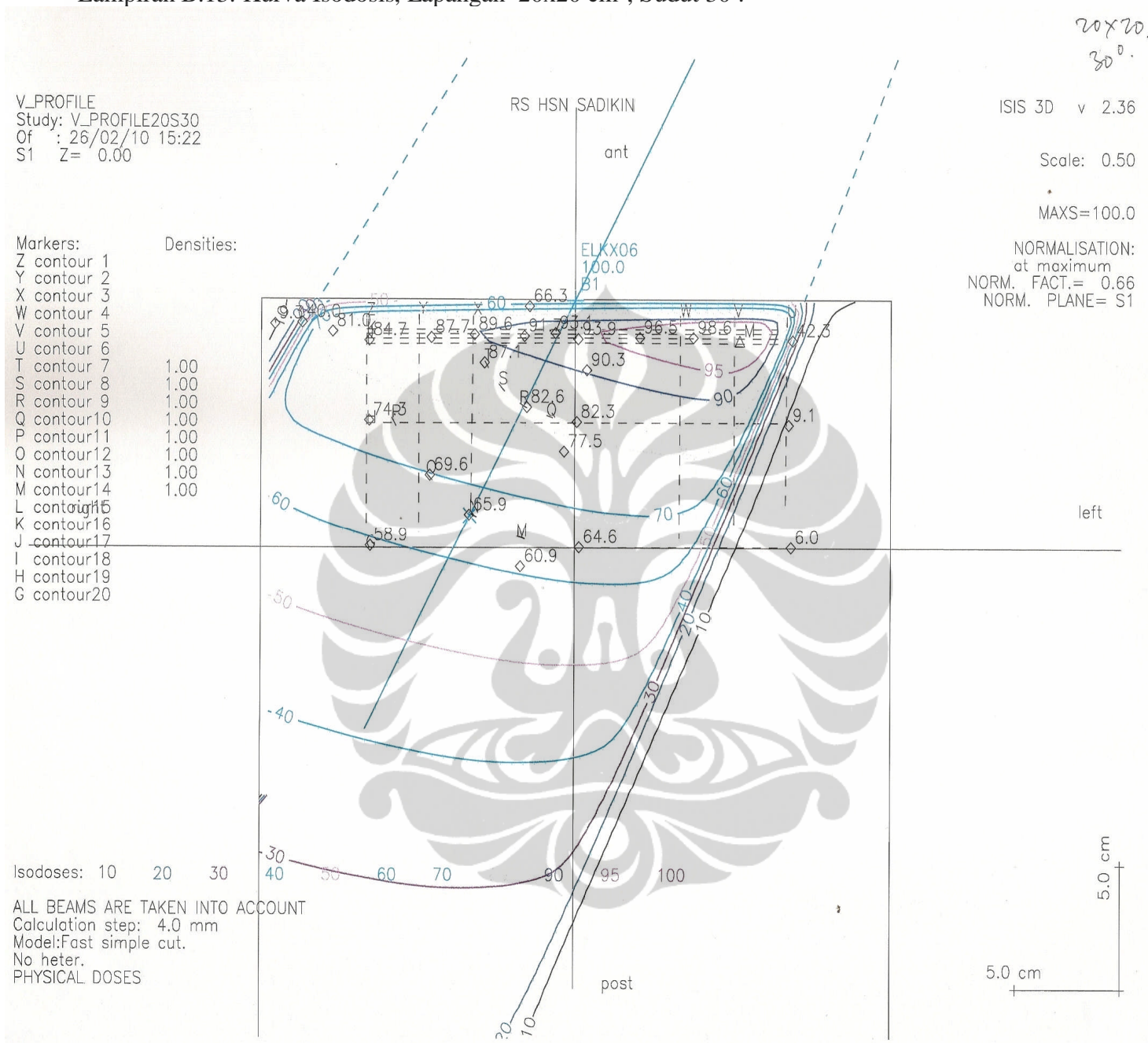
Lampiran B.11. Kurva Isodosis, Lapangan 20x20 cm<sup>2</sup>, Sudut 0<sup>0</sup>.



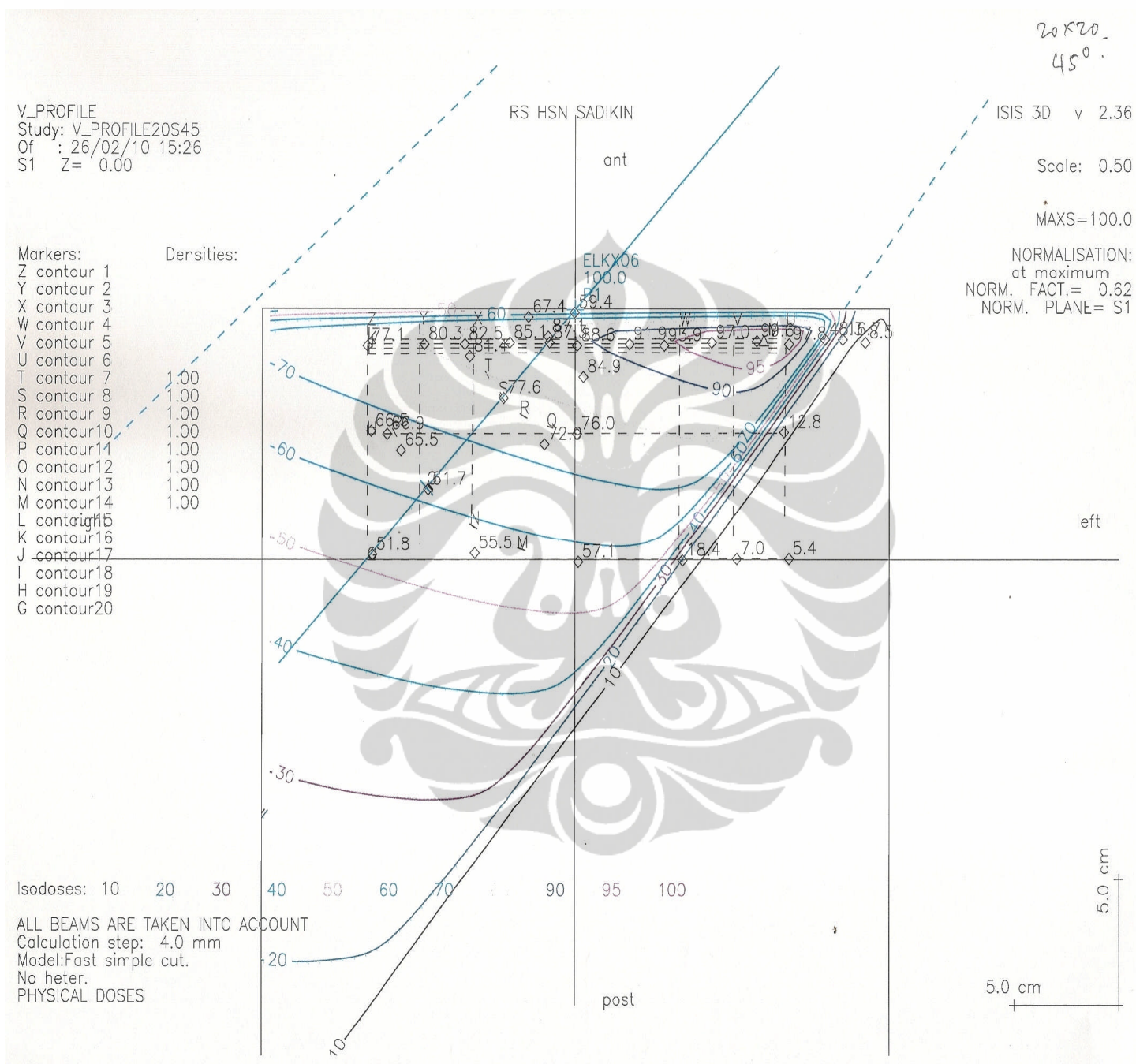
Lampiran B.12. Kurva Isodosis, Lapangan 20x20 cm<sup>2</sup>, Sudut 15<sup>0</sup>.



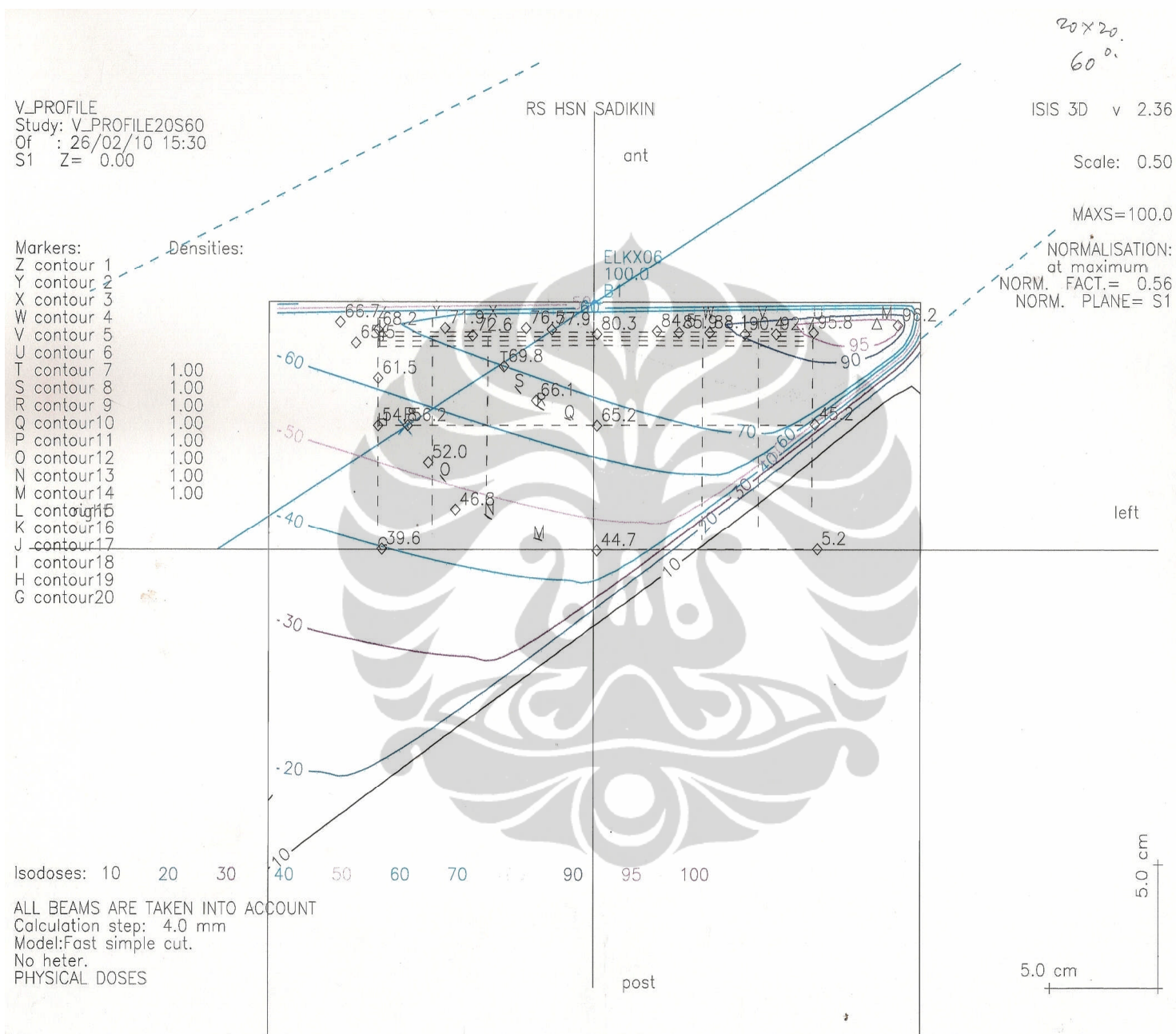
Lampiran B.13. Kurva Isodosis, Lapangan 20x20 cm<sup>2</sup>, Sudut 30<sup>0</sup>.



Lampiran B.14. Kurva Isodosis, Lapangan 20x20 cm<sup>2</sup>, Sudut 45<sup>0</sup>.



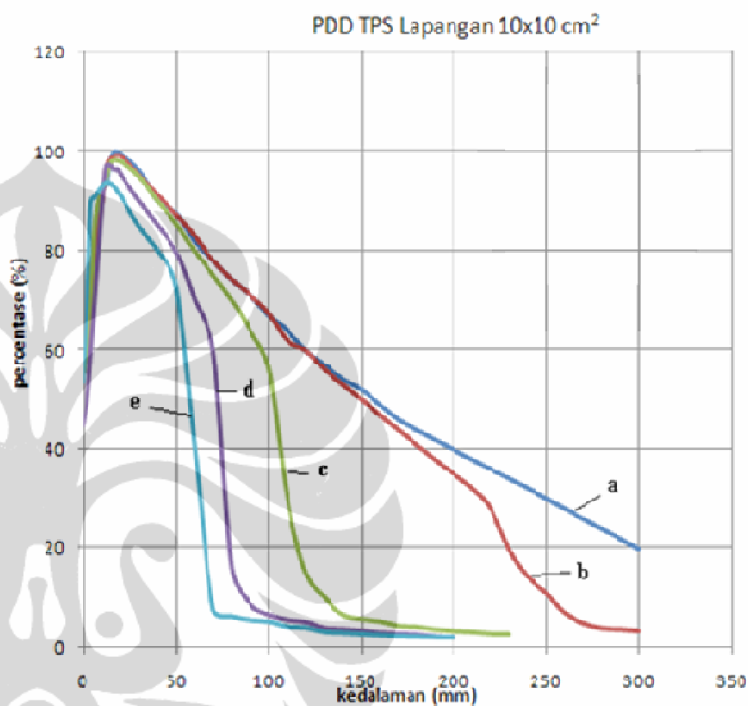
Lampiran B.15. Kurva Isodosis, Lapangan 20x20 cm<sup>2</sup>, Sudut 60<sup>0</sup>



## LAMPIRAN C. PDD TREATMENT PLANNING SYSTEM (TPS)

### Lampiran C.1. PDD TPS, Lapangan 10x10cm<sup>2</sup>.

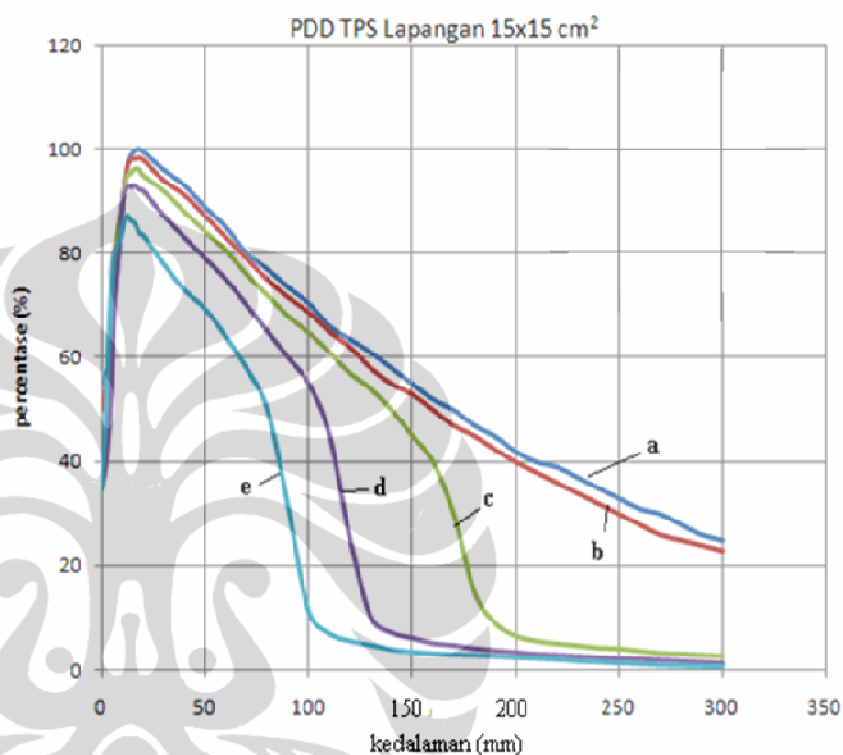
Keda laman  (mm)	PDD (%)				
	sudut 0 <sup>0</sup> .	sudut 15 <sup>0</sup> .	sudut 30 <sup>0</sup> .	sudut 45 <sup>0</sup> .	sudut 60 <sup>0</sup> .
0	55	55	55	45	53,5
2	60	60	60	50	70
4	70	70	70	60	90
6	80	80	85	70	91
8	90	85	90	80	92
10	92,5	90	92	90	93
12	93,2	96,3	94,9	96,9	93,8
14	97,9	98,2	97,6	97	93,6
16	99,5	99	98,4	96,2	93
18	100	99,2	98,2	96,2	92
20	99,5	99	98	95	91
30	96	95	95	90	85
40	90	91	90	85	80
50	88	87,3	85,6	79,8	68,8
60	82	83	80	70	40
70	78	78	75	60	7,5
80	74	74	70	16	6
90	71	71	64	8,8	5,3
100	68,5	67,3	56,1	6,6	4,6
110	64	62	30	5,6	4
120	60	60	15	5,2	3,8
130	57	56	10	4	3
140	54	53	6,5	3,8	2,8
150	52	50	5,6	3,5	2,6
160	49	47	5,2	3,1	2,4
170	46	44	4,3	2,9	2,2
180	44	41	4,1	2,8	2,1
190	42	38	3,6	2,4	2
200	40	35	3,3	2,2	1,9
210	38	32	3,1		
220	36	28	2,8		
230	34	20	2,7		
240	32	14,3			
250	30	11			
260	28	7			
270	26	5			
280	24	4			
290	22	3,8			
300	20	3,5			



Gambar Lampiran C.1. Kurva PDD TPS dengan luas lapangan 10x10 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri.  
Keterangan sudut gantri: a) 0<sup>0</sup>, b) 15<sup>0</sup>, c) 30<sup>0</sup>, d) 45<sup>0</sup> dan e) 60<sup>0</sup>

Lampiran C.2. PDD TPS, Lapangan 15x15cm<sup>2</sup>

Kedalaman (mm)	PDD (%)				
	sudut 0 <sup>o</sup> .	sudut 15 <sup>o</sup> .	sudut 30 <sup>o</sup> .	sudut 45 <sup>o</sup> .	sudut 60 <sup>o</sup> .
0	55	50	35	35	35
2	57	55	40	40	50
4	60	60	60	50	70
6	70	80	80	70	80
8	80	85	85	80	82
10	90	90	90	90	85
12	96,3	96,4	94,7	92,7	87,3
14	98,8	98,1	95,6	92,9	86,4
16	99,8	98,2	96,4	93,1	85,8
18	100	98,5	96,2	92,3	84
20	99,5	98	95	92	83,5
30	96	94	92	87,2	78
40	93	91,2	88	83	73
50	88,8	87,5	84	79,6	69,4
60	85	83,1	80,6	75	64
70	80	79	76	70	58
80	77	75	72	65	50
90	73,5	71,6	68	60	31,4
100	70,2	68,3	64,8	54,9	13,3
110	66	65	61	45	7
120	63,5	62	57	25	5,6
130	61	58	54	10	4,8
140	58	55	50	7	4
150	55	53	45	6	3,5
160	52	50	40	5	3,2
170	50	47	30	4,6	3
180	47	45	15	4	2,9
190	44,9	42,4	9	3,6	2,7
200	42	40	6,5	3,3	2,5
210	40	38	5,5	2,9	2,3
220	39	36	5	2,7	2,1
230	37	34	4,6	2,5	1,8
240	35	32	4,2	2,3	1,6
250	33	30	4	2,1	1,4
260	31	28	3,6	2	1,2
270	30	26	3,2	1,8	1
280	28	25	3	1,6	0,9
290	26	24	2,8	1,4	0,8
300	25	23	2,6	1,2	0,7

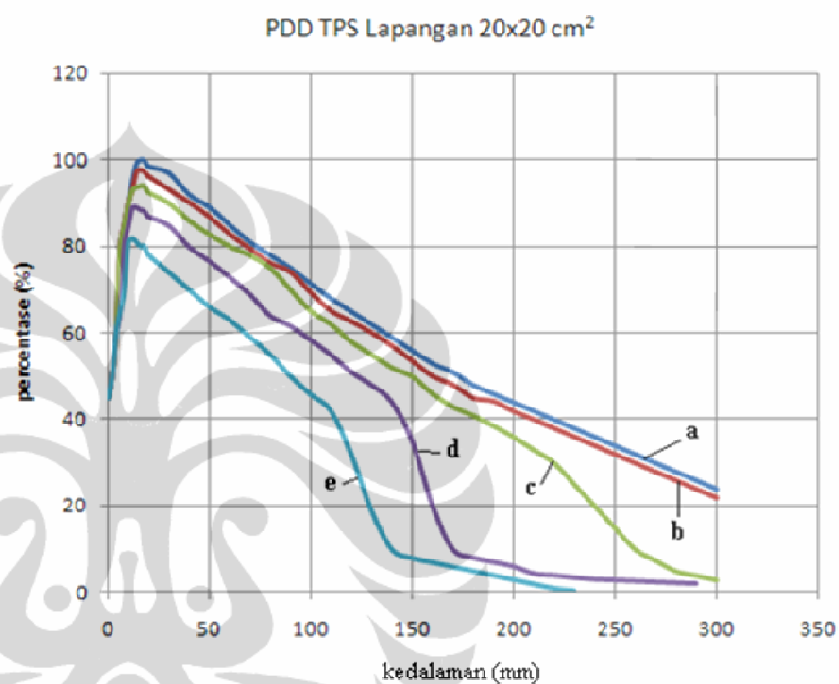


Gambar Lampiran C.2. Kurva PDD TPS dengan luas lapangan 15x15 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri.

Keterangan sudut gantri: a). 0<sup>o</sup>, b). 15<sup>o</sup>, c). 30<sup>o</sup>, d). 45<sup>o</sup> dan e). 60<sup>o</sup>

Lampiran C.3. PDD TPS, Lapangan 20x20cm<sup>2</sup>

Kedalaman (mm)	PDD (%)				
	sudut 0 <sup>o</sup> .	sudut 15 <sup>o</sup> .	sudut 30 <sup>o</sup> .	sudut 45 <sup>o</sup> .	sudut 60 <sup>o</sup> .
0	45	45	45	45	45
2	50	50	50	50	50
4	60	60	60	60	60
6	80	80	80	65	65
8	85	85	85	80	70
10	90	90	90	85	81
12	95,1	93	93	89,1	81,2
14	99,1	97	93,7	89,2	81
16	100	97,4	94	88,6	80
18	99,8	97	93,9	88,3	80
20	98,5	96	92,5	87	78
30	97	93	90	85	74
40	92	90	86	80	70
50	88,9	87	82,8	76,5	65,8
60	85	82,7	80	73	63
70	81	79,3	78	69	59
80	78	76	75	64	55
90	75	74	70	61,7	50
100	71,4	68,8	64,9	58,4	45,7
110	68	65	62	55	42
120	65	62,6	58	51	32
130	62	60	55	48	19
140	59	57	52	44	10
150	56	53,5	50	35	8
160	53	50	46	20	7
170	51	48	43	10	6
180	48	45	41	8	5
190	46	44,2	38,6	7	4
200	44	41,9	36	6	3
210	42	40	33	4,3	2
220	40	38	30	3,9	1
230	38	36	25	3,4	0,5
240	36	34	20	3	
250	34	32	15	2,8	
260	32	30	10	2,6	
270	30	28	7,5	2,4	
280	28	26	5	2,2	
290	26	24	4	2	
300	24	22	3		



Gambar Lampiran C.3. Kurva PDD TPS dengan luas lapangan 20x20 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri.  
Keterangan sudut gantri: a). 0<sup>o</sup>, b). 15<sup>o</sup>, c). 30<sup>o</sup>, d). 45<sup>o</sup> dan e). 60<sup>o</sup>



## LAMPIRAN D. PDD SIMULASI MONTE CARLO

## Lampiran D1. Data lengkap Simulasi PDD Monte carlo Luas lapangan 10X10 cm2

```

*****
NRCC/UW EGSnrc user-code DOSXYZnrc ($Revision: 1.36 $ last edited $Date: 2007/01/09 16:34:54 $)
ON i686_pc_Windows_NT (gnu_win32)                21:16:32 Nov 22 2009
*****
**
**
**          DOSXYZnrc          **
**          Z pronounced zed  **
**
**
**          Code developed at theNational Research Council of Canada and
**          University of Wisconsin as part of the OMEGA project
**
**          This is $Revision: 1.36 $ last edited $Date: 2007/01/09 16:34:54**
**
*****

```

The following parameters may be adjusted in dosxyz\_user\_macros.mortran

\$MXMED: Max number of media: 7

\$MXSTACK: Max stack size: 15

\$IMAX,etc: Max dose scoring regions in x,y,z directions: 128 128 56

\$MAXDOSE: Max dose scoring regions consistent with above: 917505

\$DOSEZERO(=1) 1=> all doses with uncert > 50% are zeroed in .3ddose file

The following parameters may be adjusted in srxyz.macros

\$INVDIM: number of elements in inverse CPD for input energy spectra = 1000

\$NENSRC: number of bins in input energy spectrum = 200

=====  
-----  
Title: belajar dosxyznrc  
-----  
=====

Number of media (min = 1, max = 7, 0 => CT data): 1  
Medium 1: H2O700ICRU

ECUTIN,PCUTIN,(ESTEPE,SMAX--DUMMY INPUTS):  
0.521 0.010 0.000 0.000

# regions in x (max= 128),y (max= 128),z (max= 56) directions

(if<0,implies # groups of reg), IPHANT (1 to output a .egsphant file for dosxyz\_show, 0[default] to not output this file)

: -3 -3 -2 0

Input boundaries in the x-direction

-----  
Initial boundary: -20.000

Width in this group, number of regions in group: 19.500 1

Width in this group, number of regions in group: 1.000 1

Width in this group, number of regions in group: 19.500 1

Boundaries

-20.000 -0.500 0.500 20.000

Input boundaries in the y-direction

-----  
Initial boundary: -20.000

Width in this group, number of regions in group: 19.500 1

Width in this group, number of regions in group: 1.000 1

Width in this group, number of regions in group: 19.500 1

Boundaries

-20.000 -0.500 0.500 20.000

Input boundaries in the z-direction

-----  
Initial boundary: 0.000

Width in this group, number of regions in group: 0.200 20

Width in this group, number of regions in group: 1.000 36

Boundaries

0.000 0.200 0.400 0.600 0.800 1.000  
1.200 1.400 1.600 1.800 2.000 2.200  
2.400 2.600 2.800 3.000 3.200 3.400  
3.600 3.800 4.000 5.000 6.000 7.000  
8.000 9.000 10.000 11.000 12.000 13.000  
14.000 15.000 16.000 17.000 18.000 19.000  
20.000 21.000 22.000 23.000 24.000 25.000  
26.000 27.000 28.000 29.000 30.000 31.000  
32.000 33.000 34.000 35.000 36.000 37.000  
38.000 39.000 40.000

Total # regions including exterior = 505

Input groups of regions for which density and medium are not defaults

Lower,upper i, j, k, MEDIUM, DENSITY

Found blank line => end of this input

Input groups of regions for which ECUT and PCUT are not defaults

NB This option is disabled, just input 8 zeros.

Dummy values of lower,upper i, j, k, ECUT, PCUT

Found blank line => end of this input

Enter 8 numbers on one line

3 pairs defining lower,upper x,y,z indices of dose regions

for which results are to be output

IZSCAN: non-zero for z-scan/page

MAX20: if any one = 1, output summary of max 20 doses.

end signaled by first pair both zero

for no dose printed, MAX20 is still read from first line

1 3 1 3 1 56 1 1

Found blank line => end of this input

Read input energy spectrum from:

C:/egsnrc\_mp/dosxyznrc/LA6MV.SPECTRUM

Have read 40 input energy bins from file

Counts/bin assumed

Energy ranges from 0.700 MeV to 6.921 MeV

\*\*\*\*\*WARNING\*\*\*\*\*

SOME OF NORMALIZED BIN PROBABILITIES SO SMALL BINS MAY BE MISSED

NCASE,IWATCH,TIMMAX,INSEED1,INSEED2,BEAM\_SIZE,ISMOOTH,IRESTART,IDAT,  
IREJECT,ESAVE\_GLOBAL,NRCYCL,IPARALLEL,PARNUM,n\_split,ihowfarless

:

300000000 0 100.00 33 97 100.00 0 0 0 0 0.00 0 0 0 1 0

\*\*\*\*\*

Summary of source parameters (srcxyznrc Rev 1.6)

\*\*\*\*\*

Parallel beam incident from an arbitrary direction

Electric charge of the source: 0  
x-coordinate of the isocenter, 0.0000 cm

y-coordinate of the isocenter,	0.0000 cm
z-coordinate of the isocenter,	0.0000 cm
Polar angle of collimator center:	180.0000 degrees
Azimuthal angle of collimator center:	90.0000 degrees
Total x-width of collimator,	15.0000 cm
Total y-width of collimator,	15.0000 cm
Collimator rotation angle,	0.0000 degrees

---



---

Electron/Photon transport parameter

---



---

Photon cross sections	PEGS4
Photon transport cutoff(MeV)	0.1000E-01
Pair angular sampling	SIM
Pair cross sections	BH
Triplet production	Off
Bound Compton scattering	OFF
Radiative Compton corrections	Off
Rayleigh scattering	OFF
Atomic relaxations	OFF
Photoelectron angular sampling	OFF
Electron transport cutoff(MeV)	0.7000
Bremsstrahlung cross sections	BH
Bremsstrahlung angular sampling	SIM
Spin effects	On
Electron Impact Ionization	OFF
Maximum electron step in cm (SMAX)	5.000
Maximum fractional energy loss/step (ESTEPE)	0.2500
Maximum 1st elastic moment/step (XIMAX)	0.5000
Boundary crossing algorithm	PRESTA-I
Skin-depth for boundary crossing (MFP)	330.8
Electron-step algorithm	PRESTA-II

---



---

Medium	AE	AP
H2O700ICRU	0.700	0.010

No range rejection.

\*\*\*\*\*

Histories to be simulated for this run 300000000

Histories to be analyzed after this run 300000000

\*\*\*\*\*

Elapsed wall clock time to this point= 0.546 s

CPU time so far for this run = 0.354 s

BATCH # TIME-ELAPSED TOTAL CPU TIME RATIO TIME OF DAY RNG pointers

1	0.0	0.0	0.00	21:16:32	ixx jxx = 97 33
2	1554.1	1538.1	1.01	21:42:26	ixx jxx = 38 71
3	3766.1	3746.3	1.01	22:19:18	ixx jxx = 22 55
4	5600.1	5580.1	1.00	22:49:52	ixx jxx = 50 83
5	7348.2	7328.1	1.00	23:19:00	ixx jxx = 40 73
6	9132.2	9111.9	1.00	23:48:44	ixx jxx = 57 90

Wall clock has gone past 24:00 hrs.

Elapsed time adjusted assuming batches took < 1 day to complete.

7	10877.8	10857.3	1.00	00:17:50	ixx jxx = 28 61
8	12661.5	12640.8	1.00	00:47:34	ixx jxx = 53 86
9	14409.1	14388.3	1.00	01:16:41	ixx jxx = 10 43
10	16124.4	16103.5	1.00	01:45:16	ixx jxx = 52 85

Total CPU time for run = 18114.1 s = 5.032 hr => 59621998. hist/hr

On i686\_pc\_Windows\_NT (gnu\_win32)

\*\*\*\*\*

# of particles which missed the phantom with source 1 = 0

\*\*\*\*\*

Fraction of incident energy deposited in the phantom = 0.6321

Number of charged particle steps simulated, N\_step = 2896285297

Number of charged particle steps/incident fluence = 2.17221E+03

No. of PRESTA-II steps/total no. of charged particle steps = 0.74680

lbelajar dosxyznrc

Elec/positron planar energy fluence scored in a 1cm\*\*2 circle  
centered at z-axis on the phantom surface = 0.000E+00(1/cm\*\*2)

Photon planarenergy fluence scored in a 1cm\*\*2 circle  
centered at z-axis on the phantom surface = 3.037E+06(1/cm\*\*2)

Elec/positron planar fluence scored in a 1cm\*\*2 circle  
centered at z-axis on the phantom surface = 0.000E+00(1/cm\*\*2)

Photon planar fluence scored in a 1cm\*\*2 circle  
centered at z-axis on the phantom surface = 1.334E+06(1/cm\*\*2)

Average planar fluence (number/beam area), F = 1.333E+06(1/cm\*\*2)

DOSXYZnrc (\$Revision: 1.36 \$) Dose outputs (dose/F, Gy.cm\*\*2)

```

for x= -20.000 to -0.500 i= 1
ybounds:-20.000 -0.500 0.500 20.000
j= 1 2 3
zbounds ( 0.000)
0.200 1 3.339E-13- 0.1% 8.975E-13- 0.4% 3.346E-13- 0.1%
0.400 2 6.656E-13- 0.1% 1.831E-12- 0.3% 6.650E-13- 0.1%
0.600 3 8.464E-13- 0.1% 2.325E-12- 0.3% 8.471E-13- 0.1%
0.800 4 9.597E-13- 0.1% 2.632E-12- 0.3% 9.595E-13- 0.1%
1.000 5 1.031E-12- 0.1% 2.842E-12- 0.2% 1.033E-12- 0.1%

1.200 6 1.079E-12- 0.1% 2.964E-12- 0.2% 1.080E-12- 0.1%
1.400 7 1.107E-12- 0.1% 3.054E-12- 0.2% 1.108E-12- 0.1%
1.600 8 1.124E-12- 0.1% 3.102E-12- 0.2% 1.125E-12- 0.1%
1.800 9 1.135E-12- 0.1% 3.120E-12- 0.2% 1.135E-12- 0.1%
2.000 10 1.140E-12- 0.1% 3.129E-12- 0.2% 1.141E-12- 0.1%

2.200 11 1.140E-12- 0.1% 3.142E-12- 0.2% 1.142E-12- 0.1%
2.400 12 1.140E-12- 0.1% 3.137E-12- 0.2% 1.142E-12- 0.1%
2.600 13 1.138E-12- 0.1% 3.112E-12- 0.2% 1.139E-12- 0.1%
2.800 14 1.137E-12- 0.1% 3.109E-12- 0.2% 1.135E-12- 0.1%
3.000 15 1.132E-12- 0.1% 3.111E-12- 0.2% 1.130E-12- 0.1%

3.200 16 1.129E-12- 0.1% 3.083E-12- 0.2% 1.129E-12- 0.1%
3.400 17 1.125E-12- 0.1% 3.074E-12- 0.2% 1.125E-12- 0.1%
3.600 18 1.122E-12- 0.1% 3.061E-12- 0.2% 1.121E-12- 0.1%
3.800 19 1.117E-12- 0.1% 3.050E-12- 0.2% 1.117E-12- 0.1%
4.000 20 1.114E-12- 0.1% 3.044E-12- 0.2% 1.114E-12- 0.1%

```

5.000	21	1.099E-12	0.1%	2.997E-12	0.2%	1.100E-12	0.1%
6.000	22	1.078E-12	0.1%	2.925E-12	0.2%	1.078E-12	0.1%
7.000	23	1.056E-12	0.1%	2.859E-12	0.2%	1.056E-12	0.1%
8.000	24	1.034E-12	0.1%	2.790E-12	0.2%	1.034E-12	0.1%
9.000	25	1.010E-12	0.1%	2.719E-12	0.2%	1.010E-12	0.1%
10.000	26	9.859E-13	0.1%	2.653E-12	0.2%	9.862E-13	0.1%
11.000	27	9.617E-13	0.1%	2.576E-12	0.2%	9.635E-13	0.1%
12.000	28	9.381E-13	0.1%	2.494E-12	0.2%	9.383E-13	0.1%
13.000	29	9.142E-13	0.1%	2.427E-12	0.2%	9.158E-13	0.1%
14.000	30	8.908E-13	0.1%	2.354E-12	0.2%	8.918E-13	0.1%
15.000	31	8.680E-13	0.1%	2.282E-12	0.2%	8.675E-13	0.1%
16.000	32	8.453E-13	0.1%	2.216E-12	0.2%	8.439E-13	0.1%
17.000	33	8.218E-13	0.1%	2.150E-12	0.2%	8.213E-13	0.1%
18.000	34	7.986E-13	0.1%	2.081E-12	0.2%	7.983E-13	0.1%
19.000	35	7.761E-13	0.1%	2.012E-12	0.2%	7.765E-13	0.1%
20.000	36	7.543E-13	0.1%	1.949E-12	0.2%	7.543E-13	0.1%
21.000	37	7.314E-13	0.1%	1.880E-12	0.2%	7.317E-13	0.1%
22.000	38	7.108E-13	0.1%	1.822E-12	0.2%	7.102E-13	0.1%
23.000	39	6.894E-13	0.1%	1.755E-12	0.2%	6.890E-13	0.1%
24.000	40	6.680E-13	0.1%	1.696E-12	0.2%	6.692E-13	0.1%
25.000	41	6.483E-13	0.1%	1.646E-12	0.2%	6.493E-13	0.1%
26.000	42	6.280E-13	0.1%	1.583E-12	0.2%	6.287E-13	0.1%
27.000	43	6.093E-13	0.1%	1.529E-12	0.2%	6.097E-13	0.1%
28.000	44	5.900E-13	0.1%	1.479E-12	0.2%	5.899E-13	0.1%
29.000	45	5.713E-13	0.1%	1.432E-12	0.2%	5.709E-13	0.1%
30.000	46	5.536E-13	0.1%	1.380E-12	0.2%	5.529E-13	0.1%
31.000	47	5.350E-13	0.1%	1.329E-12	0.2%	5.347E-13	0.1%
32.000	48	5.180E-13	0.1%	1.288E-12	0.2%	5.182E-13	0.1%
33.000	49	5.003E-13	0.1%	1.236E-12	0.2%	5.002E-13	0.1%
34.000	50	4.836E-13	0.1%	1.195E-12	0.3%	4.835E-13	0.1%
35.000	51	4.670E-13	0.1%	1.141E-12	0.3%	4.666E-13	0.1%
36.000	52	4.507E-13	0.1%	1.107E-12	0.3%	4.507E-13	0.1%
37.000	53	4.344E-13	0.1%	1.066E-12	0.3%	4.335E-13	0.1%
38.000	54	4.176E-13	0.1%	1.026E-12	0.3%	4.178E-13	0.1%
39.000	55	4.018E-13	0.1%	9.847E-13	0.3%	4.016E-13	0.1%
40.000	56	3.804E-13	0.1%	9.326E-13	0.3%	3.810E-13	0.1%

lbelajar dosxyznrc

Elec/positron planar energy fluence scored in a 1cm\*\*2 circle  
centered at z-axis on the phantom surface = 0.000E+00(1/cm\*\*2)

Photon planar energy fluence scored in a 1cm\*\*2 circle  
centered at z-axis on the phantom surface = 3.037E+06(1/cm\*\*2)

Elec/positron planar fluence scored in a 1cm\*\*2 circle  
centered at z-axis on the phantom surface = 0.000E+00(1/cm\*\*2)

Photon planar fluence scored in a 1cm\*\*2 circle  
centered at z-axis on the phantom surface = 1.334E+06(1/cm\*\*2)

Average planar fluence (number/beam area), F = 1.333E+06(1/cm\*\*2)

DOSXYZnrc (\$Revision: 1.36 \$) Dose outputs (dose/F, Gy.cm\*\*2)

for x= -0.500 to 0.500 i= 2

z	1	2	3
0.200	1 8.945E-13- 0.4%	2.495E-12- 1.0%	8.979E-13- 0.4%
0.400	2 1.824E-12- 0.3%	5.034E-12- 0.8%	1.810E-12- 0.3%
0.600	3 2.325E-12- 0.3%	6.414E-12- 0.7%	2.326E-12- 0.3%
0.800	4 2.632E-12- 0.3%	7.264E-12- 0.7%	2.632E-12- 0.3%
1.000	5 2.833E-12- 0.2%	7.768E-12- 0.6%	2.828E-12- 0.2%
1.200	6 2.954E-12- 0.2%	8.182E-12- 0.6%	2.954E-12- 0.2%
1.400	7 3.041E-12- 0.2%	8.452E-12- 0.6%	3.031E-12- 0.2%
1.600	8 3.089E-12- 0.2%	8.522E-12- 0.6%	3.084E-12- 0.2%
1.800	9 3.117E-12- 0.2%	8.576E-12- 0.6%	3.104E-12- 0.2%
2.000	10 3.129E-12- 0.2%	8.648E-12- 0.6%	3.121E-12- 0.2%
2.200	11 3.135E-12- 0.2%	8.620E-12- 0.6%	3.129E-12- 0.2%
2.400	12 3.124E-12- 0.2%	8.638E-12- 0.6%	3.125E-12- 0.2%
2.600	13 3.125E-12- 0.2%	8.614E-12- 0.6%	3.126E-12- 0.2%
2.800	14 3.108E-12- 0.2%	8.522E-12- 0.6%	3.100E-12- 0.2%
3.000	15 3.093E-12- 0.2%	8.461E-12- 0.6%	3.089E-12- 0.2%
3.200	16 3.072E-12- 0.2%	8.448E-12- 0.6%	3.087E-12- 0.2%
3.400	17 3.074E-12- 0.2%	8.435E-12- 0.6%	3.086E-12- 0.2%
3.600	18 3.055E-12- 0.2%	8.439E-12- 0.6%	3.068E-12- 0.2%
3.800	19 3.047E-12- 0.2%	8.392E-12- 0.6%	3.062E-12- 0.2%
4.000	20 3.043E-12- 0.2%	8.388E-12- 0.6%	3.046E-12- 0.2%



5.000	21	2.999E-12-	0.2%	8.311E-12-	0.4%	2.999E-12-	0.2%
6.000	22	2.933E-12-	0.2%	8.037E-12-	0.4%	2.928E-12-	0.2%
7.000	23	2.854E-12-	0.2%	7.856E-12-	0.4%	2.860E-12-	0.2%
8.000	24	2.785E-12-	0.2%	7.603E-12-	0.4%	2.787E-12-	0.2%
9.000	25	2.719E-12-	0.2%	7.425E-12-	0.4%	2.715E-12-	0.2%
10.000	26	2.645E-12-	0.2%	7.215E-12-	0.4%	2.649E-12-	0.2%
11.000	27	2.568E-12-	0.2%	7.021E-12-	0.4%	2.579E-12-	0.2%
12.000	28	2.498E-12-	0.2%	6.744E-12-	0.4%	2.498E-12-	0.2%
13.000	29	2.423E-12-	0.2%	6.486E-12-	0.4%	2.426E-12-	0.2%
14.000	30	2.355E-12-	0.2%	6.330E-12-	0.4%	2.349E-12-	0.2%
15.000	31	2.282E-12-	0.2%	6.107E-12-	0.5%	2.289E-12-	0.2%
16.000	32	2.218E-12-	0.2%	5.905E-12-	0.5%	2.217E-12-	0.2%
17.000	33	2.150E-12-	0.2%	5.759E-12-	0.5%	2.153E-12-	0.2%
18.000	34	2.081E-12-	0.2%	5.569E-12-	0.5%	2.081E-12-	0.2%
19.000	35	2.012E-12-	0.2%	5.352E-12-	0.5%	2.009E-12-	0.2%
20.000	36	1.954E-12-	0.2%	5.169E-12-	0.5%	1.943E-12-	0.2%
21.000	37	1.885E-12-	0.2%	5.006E-12-	0.5%	1.880E-12-	0.2%
22.000	38	1.823E-12-	0.2%	4.794E-12-	0.5%	1.811E-12-	0.2%
23.000	39	1.767E-12-	0.2%	4.602E-12-	0.5%	1.759E-12-	0.2%
24.000	40	1.703E-12-	0.2%	4.458E-12-	0.5%	1.697E-12-	0.2%
25.000	41	1.647E-12-	0.2%	4.288E-12-	0.6%	1.648E-12-	0.2%
26.000	42	1.586E-12-	0.2%	4.169E-12-	0.6%	1.586E-12-	0.2%
27.000	43	1.527E-12-	0.2%	4.030E-12-	0.6%	1.529E-12-	0.2%
28.000	44	1.480E-12-	0.2%	3.892E-12-	0.6%	1.486E-12-	0.2%
29.000	45	1.431E-12-	0.2%	3.732E-12-	0.6%	1.439E-12-	0.2%
30.000	46	1.379E-12-	0.2%	3.597E-12-	0.6%	1.376E-12-	0.2%
31.000	47	1.328E-12-	0.2%	3.424E-12-	0.6%	1.326E-12-	0.2%
32.000	48	1.283E-12-	0.2%	3.312E-12-	0.6%	1.288E-12-	0.2%
33.000	49	1.238E-12-	0.2%	3.186E-12-	0.6%	1.246E-12-	0.2%
34.000	50	1.196E-12-	0.2%	3.072E-12-	0.7%	1.198E-12-	0.3%
35.000	51	1.152E-12-	0.3%	2.945E-12-	0.7%	1.152E-12-	0.3%
36.000	52	1.110E-12-	0.3%	2.840E-12-	0.7%	1.111E-12-	0.3%
37.000	53	1.062E-12-	0.3%	2.773E-12-	0.7%	1.066E-12-	0.3%
38.000	54	1.025E-12-	0.3%	2.652E-12-	0.7%	1.026E-12-	0.3%
39.000	55	9.813E-13-	0.3%	2.539E-12-	0.7%	9.835E-13-	0.3%
40.000	56	9.338E-13-	0.3%	2.388E-12-	0.8%	9.406E-13-	0.3%

lbelajar dosxyznrc

Elec/positron planar energy fluence scored in a 1cm\*\*2 circle

centered at z-axis on the phantom surface = 0.000E+00(1/cm\*\*2)

Photon planar energy fluence scored in a 1cm\*\*2 circle  
centered at z-axis on the phantom surface = 3.037E+06(1/cm\*\*2)

Elec/positron planar fluence scored in a 1cm\*\*2 circle  
centered at z-axis on the phantom surface = 0.000E+00(1/cm\*\*2)

Photon planar fluence scored in a 1cm\*\*2 circle  
centered at z-axis on the phantom surface = 1.334E+06(1/cm\*\*2)

Average planar fluence (number/beam area), F = 1.333E+06(1/cm\*\*2)

DOSXYZnrc (\$Revision: 1.36 \$) Dose outputs (dose/F, Gy.cm\*\*2)

for x= 0.500 to 20.000 i= 3

ybounds:-	20.000	-0.500	0.500	20.000
j=	1	2	3	
zbounds (	0.000)			
0.200	1	3.351E-13- 0.1%	8.963E-13- 0.4%	3.344E-13- 0.1%
0.400	2	6.674E-13- 0.1%	1.812E-12- 0.3%	6.659E-13- 0.1%
0.600	3	8.469E-13- 0.1%	2.321E-12- 0.3%	8.471E-13- 0.1%
0.800	4	9.589E-13- 0.1%	2.628E-12- 0.3%	9.581E-13- 0.1%
1.000	5	1.031E-12- 0.1%	2.815E-12- 0.3%	1.031E-12- 0.1%
1.200	6	1.079E-12- 0.1%	2.964E-12- 0.2%	1.077E-12- 0.1%
1.400	7	1.108E-12- 0.1%	3.029E-12- 0.2%	1.109E-12- 0.1%
1.600	8	1.124E-12- 0.1%	3.089E-12- 0.2%	1.127E-12- 0.1%
1.800	9	1.135E-12- 0.1%	3.120E-12- 0.2%	1.136E-12- 0.1%
2.000	10	1.139E-12- 0.1%	3.114E-12- 0.2%	1.140E-12- 0.1%
2.200	11	1.141E-12- 0.1%	3.123E-12- 0.2%	1.141E-12- 0.1%
2.400	12	1.142E-12- 0.1%	3.118E-12- 0.2%	1.142E-12- 0.1%
2.600	13	1.138E-12- 0.1%	3.119E-12- 0.2%	1.139E-12- 0.1%
2.800	14	1.135E-12- 0.1%	3.116E-12- 0.2%	1.136E-12- 0.1%
3.000	15	1.131E-12- 0.1%	3.085E-12- 0.2%	1.133E-12- 0.1%
3.200	16	1.126E-12- 0.1%	3.078E-12- 0.2%	1.129E-12- 0.1%
3.400	17	1.126E-12- 0.1%	3.071E-12- 0.2%	1.125E-12- 0.1%
3.600	18	1.119E-12- 0.1%	3.065E-12- 0.2%	1.120E-12- 0.1%
3.800	19	1.116E-12- 0.1%	3.048E-12- 0.2%	1.116E-12- 0.1%
4.000	20	1.114E-12- 0.1%	3.032E-12- 0.2%	1.113E-12- 0.1%
5.000	21	1.100E-12- 0.1%	3.002E-12- 0.2%	1.099E-12- 0.1%

6.000	22	1.079E-12	0.1%	2.925E-12	0.2%	1.078E-12	0.1%
7.000	23	1.056E-12	0.1%	2.856E-12	0.2%	1.057E-12	0.1%
8.000	24	1.032E-12	0.1%	2.783E-12	0.2%	1.034E-12	0.1%
9.000	25	1.010E-12	0.1%	2.720E-12	0.2%	1.010E-12	0.1%
10.000	26	9.871E-13	0.1%	2.641E-12	0.2%	9.866E-13	0.1%
11.000	27	9.630E-13	0.1%	2.572E-12	0.2%	9.616E-13	0.1%
12.000	28	9.394E-13	0.1%	2.498E-12	0.2%	9.389E-13	0.1%
13.000	29	9.161E-13	0.1%	2.421E-12	0.2%	9.157E-13	0.1%
14.000	30	8.926E-13	0.1%	2.347E-12	0.2%	8.914E-13	0.1%
15.000	31	8.677E-13	0.1%	2.280E-12	0.2%	8.671E-13	0.1%
16.000	32	8.441E-13	0.1%	2.217E-12	0.2%	8.436E-13	0.1%
17.000	33	8.213E-13	0.1%	2.148E-12	0.2%	8.218E-13	0.1%
18.000	34	7.990E-13	0.1%	2.074E-12	0.2%	7.995E-13	0.1%
19.000	35	7.757E-13	0.1%	2.008E-12	0.2%	7.759E-13	0.1%
20.000	36	7.542E-13	0.1%	1.951E-12	0.2%	7.543E-13	0.1%
21.000	37	7.321E-13	0.1%	1.881E-12	0.2%	7.318E-13	0.1%
22.000	38	7.112E-13	0.1%	1.821E-12	0.2%	7.106E-13	0.1%
23.000	39	6.887E-13	0.1%	1.757E-12	0.2%	6.898E-13	0.1%
24.000	40	6.686E-13	0.1%	1.696E-12	0.2%	6.688E-13	0.1%
25.000	41	6.486E-13	0.1%	1.646E-12	0.2%	6.486E-13	0.1%
26.000	42	6.285E-13	0.1%	1.589E-12	0.2%	6.279E-13	0.1%
27.000	43	6.091E-13	0.1%	1.533E-12	0.2%	6.093E-13	0.1%
28.000	44	5.901E-13	0.1%	1.476E-12	0.2%	5.897E-13	0.1%
29.000	45	5.714E-13	0.1%	1.426E-12	0.2%	5.715E-13	0.1%
30.000	46	5.530E-13	0.1%	1.373E-12	0.2%	5.529E-13	0.1%
31.000	47	5.356E-13	0.1%	1.328E-12	0.2%	5.347E-13	0.1%
32.000	48	5.179E-13	0.1%	1.285E-12	0.2%	5.177E-13	0.1%
33.000	49	5.005E-13	0.1%	1.235E-12	0.2%	4.999E-13	0.1%
34.000	50	4.825E-13	0.1%	1.196E-12	0.2%	4.834E-13	0.1%
35.000	51	4.671E-13	0.1%	1.150E-12	0.3%	4.668E-13	0.1%
36.000	52	4.510E-13	0.1%	1.105E-12	0.3%	4.500E-13	0.1%
37.000	53	4.341E-13	0.1%	1.065E-12	0.3%	4.336E-13	0.1%
38.000	54	4.180E-13	0.1%	1.026E-12	0.3%	4.180E-13	0.1%
39.000	55	4.017E-13	0.1%	9.879E-13	0.3%	4.027E-13	0.1%
40.000	56	3.812E-13	0.1%	9.342E-13	0.3%	3.811E-13	0.1%

1

average of 20 highest doses = 0.83457E-11 Gy/particle  
average % error of 20 highest doses = 0.582 %

average % error of doses > 0.500 of max dose = 0.547 %  
 (average error of doses > 0.500 of max dose)/(max dose) = 0.458 %  
 quadrature average % error of doses > 0.500 of max dose = 0.556 %  
 There are 39 voxels with dose > 0.500 of max dose

20 highest doses:

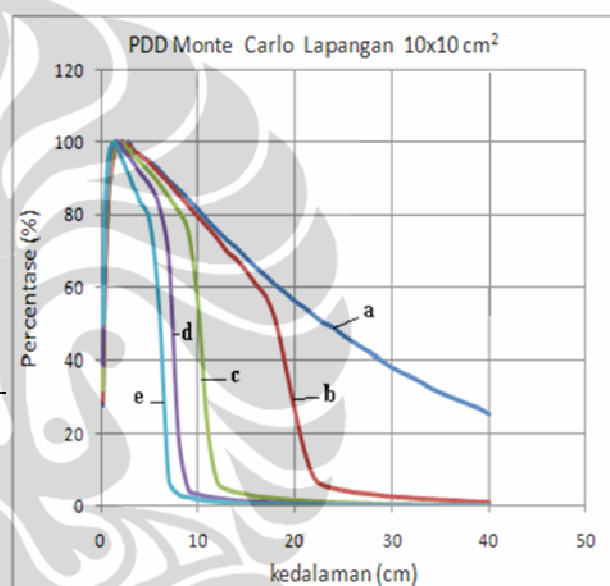
dose (Gy/particle)		(x,y,z) (cm)
-----		-----
0.86484E-11 +/-	0.62254 % (	0.00000, 0.00000, 1.90000 )
0.86379E-11 +/-	0.61925 % (	0.00000, 0.00000, 2.30000 )
0.86200E-11 +/-	0.62188 % (	0.00000, 0.00000, 2.10000 )
0.86139E-11 +/-	0.62201 % (	0.00000, 0.00000, 2.50000 )
0.85757E-11 +/-	0.62471 % (	0.00000, 0.00000, 1.70000 )
0.85225E-11 +/-	0.62189 % (	0.00000, 0.00000, 1.50000 )
0.85222E-11 +/-	0.62516 % (	0.00000, 0.00000, 2.70000 )
0.84606E-11 +/-	0.62616 % (	0.00000, 0.00000, 2.90000 )
0.84525E-11 +/-	0.62887 % (	0.00000, 0.00000, 1.30000 )
0.84482E-11 +/-	0.62430 % (	0.00000, 0.00000, 3.10000 )
0.84390E-11 +/-	0.62476 % (	0.00000, 0.00000, 3.50000 )
0.84353E-11 +/-	0.62683 % (	0.00000, 0.00000, 3.30000 )
0.83923E-11 +/-	0.62796 % (	0.00000, 0.00000, 3.70000 )
0.83879E-11 +/-	0.62584 % (	0.00000, 0.00000, 3.90000 )
0.83113E-11 +/-	0.39415 % (	0.00000, 0.00000, 4.50000 )
0.81824E-11 +/-	0.63639 % (	0.00000, 0.00000, 1.10000 )
0.80370E-11 +/-	0.39837 % (	0.00000, 0.00000, 5.50000 )
0.78556E-11 +/-	0.40308 % (	0.00000, 0.00000, 6.50000 )
0.77682E-11 +/-	0.64815 % (	0.00000, 0.00000, 0.90000 )
0.76028E-11 +/-	0.40859 % (	0.00000, 0.00000, 7.50000 )

Total CPU time for this run = 18114.5 s = 5.032 hr

END OF RUN Nov 23 2009 02:18:47

Lampiran D2 PDD Simulasi Monte Carlo, Lapangan 10x10 cm<sup>2</sup>

kedalaman (mm)	PDD (%)				
	sudut 0 <sup>o</sup> .	sudut 15 <sup>o</sup> .	sudut 30 <sup>o</sup> .	sudut 45 <sup>o</sup> .	sudut 60 <sup>o</sup> .
2	27,9	29,0	32,2	38,7	49,7
4	58,3	58,9	63,1	70,5	80,5
6	74,1	74,9	78,8	85,2	91,6
8	84,4	84,8	88,2	92,4	96,4
10	90,7	91,5	93,6	97,0	98,8
12	94,6	94,6	96,7	99,1	99,5
14	97,3	97,9	98,9	99,7	100,0
16	98,4	99,0	100,0	100,0	99,1
18	99,6	99,6	99,5	99,8	98,0
20	99,5	99,6	99,8	99,5	96,4
22	100,0	100,0	99,6	98,2	95,2
24	99,5	99,5	99,4	97,3	94,0
26	99,5	98,8	98,2	97,2	92,5
28	100,0	99,4	97,0	96,2	91,5
30	99,5	98,7	98,1	95,7	90,2
32	98,4	98,2	96,5	94,8	88,6
34	97,5	96,9	95,8	94,1	87,1
36	96,7	97,0	96,1	93,3	86,5
38	96,1	96,9	95,3	92,3	85,1
40	96,3	96,4	94,7	91,6	83,6
50	94,7	94,4	91,9	88,3	78,7
60	92,4	91,5	88,7	82,5	54,7
70	89,4	88,8	84,8	68,1	7,1
80	87,0	85,6	81,1	19,4	3,2
90	84,3	82,6	75,6	4,7	2,4
100	81,6	79,5	56,2	3,3	1,8
110	78,4	76,7	22,1	2,6	1,4
120	75,7	73,5	6,9	2,1	1,2
130	73,0	69,9	4,8	1,8	1,0
140	70,9	67,7	3,9	1,5	0,8
150	68,1	64,5	3,4	1,3	0,7
160	65,5	60,8	2,8	1,1	0,6
170	63,2	57,6	2,5	1,0	0,5
180	60,7	51,1	2,2	0,9	0,5
190	58,7	39,5	2,0	0,8	
200	56,3	26,9	1,7	0,7	
210	54,5	15,6	1,6	0,6	
220	52,3	8,1	1,4	0,6	
230	50,3	5,9	1,3	0,5	
240	48,8	5,0	1,2		
250	46,6	4,5	1,1		
260	44,9	3,9	1,0		
270	43,2	3,7	0,9		
280	41,6	3,4	0,8		
290	39,9	3,0	0,7		
300	38,2	2,8	0,7		

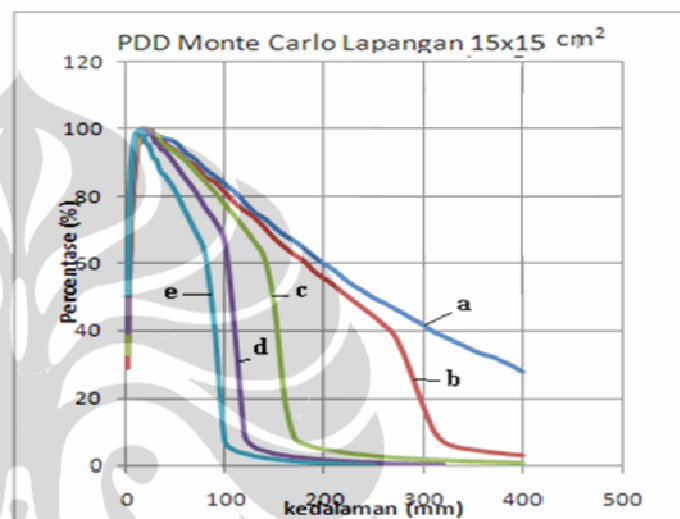


Gambar Lampiran D2. Kurva PDD simulasi Monte Carlo dengan luas lapangan 10x10 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri. Keterangan sudut gantri: a). 0<sup>o</sup>, b). 15<sup>o</sup>, c). 30<sup>o</sup>, d). 45<sup>o</sup> dan e). 60<sup>o</sup>

## Lampiran D3

PDD Simulasi Monte Carlo, Lapangan 15x15cm<sup>2</sup>.

kedalaman (mm)	PDD (%)				
	sudut 0 <sup>0</sup> .	sudut 15 <sup>0</sup> .	sudut 30 <sup>0</sup> .	sudut 45 <sup>0</sup> .	sudut 60 <sup>0</sup> .
2	28,9	29,0	33,1	39,6	51,3
4	58,2	58,8	63,7	70,3	80,8
6	74,2	74,2	78,9	84,7	91,8
8	84,0	84,3	88,9	92,4	96,8
10	89,8	90,2	93,7	96,7	99,2
12	94,6	95,2	95,9	98,9	99,2
14	97,7	96,1	98,3	99,4	100,0
16	98,5	96,6	100,0	100,0	99,3
18	99,2	98,3	99,8	98,8	99,1
20	100,0	99,0	99,3	99,7	96,2
22	99,7	98,9	99,7	98,6	95,8
24	99,9	100,0	99,2	98,7	95,1
26	99,6	99,1	98,2	98,2	92,9
28	98,5	98,1	97,9	97,3	91,3
30	97,8	97,4	98,1	95,8	91,4
32	97,7	97,3	98,2	95,5	90,3
34	97,5	95,9	97,4	95,0	88,2
36	97,6	96,4	96,0	93,7	87,3
38	97,0	96,5	95,3	93,8	86,9
40	97,0	95,8	95,0	93,3	86,3
50	96,1	93,9	93,1	89,4	81,8
60	92,9	91,2	90,8	85,3	75,8
70	90,8	89,2	87,6	81,5	70,0
80	87,9	86,0	84,4	76,6	63,0
90	85,9	84,4	81,2	72,6	40,0
100	83,4	81,4	77,5	66,4	7,3
110	81,2	78,3	74,0	40,0	4,7
120	78,0	75,9	70,3	8,9	3,7
130	75,0	73,8	66,3	5,5	2,9
140	73,2	70,8	61,5	4,5	2,4
150	70,6	67,6	46,9	3,6	2,0
160	68,3	65,1	20,3	3,1	1,7
170	66,6	62,8	8,2	2,6	1,4
180	64,4	60,8	6,3	2,4	1,2
190	61,9	57,8	5,3	2,0	1,0
200	59,8	55,7	4,6	1,8	0,9
210	57,9	53,6	4,3	1,6	0,8
220	55,4	51,2	3,7	1,4	0,7
230	53,2	48,9	3,3	1,3	0,6
240	51,5	46,7	3,0	1,1	0,5
250	49,6	44,5	2,7	1,0	0,5
260	48,2	41,8	2,4	0,9	
270	46,6	39,1	2,2	0,8	
280	45,0	33,2	2,0	0,7	
290	43,2	25,4	1,9	0,6	
300	41,6	17,5	1,7	0,6	

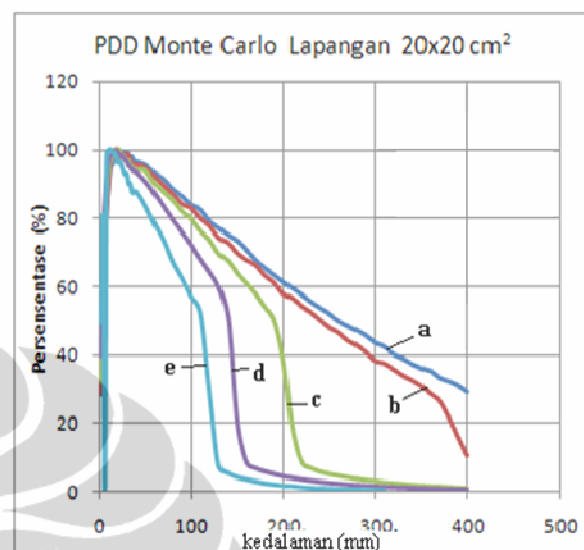


Gambar Lampiran D3. Kurva PDD simulasi Monte Carlo dengan luas lapangan 15x15 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri. Keterangan sudut gantri: a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45° dan e). 60°

## Lampiran D4

PDD Simulasi Monte Carlo, Lapangan 20x20cm<sup>2</sup>.

kedalaman (mm)	PDD (%)				
	sudut 0 <sup>o</sup> .	sudut 15 <sup>o</sup> .	sudut 30 <sup>o</sup> .	sudut 45 <sup>o</sup> .	sudut 60 <sup>o</sup> .
2,0	28,4	29,0	32,4	39,9	49,5
4,0	56,7	57,9	62,5	70,6	79,6
6,0	73,6	73,6	78,8	85,0	0,0
8,0	83,1	83,2	89,1	92,1	98,5
10,0	89,3	89,8	92,9	96,4	99,6
12,0	94,4	95,6	96,7	98,4	100,0
14,0	95,8	97,5	98,3	99,1	99,2
16,0	97,4	99,3	98,5	99,6	99,1
18,0	100,0	100,0	99,9	100,0	98,1
20,0	99,5	99,6	99,2	99,6	96,1
22,0	98,6	97,3	100,0	98,9	96,6
24,0	98,3	98,9	98,4	98,7	95,6
26,0	99,5	97,8	98,4	98,3	94,0
28,0	99,1	98,6	97,1	97,3	92,8
30,0	98,5	98,6	96,8	97,0	92,9
32,0	99,0	98,3	96,8	95,6	89,9
34,0	97,6	96,7	94,9	95,3	90,1
36,0	98,1	94,8	95,1	94,4	87,5
38,0	96,9	95,7	93,7	94,2	87,3
40,0	96,7	95,5	94,0	94,0	87,9
50,0	95,8	94,6	93,9	91,2	83,7
60,0	93,3	92,0	90,2	87,6	78,3
70,0	91,5	89,4	87,7	83,7	73,3
80,0	88,6	86,9	85,3	79,8	67,0
90,0	86,6	84,1	82,0	76,1	62,4
100,0	84,1	82,9	79,8	72,4	57,0
110,0	82,7	80,0	76,3	68,2	52,6
120,0	79,3	77,8	73,7	64,5	29,6
130,0	77,3	74,3	69,7	60,0	7,7
140,0	75,2	72,7	67,5	51,1	5,5
150,0	73,5	69,7	63,9	20,2	4,4
160,0	70,9	67,7	60,9	8,7	3,8
170,0	67,8	66,2	57,9	7,0	3,1
180,0	65,6	63,3	54,2	6,0	2,6
190,0	63,5	61,2	50,4	5,3	2,2
200,0	61,5	57,9	39,1	4,6	1,9
210,0	59,6	56,6	18,6	4,1	1,8
220,0	57,7	54,3	8,7	3,7	1,5
230,0	55,6	52,5	7,1	3,3	1,2
240,0	53,9	50,3	6,0	3,0	1,1
250,0	52,2	48,1	5,4	2,7	1,0
260,0	50,1	46,6	4,9	2,4	0,9
270,0	48,6	44,4	4,4	2,2	0,8
280,0	47,3	42,8	3,9	2,0	0,7
290,0	45,7	40,7	3,5	1,8	0,6
300,0	43,6	38,3	3,3	1,6	0,5

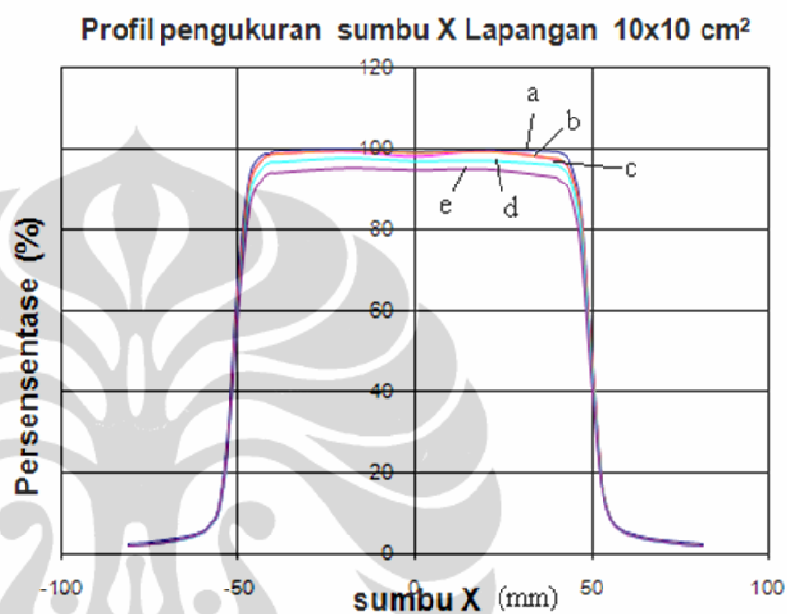


Gambar Lampiran D.4 Kurva PDD simulasi Monte Carlo dengan luas lapangan 20x20 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri. Keterangan sudut gantri: a). 0<sup>o</sup>, b). 15<sup>o</sup>, c). 30<sup>o</sup>, d). 45<sup>o</sup> dan e). 60<sup>o</sup>

## LAMPIRAN E. PENGUKURAN PROFIL

Lampiran E.1 Profil Sumbu X Pengukuran, Lapangan 10x10cm<sup>2</sup>.

sumbu X (mm)	Pofil Sumbu X pengukuran				
	sudut 0	sudut 15	sudut 30	sudut 45	sudut 60
-81,4	2,3	2,3	2,2	2,1	2,1
-81	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1
-76	2,7	2,6	2,5	2,5	2,5
-71	3,3	3,1	3	3	3
-66	4	3,8	3,7	3,6	3,8
-61	5,1	5	5	4,9	5,1
-58,7	6,5	6,2	6,2	6,2	6,5
-55,7	11,3	10,6	10,6	10,3	10,7
-52,7	34,6	31,4	30,9	29,5	29,6
-49,7	72,3	68,7	68,1	65,2	63,5
-46,7	94	92,1	91,7	89,5	86,5
-43,7	98,2	96,9	96,5	94,7	91,9
-40,7	98,7	98,4	98,1	96,5	93,8
-40	99,5	98,6	98,2	96,4	93,7
-20	100	99,2	99,1	97,4	94,8
0	99,2	97,9	98,5	96,7	94,4
20	99,7	99,3	98,9	96,8	94,6
40	99,3	97,2	97,1	95,7	92,6
40,7	99,1	96,9	97,1	95,5	92
43,7	97	94,8	94,4	92,7	89,4
46,7	86,9	84,7	84,7	81,9	77,4
49,7	52,7	50,6	50,9	48,3	45
52,7	18,7	18,1	18,7	17,8	17
55,7	8,3	8,1	8,2	8,2	8,3
58,7	5,7	5,6	5,6	5,6	5,7
61	4,9	4,7	4,7	4,7	4,8
66	3,8	3,7	3,7	3,6	3,7
71	3,2	3,1	3,1	3	3,1
76	2,8	2,6	2,6	2,5	2,5
81	2,4	2,2	2,2	2,1	2,2
81,4	2,4	2,2	2,1	2,1	2,1

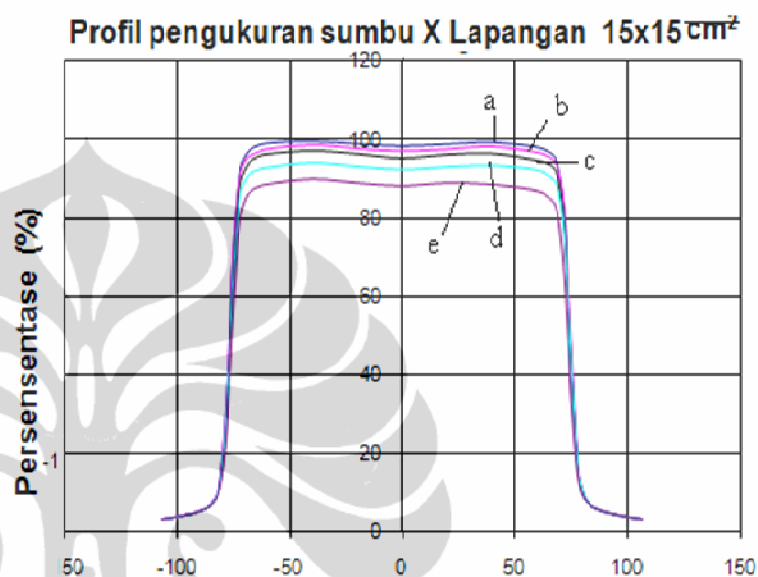


Gambar lampiran E.1. Kurva Profil sumbu X pengukuran dengan fantom air pada luas lapangan 10x10 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri  
Keterangan sudut gantri: a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45° dan e). 60°



Lampiran E.2. Profil Sumbu X Pengukuran, Lapangan 15x15cm<sup>2</sup>.

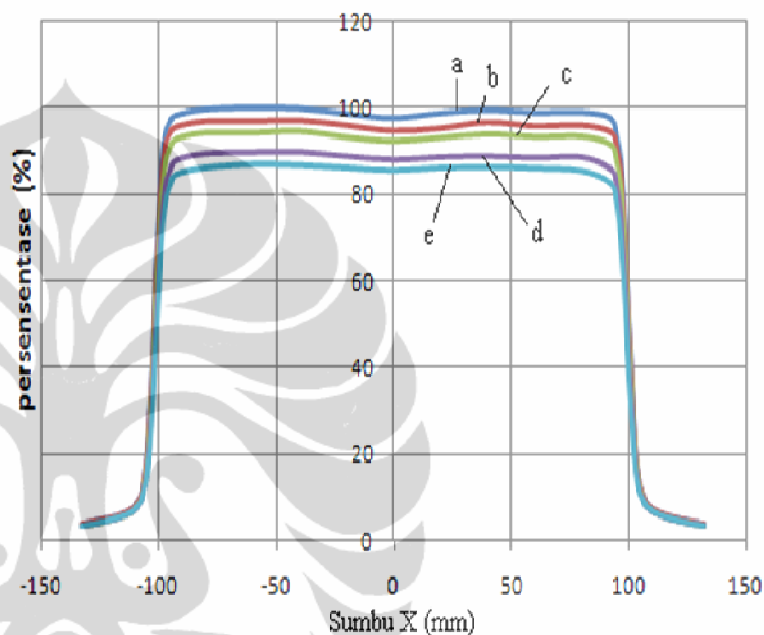
sumbu X (mm)	Pofil Sumbu X pengukuran				
	sudut 0	sudut 15	sudut 30	sudut 45	sudut 60
-107	3,1	3,1	3	2,9	2,8
-107	3,1	3,1	2,9	2,9	2,8
-102	3,6	3,6	3,4	3,4	3,3
-96,5	4,3	4,2	4	3,9	3,9
-91,5	4,9	4,9	4,7	4,7	4,6
-86,5	6,2	6,2	5,9	6	5,9
-84,1	7,5	7,6	7,1	7,2	7
-81,1	11,5	11,9	10,7	11,1	10,2
-78,1	31,2	32,1	27,1	28,6	23,5
-75,1	67,8	68,5	62	62,2	54,5
-72,1	91,5	90,7	87,8	85,2	78,8
-69,1	96,5	95,1	93	90,3	85,2
-66,1	98,2	96,3	95	92	87,2
-60	99,4	97,7	96,3	93,1	88,5
-40	100	98,8	97,2	94,3	89,9
-20	99,3	97,9	96,4	93,4	88,9
0	98,7	97,2	95,3	92,6	88,1
20	99,2	97,7	96,2	93,3	88,9
40	99,7	98,4	96,5	93,7	88,5
60	98,4	96,9	94,7	92,5	86,9
66,1	96,9	95,5	93,6	90,7	84,8
69,1	94,3	93,2	90,9	88,4	81,5
72,1	81,8	82,4	78,9	77	66,3
75,1	46,4	49,8	45,8	45,7	36,1
78,1	16,7	18,5	16,8	17,3	13,8
81,1	8,9	9,2	8,9	9,2	8,4
84,1	6,7	6,7	6,6	6,7	6,5
86,5	5,8	5,9	5,7	5,7	5,6
91,5	4,8	4,8	4,7	4,7	4,6
96,5	4,1	4,1	4	3,9	3,9
101,5	3,6	3,5	3,5	3,4	3,3
106,5	3,1	3,1	3	3	2,9
106,8	3,1	3	3	2,9	2,9



Gambar lampiran E.2. Kurva Profil sumbu X pengukuran dengan fantom air pada luas lapangan 15x15 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri  
Keterangan sudut gantri: a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45° dan e). 60°

Lampiran E.3 Profil Sumbu X Pengukuran, Lapangan 20x20cm<sup>2</sup>.

sumbu X (mm)	Pofil Sumbu X pengukuran				
	sudut 0	sudut 15	sudut 30	sudut 45	sudut 60
-132,3	3,7	3,6	3,4	3,2	3,3
-131,9	3,7	3,6	3,4	3,3	3,4
-126,9	4,4	4,2	3,9	3,8	3,9
-121,9	5	4,8	4,5	4,4	4,5
-116,9	5,7	5,5	5,3	5,1	5,3
-111,9	6,9	6,8	6,4	6,3	6,4
-109,6	8,1	7,8	7,5	7,2	7,4
-106,6	11,6	11,3	10,6	10	10
-103,6	28,3	26,9	24,1	21,3	19,6
-100,6	65,8	62,9	58,6	52,3	47,9
-97,6	91,6	88,9	84,5	79	74,5
-94,6	97	94,7	91,1	85,8	82,5
-91,6	98,3	95,9	92,9	87,9	84,7
-80	99,6	97,1	94,2	89,3	86,1
-60	100	97,1	94,2	89,6	86,9
-40	99,8	97,3	94,6	89,7	86,7
-20	98,6	96,2	93,2	88,7	86,1
0	97,5	94,9	92,3	87,9	85,5
20	98,7	95,5	93,1	88,5	86,1
40	99,4	96,9	93,9	88,7	86,3
60	98,8	96	93,3	88,3	86
80	98,9	96,2	93,4	88,5	85,4
91,6	97,8	94,9	91,8	86,1	82,9
94,6	94,9	92,7	89,2	83,6	79,8
97,6	83	80,6	76,5	69,8	64
100,6	47,9	46,3	43,5	38,7	34
103,6	17,6	17,3	16,5	14,8	13,8
106,6	9,8	9,6	9,3	8,9	8,8
109,6	7,5	7,4	7,2	6,9	7,1
111,9	6,7	6,6	6,4	6,2	6,3
116,9	5,6	5,5	5,3	5,1	5,3
121,9	4,9	4,7	4,6	4,4	4,5
126,9	4,3	4,1	4	3,8	3,9
131,9	3,7	3,6	3,5	3,4	3,4
132,3	3,7	3,6	3,4	3,3	3,4

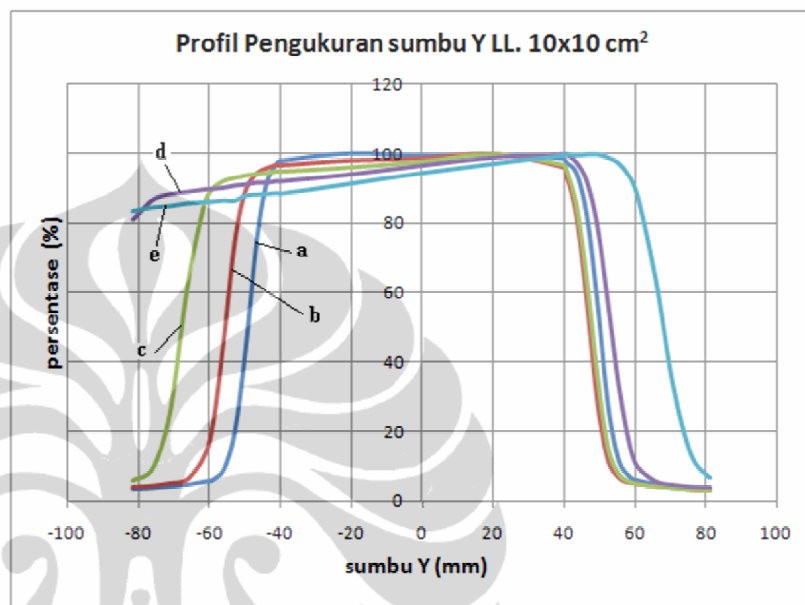
Profil pengukuran sumbu x Lapangan 20x20 cm<sup>2</sup>

Gambar lampiran E.3. Kurva Profil sumbu X pengukuran dengan fantom air pada luas lapangan 20x20 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri  
Keterangan sudut gantri: a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45° dan e). 60°

## Lampiran F Profil Sumbu Y Pengukuran

Lampiran F.1 Pofil Sumbu Y Pengukuran, Lapangan 10x10cm<sup>2</sup>.

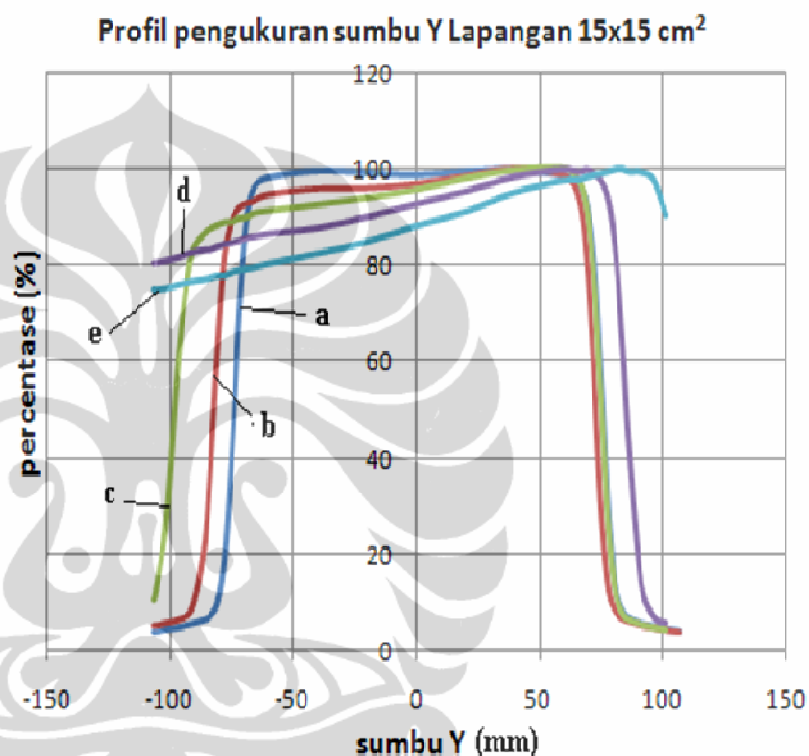
sumbu Y (mm)	Pofil Sumbu Y pengukuran				
	sudut 0	sudut 15	sudut 30	sudut 45	sudut 60
-81,4	3,3	4	6	81	83,5
-81	3,3	4	6,2	81,3	83,6
-76	3,6	4,4	9,3	86,6	84,6
-71	4,1	5,1	25,3	88,4	85
-66	4,7	6,3	62,4	89,1	85,8
-61	5,6	13,5	86,5	89,8	86,1
-58,7	6,2	23,3	90,4	90	86,3
-55,7	9,2	47,2	92,4	90,3	86,6
-52,7	19,8	74,6	93,2	90,9	86,5
-49,7	43,1	89,4	93,9	91,2	88
-46,7	73,2	94,1	94,3	91,7	88,3
-43,7	91,5	95,8	94,6	91,7	88,5
-40,7	97,1	96,8	95,1	92,2	88,8
-40	97,7	96,6	95	92,1	88,6
-20	100	98	96,2	94,1	91,5
0	99,2	98,6	97,8	96,6	94,5
20	99,6	100	100	98,9	97,1
40	98,4	96,1	96,9	99,9	99,6
40,7	97,3	94,3	95,9	100	100
43,7	94,4	82,4	85,4	97,5	99,6
46,7	81,6	56,9	63,1	91,9	99,9
49,7	56,1	27,6	35,4	78,5	99,9
52,7	27,1	11,6	15,3	56,3	98,9
55,7	11,5	6,7	7,8	32,7	97,2
58,7	6,9	5,3	5,6	15,8	93,4
61	5,9	4,9	5	9,6	87,8
66	4,8	4,2	4,2	5,4	64,2
71	4,1	3,7	3,7	4,4	33,4
76	3,6	3,2	3,3	3,8	13,5
81	3,3	2,9	3	3,5	7,1
81,4	3,4	3	3	3,6	6,9



Gambar lampiran F1. Kurva Profil sumbu Y pengukuran dengan fantom air pada luas lapangan 10x10 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri keterangan sudut gantri : a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45°, dan e). 60°

Lampiran F.2 Pofil Sumbu Y Pengukuran, Lapangan 15x15cm<sup>2</sup>.

sumbu Y (mm)	Pofil Sumbu Y pengukuran				
	sudut 0	sudut 15	sudut 30	sudut 45	sudut 60
-106,8	4,2	5,2	10,8	80,5	75,2
-106,5	4,1	5,2	11,2	80,5	75,1
-101,5	4,7	5,8	27,9	81	75,4
-96,5	5,1	6,5	62,1	81,8	76,2
-91,5	5,8	8,5	82	82,7	76,8
-86,5	6,6	20,6	86,4	83,2	77,2
-84,1	7,3	35,3	87,4	83,2	77,5
-81,1	9,9	61	88,2	83,9	78
-78,1	19,1	81,8	88,8	84,4	78
-75,1	40,8	89,2	88,9	84,7	78,7
-72,1	69,8	91,9	89,6	85,1	79,1
-69,1	89,3	92,8	89,8	85,7	79,4
-66,1	96	93,4	90,7	86	79,7
-60	98,2	94,7	91,2	86,6	80,5
-40	99,5	95,9	92,5	87,8	82,6
-20	99,1	96	93,9	90,1	85
0	98,7	96,9	95,6	92,8	88,3
20	99,4	98,5	98	95,4	91,2
40	99,8	99,8	99,7	98,5	95,2
60	98,5	98,6	100	100	97,7
66,1	96,6	93,7	97,5	99,4	97,8
69,1	92,7	82	92,1	99,9	98,4
72,1	81,3	57,6	78	99,2	98,8
75,1	56,5	28,5	52,4	97,7	99,1
78,1	28	12,6	25,5	93,4	99,5
81,1	12,7	8	12	82,3	100
84,1	8,2	6,6	7,7	61,4	100
86,5	7	6,1	6,6	41,9	99,5
91,5	5,9	5,3	5,6	13,5	99,4
96,5	5,3	4,8	5	7	97,8
101,5	4,7	4,3	4,5	5,7	90,4
106,5	4,3	3,9			
106,8	4,2	3,9			



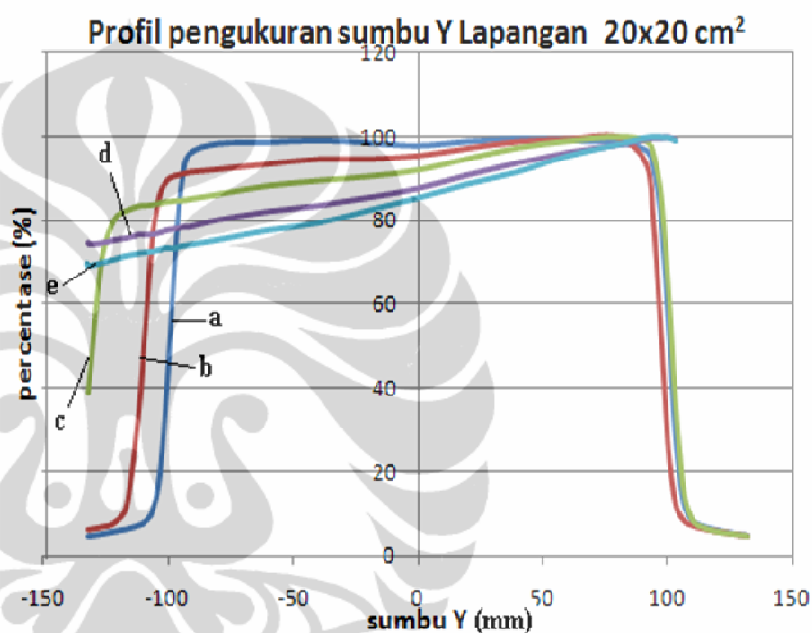
Gambar lampiran F2. Kurva Profil sumbu Y pengukuran dengan fantom air

pada luas lapangan 15x15 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri

keterangan sudut gantri : a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45°, dan e). 60°

Lampiran F.3 Profil Sumbu Y Pengukuran, Lapangan 20x20cm<sup>2</sup>.

sumbu Y (mm)	Pofil Sumbu Y pengukuran				
	sudut 0	sudut 15	sudut 30	sudut 45	sudut 60
-132,3	4,7	6	39	74,7	69,9
-131,9	4,7	6	41,5	74,3	69,2
-126,9	5,2	6,6	70,5	74,6	69,9
-121,9	5,8	7,6	80,2	75,3	70,7
-116,9	6,4	11,8	82,4	75,8	71,6
-111,9	7,3	35	83,5	76,6	72,2
-109,6	8,1	52,7	83,6	76,6	72,4
-106,6	10,6	75,4	83,8	76,6	72,6
-103,6	19,5	86,1	84,2	77,1	73
-100,6	41,4	89,6	84,5	77,7	73,5
-97,6	70,3	90,6	84,7	78	73,4
-94,6	89,6	91	84,8	78,4	73,9
-91,6	95,8	91,5	85,1	78,5	74,2
-80	98,2	92,2	86,3	80,2	75,4
-60	98,5	93,5	88,3	82,2	77,7
-40	99	94,7	89,5	83,6	79,4
-20	98,4	94,7	90,5	85,5	82,4
0	97,7	95,5	92	87,7	85,4
20	98,7	97,3	94,8	90,9	88,7
40	99,3	98,9	97,4	93,8	91,6
60	98,9	99,4	99	96,3	95,4
80	98,6	100	100	98,2	98,2
91,6	96,6	93,5	99	99,5	99,8
94,6	92,3	79	95,6	99,8	100
97,6	80,1	52,6	85,7	99,8	99,9
100,6	54,5	24,7	63	100	99,8
103,6	26,9	11,8	34,8	99,3	99,1
106,6	12,8	8,2	15,6		
109,6	8,7	7,1	9,2		
111,9	7,6	6,6	7,5		
116,9	6,6	5,9	6,3		
121,9	5,9	5,4	5,6		
126,9	5,3	4,9	5,2		
131,9	4,9	4,5	4,8		
132,3	4,8	4,4	4,7		

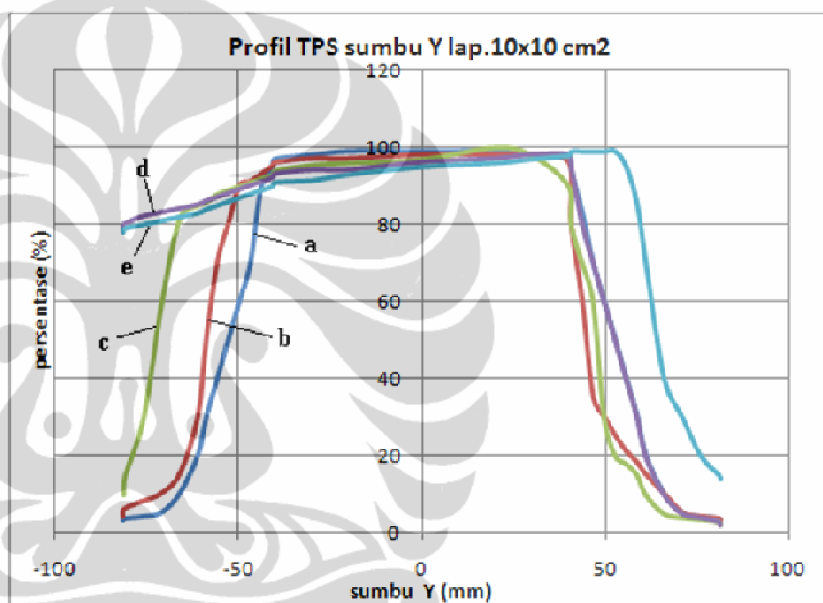


Gambar lampiran F.3.. Kurva Profil sumbu Y pengukuran dengan fantom air pada luas lapangan 20x20 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri  
keterangan sudut gantri : a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45°, dan e). 60°

## LAMPIRAN G. PROFIL SUMBU Y REKONSTRUKSI TPS

Lampiran G.1 Pofil sumbu Y TPS, Lapangan 10x10cm<sup>2</sup>.

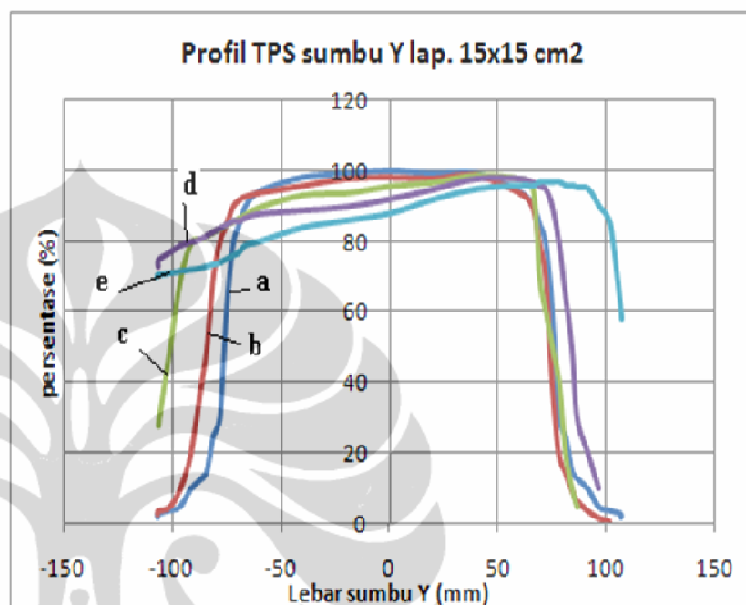
sumbu Y (mm)	Pofil Sumbu Y TPS				
	sudut 0	sudut 15	sudut 30	sudut 45	sudut 60
-81,4	3	4	10	79	78
-81	3,5	6	15	80	79
-76	4	8	30	82	80
-71	5	10	60	83	81
-66	10	15	82	84	82
-61	20	30	85	85	83
-58,7	30	50	86	86	84
-55,7	40	70	88	87	85
-52,7	50	80	89	88	86
-49,7	60	90	90	89	87
-46,7	70	91	91	90	88
-43,7	90	93	92	91	89
-40,7	95	95	93	92	90
-40	97	96	94	93	91
-30	98	97	95,5	94	91,5
-20	99	97	96	94	93
0	99	98	97	96	95
20	99	98	100	97	96
30	98	98	98	98	97
40	97	96	90	98	98
40,7	94	80	80	95	99
43,7	83	60	70	80	99
46,7	70	35	60	70	99
49,7	60	30	30	60	99
52,7	50	25	20	50	99
55,7	40	21	18	40	95
58,7	30	18	15	30	85
61	20	15	10	20	70
66	10	10	5	10	40
71	5	5	4	5	30
76	4	4	3,5	4	20
81	3,5	3,5	3	3	15
81,4	3	3	2	2	14



Gambar lampiran G.1. Kurva Profil sumbu Y rekonstruksi TPS pada luas lapangan 10x10 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri keterangan sudut gantri : a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45°, dan e). 60°

Lampiran G.2 Pofil sumbu Y TPS, Lapangan 15x15cm<sup>2</sup>

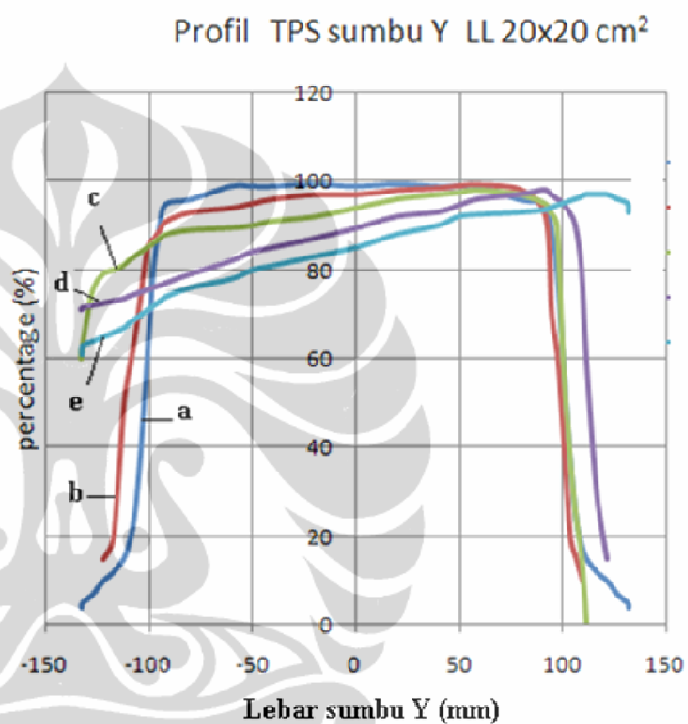
sumbu Y (mm)	Pofil Sumbu Y TPS				
	sudut 0	sudut 15	sudut 30	sudut 45	sudut 60
-106,8	2	3	28	73	70
-106,5	3	4	30	75	70,5
-101,5	4	5	50	77	71
-96,5	5	10	70	79	71,5
-91,5	10	20	80	80	72
-86,5	13	40	81	81	72,5
-84,1	15	50	82	82	73
-81,1	25	70	83	83	73,5
-78,1	30	80	84	84	74
-75,1	60	85	85	85	75
-72,1	79	90	86	86	76
-69,1	85	92	87	86	77
-66,1	90	93	88	87	79
-60	94	94	90	88	80
-40	98	96	93,5	89	84
-20	99	98	94	90	86
0	99,8	98,4	96	92,2	88
20	99	98	97	95	92
40	99	99	99	98	95
60	94	94	98	98	96
66,1	90	90	95	97	96
69,1	85	80	70	96	97
72,1	79	70	60	95	97
75,1	60	40	50	90	97
78,1	30	20	40	80	97
81,1	25	15	20	65	96
84,1	15	10	10	50	96
86,5	13	7	5	30	95,5
91,5	10	4		20	95
96,5	5	2		10	90
101,5	4	1			85
106,5	3				60
106,8	2				58



Gambar Lampiran G.2. Kurva Profil sumbu Y rekonstruksi TPS pada luas lapangan 15x15 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri  
keterangan sudut gantri : a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45°, dan e). 60°

Lampiran G.3 Profil Sumbu Y TPS, Lapangan 20x20cm<sup>2</sup>.

sumbu Y (mm)	Pofil Sumbu Y TPS				
	sudut 0	sudut 15	sudut 30	sudut 45	sudut 60
-132,3	4		60	71	61
-131,9	5		62	71,5	63
-126,9	7		75	72	64
-121,9	10	15	79	72,5	65
-116,9	12	20	80	73	66
-111,9	15	50	81	73,5	67
-109,6	18	57	82	74	68
-106,6	25	65	83	74,5	69
-103,6	40	75	84	75	70
-100,6	60	85	85	75,5	71
-97,6	80	87	86	76	72
-94,6	90	89	87	76,5	73
-91,6	95	91	88	77	74
-80	96	93	89	79	76
-60	99	94	89,5	82	78
-50	99	95	90	84	80
-40	99	96	91	85	81
-20	99,5	97	92	87	83
0	99	97	93,9	89,3	85
20	99,5	98	96	92	88
40	99	98,5	97	93	90
50	99	99	97,5	94,5	92
60	99	99,2	98	96	92,5
80	96	98	97	97	93
91,6	95	92	95	98	93,5
94,6	90	70	93	97	94
97,6	80	60	90	96	94,5
100,6	60	40	60	95	95
103,6	40	20	40	93	95,5
106,6	25	15	25	90	96
109,6	18	10	15	80	96,5
111,9	15			60	97
116,9	12			30	97
121,9	10			15	97
126,9	7				96
131,9	5				95
132,3	4				93



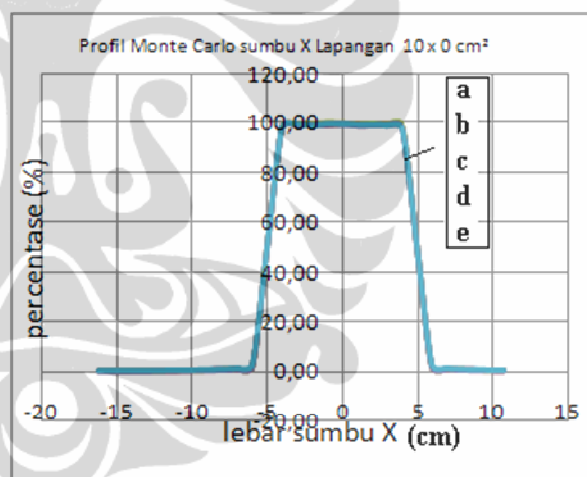
Gambar Lampiran G.3. Kurva Profil sumbu Y rekonstruksi TPS pada luas lapangan 20x20 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri  
keterangan sudut gantri : a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45°, dan e). 60°



## LAMPIRAN H. PROFIL SUMBU X SIMULASI MONTE CARLO

Lampiran H.1 Pofil Sumbu X Monte Carlo, Lapangan 10x10cm<sup>2</sup>.

sumbu X (mm)	Pofil Sumbu X Monte Carlo				
	sudut 0	sudut 15	sudut 30	sudut 45	sudut 60
-16,25	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15
-12,4	0,29	0,29	0,27	0,25	0,27
-12,2	0,30	0,30	0,30	0,27	0,27
-12	0,31	0,30	0,28	0,30	0,29
-11,8	0,31	0,32	0,31	0,30	0,31
-11,6	0,33	0,30	0,31	0,31	0,32
-11,4	0,35	0,32	0,34	0,33	0,35
-11,2	0,34	0,34	0,35	0,32	0,36
-11	0,37	0,37	0,36	0,36	0,38
-10,8	0,37	0,40	0,38	0,37	0,39
-10,6	0,39	0,40	0,40	0,40	0,39
-10,4	0,40	0,42	0,43	0,40	0,39
-10,2	0,44	0,42	0,45	0,42	0,43
-10	0,43	0,46	0,44	0,44	0,44
-9,8	0,46	0,46	0,46	0,47	0,50
-9,6	0,48	0,47	0,48	0,48	0,52
-9,4	0,52	0,49	0,48	0,49	0,54
-9,2	0,53	0,55	0,51	0,53	0,55
-9	0,53	0,58	0,55	0,56	0,61
-8,8	0,58	0,58	0,58	0,56	0,66
-8,6	0,57	0,59	0,58	0,59	0,66
-8,4	0,62	0,62	0,61	0,64	0,70
-8,2	0,66	0,65	0,67	0,67	0,73
-8	0,70	0,69	0,71	0,70	0,81
-7,8	0,72	0,71	0,76	0,76	0,87
-7,6	0,77	0,78	0,78	0,79	0,93
-7	0,91	0,92	0,94	1,02	1,21
-6	1,78	1,83	1,93	2,07	2,54
-5	50,07	50,37	50,27	50,14	50,16
-4	98,63	98,49	98,17	98,50	98,50
-3	99,42	99,63	99,43	99,52	99,75
-2	99,46	99,75	99,60	99,44	99,20
-1	100,00	99,36	100,00	99,54	99,93
0	99,81	100,00	99,87	100,00	100,00
1	99,64	100,02	99,35	99,18	99,59
2	99,69	99,49	99,60	99,30	99,47
3	99,27	99,58	99,41	99,49	99,33
4	98,51	98,23	98,87	98,22	97,90
5	50,11	50,20	50,47	50,55	50,35
6	1,79	1,86	1,95	2,13	2,55
7	0,93	0,94	0,95	1,00	1,22
7,5	0,77	0,78	0,77	0,83	0,92
7,7	0,75	0,75	0,70	0,74	0,89



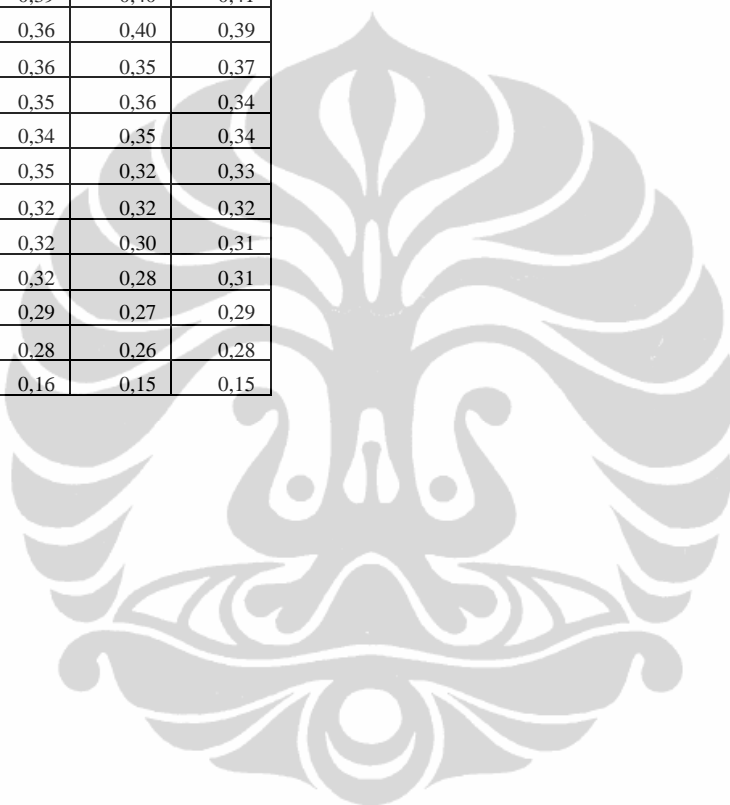
Gambar lampiran H.1. Kurva Profil sumbu X Simulasi Monte carlo

pada luas lapangan 10x10 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri

keterangan sudut gantri :

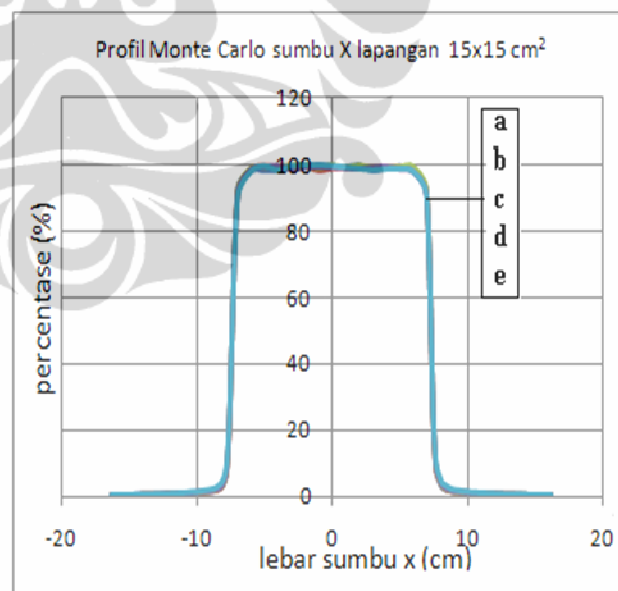
a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45°, dan e). 60°

8	0,69	0,67	0,71	0,73	0,83
8,2	0,64	0,67	0,68	0,70	0,78
8,4	0,63	0,65	0,62	0,65	0,69
8,6	0,61	0,59	0,57	0,61	0,66
8,8	0,56	0,59	0,56	0,57	0,62
9	0,57	0,53	0,55	0,53	0,61
9,2	0,51	0,50	0,51	0,50	0,57
9,4	0,50	0,49	0,49	0,47	0,54
9,6	0,51	0,48	0,47	0,47	0,53
9,8	0,46	0,45	0,45	0,47	0,48
10	0,44	0,43	0,44	0,44	0,46
10,2	0,41	0,43	0,39	0,43	0,42
10,4	0,39	0,39	0,39	0,40	0,41
10,6	0,40	0,41	0,36	0,40	0,39
10,8	0,39	0,37	0,36	0,35	0,37
11	0,37	0,37	0,35	0,36	0,34
11,2	0,35	0,35	0,34	0,35	0,34
11,4	0,34	0,35	0,35	0,32	0,33
11,6	0,32	0,34	0,32	0,32	0,32
11,8	0,31	0,32	0,32	0,30	0,31
12	0,29	0,29	0,32	0,28	0,31
12,2	0,29	0,29	0,29	0,27	0,29
12,4	0,29	0,28	0,28	0,26	0,28
16,25	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15



Lampiran H.2 Profil Sumbu X Monte Carlo, Lapangan 15x15cm<sup>2</sup>.

sumbu X (mm)	Pofil Sumbu X Monte Carlo				
	sudut 0	sudut 15	sudut 30	sudut 45	sudut 60
-16,25	0,39	0,39	0,38	0,38	0,39
-12,4	0,71	0,71	0,71	0,72	0,81
-12,2	0,73	0,70	0,73	0,74	0,87
-12	0,73	0,75	0,77	0,78	0,85
-11,8	0,75	0,82	0,80	0,82	0,91
-11,6	0,79	0,79	0,83	0,84	0,95
-11,4	0,83	0,85	0,88	0,91	1,05
-11,2	0,90	0,84	0,90	0,89	1,03
-11	0,88	0,90	0,95	0,94	1,13
-10,8	0,94	0,96	0,93	1,00	1,20
-10,6	0,92	1,04	1,00	1,14	1,24
-10,4	0,99	0,99	1,11	1,11	1,45
-10,2	1,08	1,10	1,09	1,18	1,40
-10	1,10	1,11	1,16	1,25	1,43
-9,8	1,14	1,14	1,20	1,40	1,58
-9,6	1,23	1,22	1,30	1,40	1,69
-9,4	1,26	1,32	1,41	1,53	1,86
-9,2	1,38	1,38	1,46	1,56	1,98
-9	1,48	1,54	1,63	1,78	2,16
-8,8	1,57	1,60	1,75	1,86	2,32
-8,6	1,86	1,76	1,98	2,19	2,65
-8,4	2,17	2,15	2,37	2,39	3,31
-8,2	2,88	2,81	3,04	3,21	4,21
-8	4,37	4,46	4,60	4,87	6,02
-7,8	8,31	8,30	8,68	9,16	10,51
-7,6	23,26	23,11	24,07	24,52	25,07
-7	92,38	91,92	91,95	91,28	90,21
-6	98,35	99,03	99,09	98,86	98,11
-5	98,41	99,99	99,47	99,63	99,66
-4	98,41	99,66	99,74	99,45	98,52
-3	99,11	99,59	99,84	98,91	99,76
-2	99,55	100,00	99,89	99,63	99,93
-1	100,00	98,81	99,25	99,78	100,00
0	99,54	99,37	99,40	99,59	99,73
1	99,44	99,65	99,43	99,33	99,38
2	99,79	99,60	99,94	99,08	98,96
3	98,44	99,39	99,36	99,50	98,54
4	99,06	99,53	99,59	99,72	98,85
5	99,65	99,74	99,46	99,00	98,86
6	98,35	98,99	99,57	98,21	98,08
7	91,74	91,97	92,49	91,12	90,81
7,5	23,87	23,26	23,99	24,78	24,83
7,7	8,69	8,23	8,98	9,32	10,44



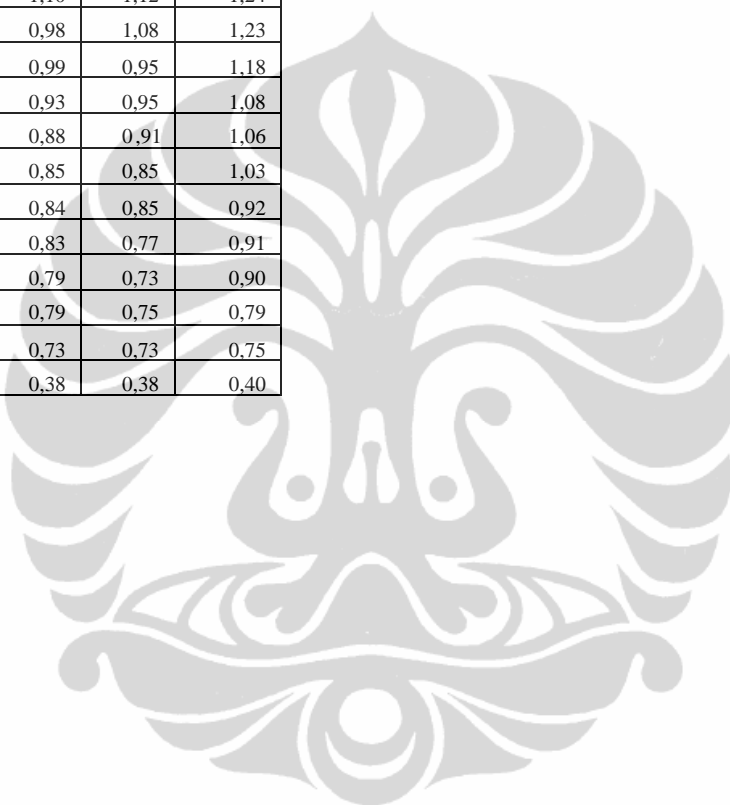
Gambar lampiran H.2.

Kurva Profil sumbu X Simulasi Monte carlo pada luas lapangan 15x15 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri

keterangan sudut gantri :

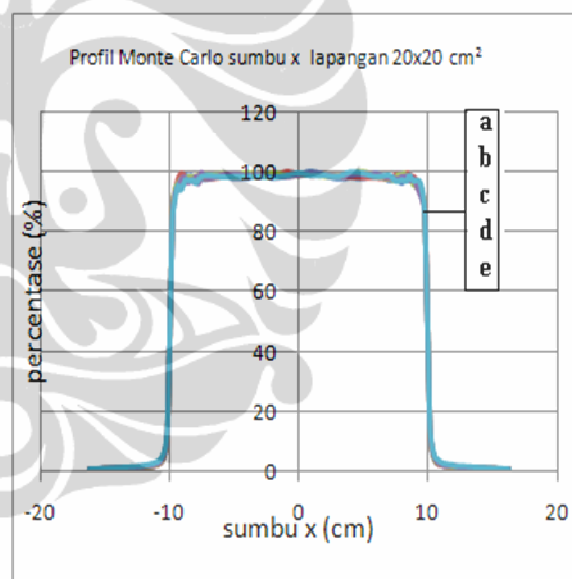
a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45°, dan e). 60°

8	4,14	4,58	4,64	4,98	5,82
8,2	2,69	2,94	3,01	3,32	3,93
8,4	2,08	2,23	2,35	2,62	3,41
8,6	1,80	1,79	1,92	2,13	2,84
8,8	1,66	1,63	1,65	1,85	2,34
9	1,43	1,46	1,51	1,66	2,07
9,2	1,41	1,38	1,44	1,59	1,94
9,4	1,34	1,35	1,38	1,47	1,86
9,6	1,31	1,24	1,27	1,39	1,63
9,8	1,16	1,19	1,24	1,29	1,54
10	1,13	1,11	1,17	1,27	1,52
10,2	1,06	1,06	1,14	1,17	1,40
10,4	0,98	1,03	1,10	1,12	1,24
10,6	1,00	1,01	0,98	1,08	1,23
10,8	0,94	0,92	0,99	0,95	1,18
11	0,89	0,83	0,93	0,95	1,08
11,2	0,86	0,86	0,88	0,91	1,06
11,4	0,81	0,86	0,85	0,85	1,03
11,6	0,82	0,75	0,84	0,85	0,92
11,8	0,81	0,76	0,83	0,77	0,91
12	0,73	0,71	0,79	0,73	0,90
12,2	0,74	0,73	0,79	0,75	0,79
12,4	0,71	0,66	0,73	0,73	0,75
16,25	0,39	0,38	0,38	0,38	0,40



Lampiran H.3 Pofil Sumbu X Monte Carlo, Lapangan 20x20cm<sup>2</sup>.

sumbu X (mm)	Pofil Sumbu X Monte Carlo				
	sudut 0	sudut 15	sudut 30	sudut 45	sudut 60
-					
16,25	0,75	0,75	0,76	0,79	0,91
-12,4	1,38	1,39	1,37	1,60	1,96
-12,2	1,47	1,43	1,50	1,62	2,07
-12	1,48	1,44	1,67	1,78	2,28
-11,8	1,65	1,54	1,66	1,93	2,34
-11,6	1,71	1,74	1,79	1,97	2,56
-11,4	1,78	1,75	1,89	2,24	2,77
-11,2	1,95	1,96	2,20	2,34	3,09
-11	2,24	2,19	2,41	2,74	3,35
-10,8	2,72	2,68	3,03	3,25	4,05
-10,6	3,59	3,72	4,00	4,41	5,30
-10,4	5,96	6,49	6,61	6,94	7,80
-10,2	12,77	13,02	13,52	14,17	14,99
-10	50,06	48,97	49,23	49,95	50,16
-9,8	85,09	87,68	87,69	85,71	84,92
-9,6	93,13	93,24	94,40	93,35	91,31
-9,4	94,44	97,41	95,90	95,13	95,55
-9,2	95,27	99,19	97,30	97,07	94,00
-9	96,90	99,35	97,02	98,26	95,35
-8,8	98,92	97,51	97,57	98,18	97,44
-8,6	97,59	97,94	98,35	96,61	97,32
-8,4	98,79	97,81	98,34	97,53	97,12
-8,2	97,53	98,18	98,35	96,95	97,31
-8	97,60	98,46	98,57	98,57	96,26
-7,8	98,29	96,88	98,49	96,25	97,41
-7,6	97,50	98,11	99,59	100,00	98,39
-7	97,52	97,89	98,87	98,23	98,99
-6	98,53	98,31	99,24	99,15	98,36
-5	97,80	99,05	98,36	99,43	98,50
-4	97,89	99,03	99,77	98,99	98,63
-3	98,70	98,39	98,43	99,24	98,58
-2	98,19	98,54	99,65	98,31	98,22
-1	98,56	100,00	98,89	98,75	98,82
0	99,07	99,34	98,83	99,23	99,74
1	100,00	98,83	98,99	99,61	98,78
2	98,87	99,04	98,64	99,17	99,01
3	97,68	98,72	98,57	98,70	98,47
4	98,17	98,46	99,31	99,15	100,00
5	97,87	98,17	100,00	99,39	99,63
6	99,34	98,12	98,72	99,44	98,44
7	97,08	97,89	97,75	98,24	98,98
7,5	97,90	99,01	97,33	98,00	97,13
7,7	98,00	98,98	98,97	97,58	96,86
8	96,18	97,91	98,58	98,61	97,48
8,2	99,08	98,70	99,46	98,43	97,11
8,4	97,54	99,70	97,57	98,79	97,07



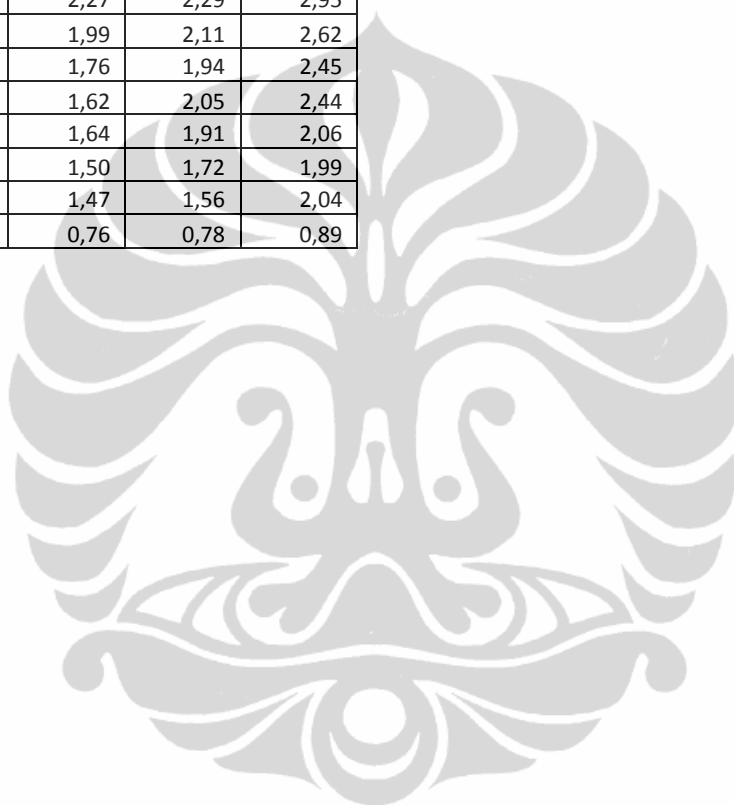
Gambar lampiran H.3.

Kurva Profil sumbu X Simulasi Monte carlo pada luas lapangan 20x20 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri

keterangan sudut gantri :

a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45°, dan e). 60°

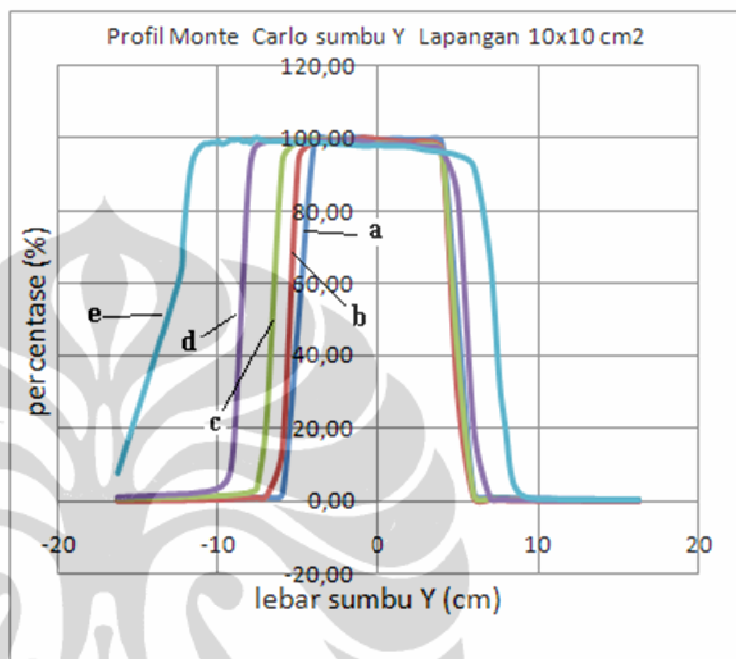
8,6	98,23	98,96	97,65	97,27	98,94
8,8	98,30	98,52	96,72	98,05	97,51
9	97,08	98,06	95,31	97,29	97,05
9,2	95,75	94,85	95,84	95,18	97,36
9,4	94,50	95,19	95,00	92,99	96,81
9,6	92,03	93,06	92,20	90,89	93,64
9,8	86,36	86,69	85,43	85,95	85,28
10	48,40	50,31	49,91	49,82	49,99
10,2	12,94	12,98	13,52	14,36	15,12
10,4	5,92	6,40	6,48	7,01	8,04
10,6	3,56	3,78	3,85	4,45	4,99
10,8	2,66	2,54	2,94	3,26	4,12
11	2,29	2,28	2,58	2,66	3,38
11,2	1,96	2,04	2,27	2,29	2,95
11,4	1,82	1,81	1,99	2,11	2,62
11,6	1,69	1,64	1,76	1,94	2,45
11,8	1,64	1,54	1,62	2,05	2,44
12	1,59	1,58	1,64	1,91	2,06
12,2	1,46	1,48	1,50	1,72	1,99
12,4	1,40	1,46	1,47	1,56	2,04
16,25	0,74	0,75	0,76	0,78	0,89



## LAMPIRAN I. PROFIL SUMBU Y SIMULASI MONTE CARLO

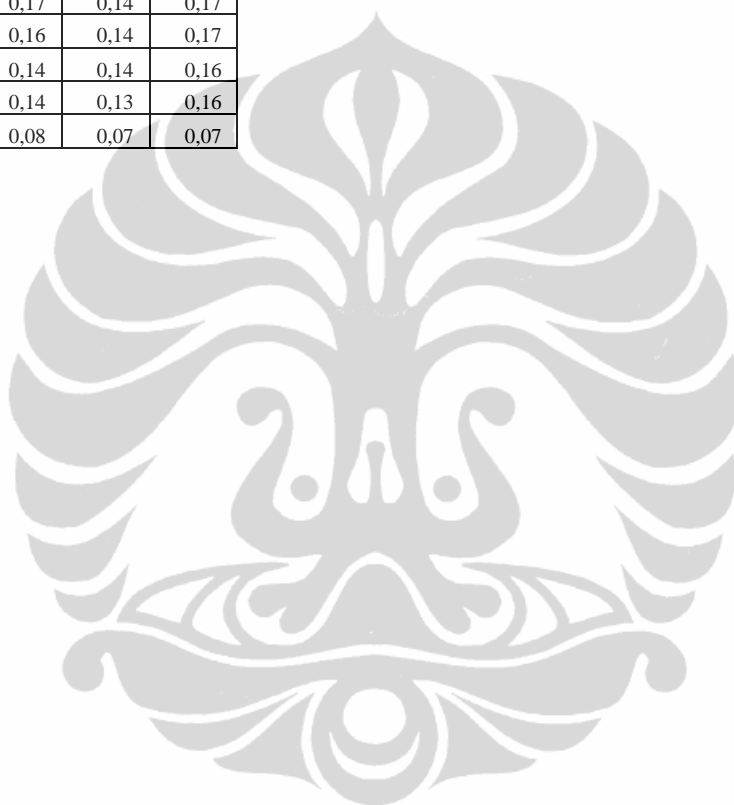
sumbu Y (mm)	Pofil Sumbu Y Monte Carlo				
	sudut 0	sudut 15	sudut 30	sudut 45	sudut 60
-16,25	0,16	0,26	0,48	1,07	7,41
-12,4	0,29	0,45	0,83	1,91	61,34
-12,2	0,29	0,45	0,85	1,92	70,86
-12	0,30	0,49	0,88	1,97	81,17
-11,8	0,32	0,49	0,91	2,06	88,88
-11,6	0,33	0,53	1,00	2,15	93,59
-11,4	0,34	0,56	0,97	2,22	95,83
-11,2	0,37	0,55	1,03	2,35	97,08
-11	0,35	0,55	1,05	2,49	97,93
-10,8	0,38	0,62	1,12	2,55	98,47
-10,6	0,41	0,61	1,15	2,69	98,32
-10,4	0,41	0,66	1,22	2,93	98,80
-10,2	0,42	0,68	1,26	3,16	98,54
-10	0,44	0,69	1,31	3,62	99,11
-9,8	0,46	0,72	1,33	3,94	98,27
-9,6	0,49	0,75	1,38	4,83	98,46
-9,4	0,49	0,81	1,42	6,20	98,87
-9,2	0,52	0,86	1,49	9,17	99,52
-9	0,56	0,88	1,62	17,21	99,35
-8,8	0,57	0,95	1,69	32,34	99,68
-8,6	0,58	0,96	1,78	49,37	99,38
-8,4	0,64	1,00	1,93	65,87	98,86
-8,2	0,67	1,06	2,01	82,50	99,28
-8	0,66	1,10	2,32	93,17	98,59
-7,8	0,72	1,12	2,58	96,86	99,64
-7,6	0,75	1,26	3,21	98,37	100,00
-7	0,93	1,55	21,56	99,46	99,07
-6	1,77	14,54	93,95	99,47	99,03
-5	50,34	94,14	99,34	99,23	98,56
-4	98,96	98,89	100,00	99,72	98,52
-3	99,55	99,39	99,54	99,57	98,40
-2	99,90	99,20	99,68	100,00	98,15
-1	100,00	100,00	98,84	99,52	97,72
0	99,39	99,66	98,74	98,76	97,83
1	99,77	99,22	98,51	98,73	97,63
2	99,55	98,78	98,14	98,64	97,59
3	99,44	99,02	98,33	97,98	96,58
4	98,65	96,70	96,52	96,91	96,07
5	50,03	28,99	40,47	84,09	95,10
6	1,78	1,08	1,25	19,72	91,93
7	0,93	0,65	0,55	0,85	67,12
7,5	0,76	0,55	0,48	0,48	37,98
7,7	0,74	0,52	0,42	0,42	27,95
8	0,70	0,48	0,39	0,40	18,91
8,2	0,68	0,46	0,39	0,35	10,32
8,4	0,62	0,45	0,33	0,34	5,46
8,6	0,61	0,42	0,34	0,33	3,26
8,8	0,57	0,43	0,32	0,29	2,04
9	0,58	0,40	0,29	0,27	1,37

## Lampiran I.1

Pofil sumbu Y Monte Carlo, Lapangan 10x10cm<sup>2</sup>.

Gambar lampiran I.1. Kurva Profil sumbu Y simulasi Monte carlo pada luas lapangan 10x10 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri  
keterangan sudut gantri : a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45°, dan e). 60°

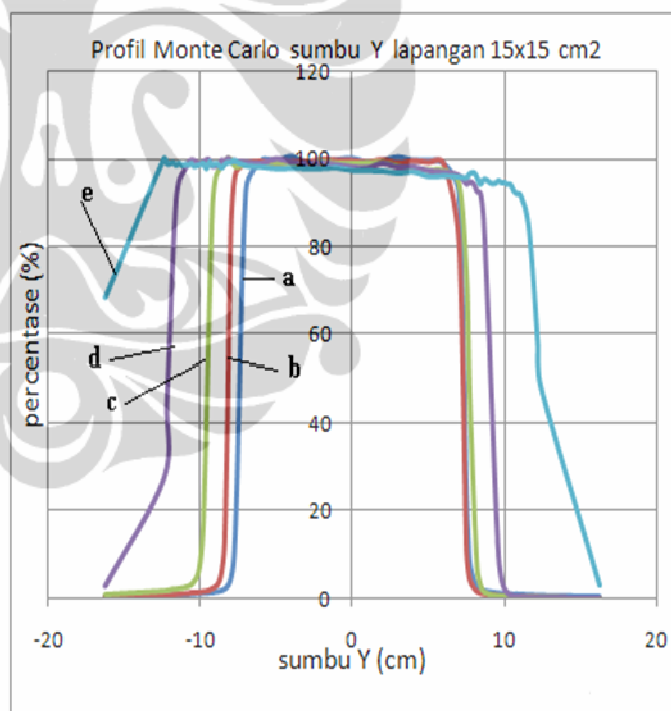
9,2	0,54	0,36	0,28	0,27	0,87
9,4	0,49	0,36	0,29	0,26	0,62
9,6	0,48	0,34	0,25	0,23	0,48
9,8	0,45	0,33	0,25	0,23	0,40
10	0,44	0,31	0,25	0,23	0,34
10,2	0,43	0,29	0,22	0,22	0,32
10,4	0,42	0,29	0,22	0,20	0,28
10,6	0,38	0,27	0,20	0,20	0,26
10,8	0,39	0,26	0,21	0,18	0,25
11	0,35	0,26	0,20	0,17	0,22
11,2	0,34	0,25	0,20	0,17	0,22
11,4	0,38	0,24	0,18	0,16	0,19
11,6	0,31	0,24	0,17	0,16	0,19
11,8	0,31	0,23	0,17	0,14	0,17
12	0,31	0,22	0,16	0,14	0,17
12,2	0,31	0,19	0,14	0,14	0,16
12,4	0,29	0,19	0,14	0,13	0,16
16,25	0,16	0,11	0,08	0,07	0,07





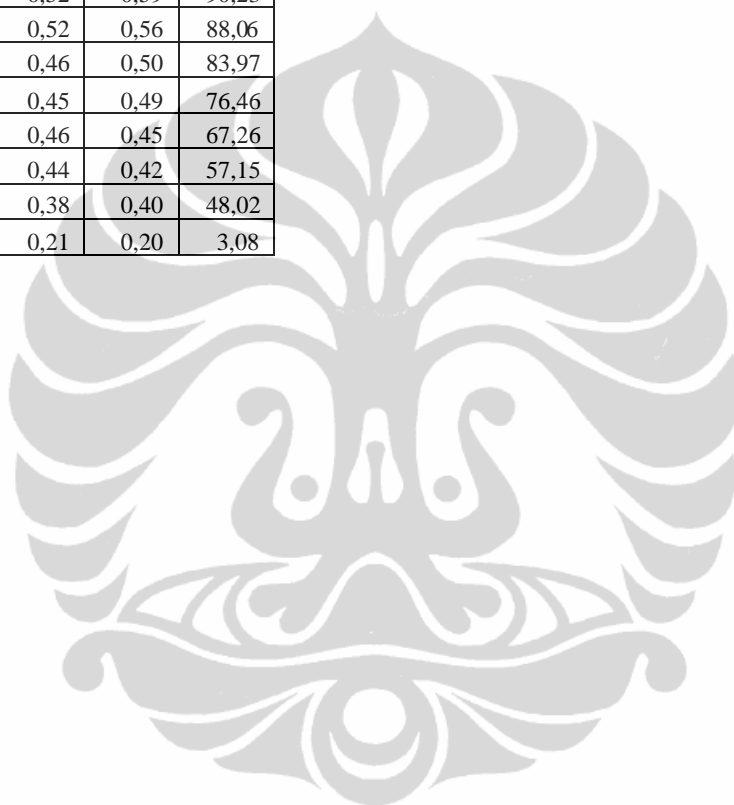
Lampiran I.2 Pofil sumbu Y Monte Carlo, Lapangan 15x15cm<sup>2</sup>

sumbu Y	sudut				
	0	15	30	45	60
-16,25	0,39	0,62	1,12	3,09	68,35
-12,4	0,69	1,07	1,96	27,47	100,00
-12,2	0,70	1,13	2,06	44,02	98,84
-12	0,76	1,14	2,20	60,34	98,86
-11,8	0,75	1,19	2,36	77,13	99,15
-11,6	0,89	1,27	2,35	90,46	98,51
-11,4	0,83	1,29	2,51	94,83	98,94
-11,2	0,83	1,37	2,59	96,44	98,46
-11	0,91	1,38	2,82	97,59	98,73
-10,8	0,91	1,45	3,01	98,97	98,56
-10,6	1,00	1,61	3,37	99,54	98,94
-10,4	1,01	1,66	4,22	99,43	98,23
-10,2	1,11	1,69	5,43	98,97	98,50
-10	1,11	1,73	8,74	98,85	98,66
-9,8	1,19	1,91	17,74	99,08	98,92
-9,6	1,20	1,99	41,20	99,66	97,72
-9,4	1,30	2,21	68,07	99,54	99,27
-9,2	1,32	2,62	89,43	98,16	98,53
-9	1,50	3,05	95,58	98,39	98,86
-8,8	1,59	3,94	97,34	98,28	98,57
-8,6	1,78	6,46	98,37	99,54	97,88
-8,4	2,14	13,15	98,89	98,97	98,71
-8,2	2,82	43,44	100,00	100,00	99,17
-8	4,57	83,49	99,70	99,43	99,12
-7,8	8,73	94,38	98,68	99,31	99,63
-7,6	24,48	97,53	98,06	99,31	99,30
-7	92,95	99,05	98,75	99,08	98,41
-6	99,49	99,59	98,92	98,85	98,15
-5	99,32	99,01	98,97	99,89	97,73
-4	100,47	99,65	99,02	99,20	97,82
-3	98,71	99,48	98,60	98,85	97,74
-2	99,21	100,00	99,25	98,97	97,79
-1	99,74	99,84	98,95	98,51	97,93
0	100,00	99,72	98,82	98,05	97,35
1	99,08	99,41	98,96	97,82	97,26
2	99,52	99,95	99,12	98,85	97,18
3	100,33	99,20	98,18	97,93	96,71
4	99,55	99,73	97,70	98,05	97,00
5	99,49	99,37	97,34	97,13	95,97
6	98,81	98,99	97,25	96,90	96,09
7	92,17	81,08	94,27	96,09	95,83
7,5	23,62	11,03	73,72	94,14	95,68
7,7	8,41	4,86	47,66	94,71	96,58
8	4,15	2,63	21,47	94,02	96,83
8,2	2,64	1,87	7,26	92,41	95,61
8,4	2,12	1,52	3,46	92,07	94,19
8,6	1,85	1,34	1,92	87,24	95,20



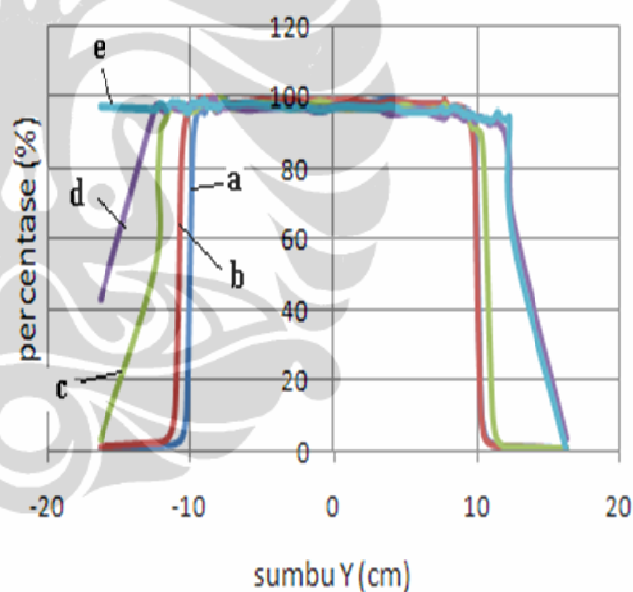
Gambar lampiran I.2. Kurva Profil sumbu Y simulasi Monte carlo pada luas lapangan 15x15 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri keterangan sudut gantri : a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45°, dan e). 60°

8,8	1,67	1,21	1,47	73,56	95,22
9	1,52	1,17	1,14	58,28	94,65
9,2	1,43	1,06	0,98	40,80	94,29
9,4	1,31	0,98	0,92	24,25	94,39
9,6	1,23	0,95	0,83	9,79	94,98
9,8	1,15	0,84	0,76	4,57	94,53
10	1,14	0,86	0,72	2,39	94,53
10,2	1,09	0,78	0,64	1,45	94,16
10,4	1,01	0,74	0,66	1,05	94,08
10,6	0,94	0,72	0,62	0,77	92,73
10,8	0,97	0,67	0,59	0,71	92,03
11	0,89	0,68	0,57	0,68	91,92
11,2	0,88	0,66	0,52	0,59	90,23
11,4	0,83	0,62	0,52	0,56	88,06
11,6	0,82	0,61	0,46	0,50	83,97
11,8	0,79	0,57	0,45	0,49	76,46
12	0,73	0,54	0,46	0,45	67,26
12,2	0,72	0,53	0,44	0,42	57,15
12,4	0,66	0,49	0,38	0,40	48,02
16,25	0,38	0,27	0,21	0,20	3,08



Lampiran I.3 Pofil sumbu Y Monte Carlo, Lapangan 20x20cm<sup>2</sup>

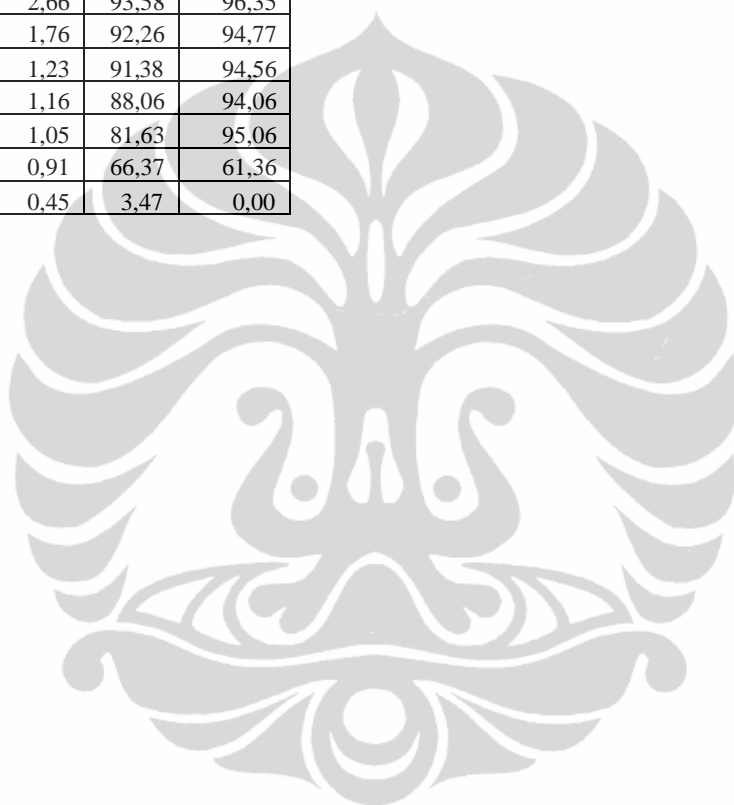
sumbu Y	sudut				
	0	15	30	45	60
-16,3	0,74	1,18	3,16	43,14	97,91
-12,4	1,41	2,37	52,29	97,72	97,15
-12,2	1,53	2,19	78,28	98,12	97,99
-12	1,48	2,52	91,59	97,43	98,60
-11,8	1,66	2,70	93,33	96,73	98,36
-11,6	1,66	3,38	95,22	97,36	97,12
-11,4	1,84	4,47	97,71	98,07	98,36
-11,2	1,96	6,82	97,27	98,21	99,22
-11	2,27	12,92	97,78	97,44	98,69
-10,8	2,72	39,99	98,71	97,18	99,10
-10,6	3,54	80,44	98,43	97,03	97,61
-10,4	5,89	91,40	96,63	97,88	98,56
-10,2	12,85	95,28	97,96	97,18	96,14
-10	49,90	96,51	96,52	98,38	97,11
-9,8	86,80	98,32	96,78	97,84	99,13
-9,6	94,52	97,89	96,87	98,42	98,21
-9,4	97,10	99,28	98,51	98,67	99,10
-9,2	97,95	99,99	97,95	99,25	98,33
-9	96,04	98,78	98,86	97,77	100,00
-8,8	98,18	99,95	98,92	98,21	97,86
-8,6	99,30	99,48	99,25	99,26	98,33
-8,4	98,22	100,00	99,16	100,00	97,67
-8,2	96,69	96,67	97,31	99,39	98,02
-8	97,61	97,68	99,48	96,72	97,49
-7,8	98,68	98,04	100,00	97,93	98,56
-7,6	99,70	98,04	99,44	97,50	98,77
-7	98,04	98,35	97,47	97,75	98,37
-6	98,03	98,56	98,17	96,99	98,87
-5	97,68	99,33	98,68	97,47	98,31
-4	97,52	98,88	98,21	97,94	98,07
-3	98,67	99,35	97,53	97,92	97,32
-2	98,47	99,03	97,78	97,43	97,80
-1	98,69	99,22	99,23	96,39	96,71
0	99,07	98,99	98,12	97,75	97,50
1	98,77	99,40	97,32	97,79	97,93
2	98,64	98,85	97,75	97,80	97,45
3	99,21	98,05	97,36	97,38	97,38
4	100,00	99,05	96,97	95,66	97,93
5	98,90	98,64	97,96	96,23	96,38
6	98,46	98,20	96,49	97,09	96,45
7	98,35	98,23	96,84	95,46	96,51
7,5	98,67	98,12	96,40	94,85	97,26
7,7	97,97	99,15	98,24	94,67	96,35
8	97,32	96,96	96,49	96,17	96,80
8,2	96,19	97,27	96,52	96,95	97,38
8,4	97,35	97,46	96,03	95,81	97,73
8,6	96,63	97,49	95,94	95,62	96,97

Profil Monte Carlo sumbu Y LL 20x20 cm<sup>2</sup>

Gambar lampiran I.3. Kurva Profil sumbu Y simulasi Monte carlo

pada luas lapangan 20x20 cm<sup>2</sup> dan variasi sudut gantri  
keterangan sudut gantri : a). 0°, b). 15°, c). 30°, d). 45°, dan  
e). 60°


8,8	96,56	97,28	96,53	95,11	97,02
9	97,29	96,63	96,06	94,35	95,63
9,2	96,74	95,70	94,63	94,52	96,37
9,4	96,29	93,99	95,47	96,13	95,09
9,6	93,47	90,61	91,85	95,08	95,92
9,8	85,50	78,61	93,17	93,60	95,25
10	48,95	38,02	90,77	94,81	94,46
10,2	13,03	10,94	90,33	95,14	95,06
10,4	6,17	4,60	82,06	94,01	94,15
10,6	3,69	2,87	59,10	94,16	94,77
10,8	2,76	2,16	32,08	92,85	93,89
11	2,22	1,72	10,92	93,77	94,10
11,2	1,86	1,58	4,67	93,13	95,34
11,4	1,80	1,40	2,66	93,58	96,35
11,6	1,65	1,33	1,76	92,26	94,77
11,8	1,56	1,23	1,23	91,38	94,56
12	1,54	1,15	1,16	88,06	94,06
12,2	1,44	1,16	1,05	81,63	95,06
12,4	1,42	1,06	0,91	66,37	61,36
16,25	0,75	0,55	0,45	3,47	0,00



## Lampiran J. Sertifikat Alat Ukur

### Lampiran J.1. Sertifikat Kalibrasi Bilik Ionisasi Farmer

water pref 0,6cc Farmer chamber

 D-79115 Freiburg, Lörracherstr. 7 ☎ +49-(0)761- 49055-0 FAX +49-(0)761- 49055-70	<b>Calibration Certificate No. 037473</b>
--	---

#### Ionization chamber

Manufacturer:

Conditions of climate:

Arrangement of chamber / detector:

Reference point:

Radiation conditions:

Leakage during measurement was: negligible

Use of the Calibration Factor:

The result of a measurement in absorbed dose to water is  
Absorbed dose rate to water is determined similarly.

Type/Ser. - No. **M30013-0689**

PTW FREIBURG

Temperature between: 18 and 24 degrees Celsius

Air pressure between : 950 and 1050 hPa

Relative humidity: approx. 40 - 60 %

See data sheet of chamber / detector.

Absorbed dose rate to water between: 60 and 100 mGy/min

Absorbed dose to water between: 100 and 1500 mGy

$$D_w = k_Q \times k_D \times N_w \times M$$

#### Calibration Factor

$$N_w = 5,219E+07 \text{ Gy / C}$$

(at +400V, 20°C, 1013 hPa, x E +y meaning x · 10<sup>y</sup>)  
(in water phantom using appropriate PMMA adaptor)

#### Radiation qualities:

Q	Filter mm	S <sub>1</sub> mm	a cm	F cm	k <sub>Q</sub>	ε
Co - 60			80	10 x 10	1,00	+/-2.2%

Q : beam quality ( the number indicating the tube voltage )

Filter: total filter ( inherent and additional filter )

s<sub>1</sub> : half value layer at the point of measurement

a : focus distance between source and point of measurement  
(in 5 cm phantom depth using PMMA adaptor)

F : field size at point of calibration

N<sub>w</sub> : calibration factor for absorbed dose to water

k<sub>Q</sub> : radiation quality correction

ε : uncertainty of calibration factor

M : Display reading (in C)

k<sub>D</sub> : air density correction

The uncertainty stated corresponds to the double standard deviation (k=2). The standard deviation was calculated according to WECC Doc. 19 from the partial uncertainties arising from the normal used, the calibration procedure, the environmental conditions and short time effects of the object of measurement. The uncertainties stated are composed of the uncertainties of the calibration procedure and those of the specimen during calibration. A share for the long term instability of the object under calibration is not included.

The calibration is traceable to national standards of the German National Laboratory, PTB, Braunschweig. This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. This certificate is valid only with the ionisation chamber showing the intact sticker with the certificate number. The calibration factors of chambers having been opened for repair are not comparable to previous calibrations. Test certificates without signature are not valid.

Freiburg, 26. Nov. 2003

PTW - FREIBURG  
Physikalisch-Technische  
Werkstätten Dr. Pöchlau GmbH

## Lampiran J.2. Sertifikat Kalibrasi Elektrometer



**SERTIFIKAT KALIBRASI DOSIMETER GAMMA TINGKAT TERAPI**  
**CALIBRATION CERTIFICATE FOR THERAPY LEVEL GAMMA DOSIMETER**

No. LMR-N/KAL/III-09/003

Keterangan Pemilik / Owner:

Name / Name : RSUP Dr. Hasan Sadikin  
 Alamat / Address : Jl. Pasteur No. 38, Bandung 40161

Keterangan alat / Equipment:

	Kamar pengionan / Ionization chamber	Elektrometer / Electrometer
Model / Type	TM 30013	PTW Tandem T41013
Nomor seri / Serial no.	0689	0464
Pabrik / Manufacturer	PTW Freiburg	PTW Freiburg

**Faktor kalibrasi dalam dosis serap di air / Calibration factors in terms of absorbed dose to water:**

Kalibrasi telah dilakukan pada tanggal 25 Februari s/d 13 Maret 2009 dengan metode substitusi (IAEA Technical Reports Series No. 398, 2000) menggunakan dosimeter standar kerja PTKMR detektor NE-2571 nomor seri 2491 dan elektrometer 2570/IB nomor seri 1182. Dosimeter standar kerja ini telah dikalibrasi di Laboratorium Metrologi Radiasi Nasional PTKMR pada bulan Januari 2008 untuk radiasi gamma Co-60 dan tertelusur ke BIPM, Perancis.

The calibration has been performed from 25 February to 13 March 2009 by the substitution method (IAEA Technical Reports Series No. 398, 2000) using the PTKMR working standard dosimeter detector NE-2571 serial number 2491 and electrometer 2570/IB serial number 1182. The working standard dosimeter had been calibrated at the PTKMR National Radiation Metrology Laboratory in January 2008 for Co-60 gamma radiation and traceable to BIPM, France.

Kualitas radiasi / Radiation quality	Kamar pengionan / Chamber $N_{D,w}$ [mGy/nC]	Kamar pengionan + elektrometer / Chamber + electrometer $N_{D,w}$ [mGy/scale unit]	$D_w$ [mGy/min]
Sinar $\gamma$ Co-60 / Co-60 $\gamma$ ray <sup>*)</sup>	-	$52.5 \pm 1.3$	477.8

<sup>\*)</sup> Selubung penutup dipasang / The build up cap is fitted.

Ketidakpastian pada faktor kalibrasi adalah sama dengan dua simpangan baku (95%). Faktor kalibrasi telah dinormalisasikan ke kondisi acuan suhu  $T = 20^\circ\text{C}$  dan tekanan udara  $P = 1013,25$  mbar.  
 Uncertainties in the calibration factor corresponds to two standard deviations (95%). The calibration factor has been normalized to the reference conditions temperature  $T = 20^\circ\text{C}$  and air pressure  $P = 1013.25$  mbar.

Tanggal dikeluarkan / Date of issue: 13 Maret 2009



Prof. Eri Hiswara, M.Sc  
 Manager Kalibrasi / Calibration Manager

LMR-N/Form.5.10.01-09

Halaman/Page 1 dari/of 1

## Lampiran J.3. Sertifikat Kalibrasi Bilik Ionisasi Semiflex

semiflex 0,125 cc ion chamber

**PTW FREIBURG** Calibration Certificate No. 037474  
 D-79115 Freiburg, Lörracherstr. 7  
 ☎ +49-(0)761-49055-0 FAX +49-(0)761-49055-70

**Ionization chamber** Type/Ser. - No. **M31010-0541**  
**Manufacturer:** PTW FREIBURG  
**Conditions of climate:** Temperature between: 18 and 24 degrees Celsius  
 Air pressure between: 950 and 1050 hPa  
 Relative humidity: approx. 40 - 60 %

**Arrangement of chamber / detector:**  
**Reference point:** See data sheet of chamber / detector.  
**Radiation conditions:** Absorbed dose rate to water between: 60 and 100 mGy/min  
 Absorbed dose to water between: 100 and 1500 mGy  
**Leakage during measurement was:** negligible

**Use of the Calibration Factor:**  
 The result of a measurement in absorbed dose to water is  $D_w = k_Q \times k_D \times N_w \times M$   
 Absorbed dose rate to water is determined similarly.

**Calibration Factor**  **$N_w = 2,870E+08 \text{ Gy / C}$**   
 (at +400V, 20°C, 1013 hPa, x E +y meaning  $x \cdot 10^y$ )  
 (in water phantom using appropriate PMMA adaptor)

**Radiation qualities:**

Q	Filter mm	S <sub>1</sub> mm	a cm	F cm	k <sub>Q</sub>	ε
Co - 60			80	10 x 10	1,00	+/- 2,2%

Q : beam quality ( the number indicating the tube voltage )  
 Filter: total filter ( inherent and additional filter )  
 s<sub>1</sub> : half value layer at the point of measurement  
 a : focus distance between source and point of measurement  
 (in 5 cm phantom depth using PMMA adaptor)  
 F : field size at point of calibration  
 N<sub>w</sub> : calibration factor for absorbed dose to water  
 k<sub>Q</sub> : radiation quality correction  
 ε : uncertainty of calibration factor  
 M : Display reading (in C)  
 k<sub>D</sub> : air density correction

The uncertainty stated corresponds to the double standard deviation (k=2). The standard deviation was calculated according to WECC Doc. 19 from the partial uncertainties arising from the normal used, the calibration procedure, the environmental conditions and short time effects of the object of measurement. The uncertainties stated are composed of the uncertainties of the calibration procedure and those of the specimen during calibration. A share for the long term instability of the object under calibration is not included.

The calibration is traceable to national standards of the German National Laboratory, PTB, Braunschweig. This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. This certificate is valid only with the ionisation chamber showing the intact sticker with the certificate number. The calibration factors of chambers having been opened for repair are not comparable to previous calibrations. Test certificates without signature are not valid.

---

Freiburg, 26. Nov. 2003

PTW - FREIBURG  
 Physikalisch - Technische  
 Werkstätten Dr. Pöchlauer GmbH

## Lampiran J.4. Sertifikat Kalibrasi Bilik Ionisasi Semiflex

semiflex 0,125cc ion chamber

**PTW FREIBURG**

D-79115 Freiburg, Lörracherstr. 7  
 ☎ +49-(0)761- 49055-0 FAX +49-(0)761- 49055-70

**Calibration Certificate No. 037475**

**Ionization chamber** Type/Ser. - No. **M31010-0542**  
**Manufacturer:** PTW FREIBURG  
**Conditions of climate:** Temperature between: 18 and 24 degrees Celsius  
 Air pressure between : 950 and 1050 hPa  
 Relative humidity: approx. 40 - 60 %  
**Arrangement of chamber / detector:**  
**Reference point:** See data sheet of chamber / detector.  
**Radiation conditions:** Absorbed dose rate to water between: 60 and 100 mGy/min  
 Absorbed dose to water between: 100 and 1500 mGy  
**Leakage during measurement was:** negligible  
**Use of the Calibration Factor:**  
 The result of a measurement in absorbed dose to water is  $D_w = k_Q \times k_D \times N_w \times M$   
 Absorbed dose rate to water is determined similarly.

**Calibration Factor**  $N_w = 2,836E+08 \text{ Gy / C}$   
 (at +400V, 20°C, 1013 hPa,  $\times E +y$  meaning  $\times \cdot 10^y$ )  
 (in water phantom using appropriate PMMA adaptor)

**Radiation qualities:**

Q	Filter mm	S <sub>1</sub> mm	a cm	F cm	k <sub>Q</sub>	ε
Co - 60			80	10 x 10	1,00	+/-2.2%

Q : beam quality ( the number indicating the tube voltage )  
 Filter: total filter ( inherent and additional filter )  
 s<sub>1</sub> : half value layer at the point of measurement  
 a : focus distance between source and point of measurement  
 (in 5 cm phantom depth using PMMA adaptor)  
 F : field size at point of calibration  
 N<sub>w</sub> : calibration factor for absorbed dose to water  
 k<sub>Q</sub> : radiation quality correction  
 ε : uncertainty of calibration factor  
 M : Display reading (in C)  
 k<sub>D</sub> : air density correction

The uncertainty stated corresponds to the double standard deviation (k=2). The standard deviation was calculated according to WECC Doc. 19 from the partial uncertainties arising from the normal used, the calibration procedure, the environmental conditions and short time effects of the object of measurement. The uncertainties stated are composed of the uncertainties of the calibration procedure and those of the specimen during calibration. A share for the long term instability of the object under calibration is not included.

The calibration is traceable to national standards of the German National Laboratory, PTB, Braunschweig. This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. This certificate is valid only with the ionisation chamber showing the intact sticker with the certificate number. The calibration factors of chambers having been opened for repair are not comparable to previous calibrations. Test certificates without signature are not valid.

Freiburg, 26. Nov. 2003

PTW - FREIBURG  
 Physikalisch - Technische  
 Werkstätten Dr. Pöchlau GmbH



## Lampiran J.5.

### HASIL VERIFIKASI PESAWAT LINAC ELEKTA PRECISE TREATMENT SYSTEM

RSUP dr. HASAN SADIKIN – BANDUNG

Tanggal : 05 Desember 2009

#### ALAT UKUR YANG DIGUNAKAN

1. Dosimeter TANDEM –PTW MP3 Therapy Beam Analyzer T41013 S/N 0464
2. Detektor Timble Semiflex (Field & Reference)
3. Detektor Ionization Chamber T30013 S/N 0689
4. Water Phantom PTW
5. Aquadest

#### SOFTWARE YANG DIGUNAKAN

Mephysto Ver 7.4 – PTW

1. Tansoft-PTW
2. CenterCheck-PTW

#### PROSEDUR PELAKSANAAN

1. Menyiapkan semua peralatan untuk pengukuran sesuai *Manual Instruction*.
2. Melakukan pengukuran dan analisis PDD dan profile Foton energi 6 & 10 MV
3. Melakukan *adjustment* data **Library** TPS Isis sesuai hasil pengukuran absolut
4. Melakukan verifikasi terhadap hasil perhitungan MU TPS ISIS.

#### DATA HASIL PENGUKURAN

##### HASIL PENGUKURAN DOSIS RELATIF

1. Pengukuran PDD Foton 6 MV:

Kondisi:

Energi = Foton 6 MV

FS = 10 x 10 cm<sup>2</sup>

SSD = 100 cm

Bacaan	PDD pada Depth 10 cm (%)	Symmetry (%)
1	68,30	100,61
2	67,87	101,13
3	68,19	102,24
Rata-rata	68,12	101,33
Nilai Referensi	67,5 (± 2 %)	100,00 (Maksimum 103)
Keterangan	Baik	Baik

##### Kesimpulan :

Pada referensi (**Digital Accelerator Installation Manual page 6-12**) untuk Foton energi 6 MV pada kedalaman 10 cm, Depth Dose referensi sebesar 67,5 % dengan batas toleransi ± 2%, dari 3 kali pengukuran semuanya masih dalam batas toleransi. Dengan demikian dapat dikatakan untuk Foton energi 6 MV masih dalam keadaan **BAIK**.

Catatan: File tersimpan di data base Mephysto dengan nama unit **KALIBRASI\_FOTON** group **RW-VER 6 MV**

## 2. Pengukuran PDD Foton 10 MV:

Kondisi:

Energi = Foton 10 MV      FS = 10 x 10 cm<sup>2</sup>

SSD = 100 cm

Bacaan	PDD pada Depth 10 cm (%)	Symmetry (%)
1	72,91	102,43
2	73,61	101,68
3	73,36	101,68
Rata-rata	73,39	101,93
Nilai Referensi	73 ( $\pm 2$ %)	100,00 (Maksimum 103)
Keterangan	Baik	Baik

Kesimpulan :

Pada referensi (**Digital Accelerator Installation Manual page 6-12**) untuk Foton energi 10 MV pada kedalaman 10 cm, Depth Dose referensi sebesar 73 % dengan batas toleransi  $\pm 2\%$ , dari 3 kali pengukuran semuanya masih dalam batas toleransi. Dengan demikian dapat dikatakan untuk Foton energi 10 MV masih dalam keadaan **BAIK**.

Catatan:

File tersimpan di data base Mephysto dengan nama unit **KALIBRASI\_FOTON** group **RW-VER 10 MV**

**HASIL PENGUKURAN DOSIS ABSOLUT**

## 3. Metode pengukuran dosis absolut:

- Pengukuran dosis absolut dilakukan dengan cara memasukkan data laju dosis mengacu pada sertifikat kalibrasi luaran dari BATAN yang dimasukkan ke dalam *library* TPS.
- Membuat *planning* di TPS ISIS dengan lapangan radiasi 10cm x 10cm, SSD 100cm, dan kedalaman 5 cm untuk Cobalt-60 dan Linac energi 6 MV, kedalaman 10cm untuk Linac energi 10 MV.
- Hasil MU yang dikeluarkan oleh TPS ISIS selanjutnya diverifikasi dengan menggunakan dosimeter PTW.
- Apabila terjadi deviasi melebihi batas toleransi  $\pm 3\%$ , maka dilakukan *adjustment* terhadap data laju dosis dalam *library* TPS, hal ini dilakukan hingga laju dosis yang terukur masuk kedalam batas toleransi.
- Hasil verifikasi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Pesawat/Energi	Deviasi			Keterangan
	Adjusment 1	Adjusment 2	Adjustment 3	
Linac / Foton 6 MV	4.114%	0.055%	-	Baik
Linac / Foton 10 MV	14.244%	-0.982%	0.025%	Baik

Keterangan:

*Adjustment 1* : memakai data pada sertifikat kalibrasi luaran BATAN dibandingkan hasil pengukuran

*Adjustment 2* : dilakukan setelah verifikasi terhadap *adjustment 1*

*Adjustment 3* : dilakukan setelah verifikasi terhadap *adjustment 2*

**KESIMPULAN**

Dari hasil verifikasi Pesawat LINAC ELEKTA Precise Treatment System, maka dapat disimpulkan:

Pesawat Linac ELEKTA untuk Foton energi 6 dan 10 MV masih dalam keadaan bagus.

Bandung, 05 Desember 2009

Physicist

Susila Wardaya

