



UNIVERSITAS INDONESIA

**PROFIL BERKAS RADIASI GAMMA COBALT 60 JATUH
PADA PERMUKAAN MIRING**

SKRIPSI

ANGGITA PURIE WAHARUMDIHATI

0606068045

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

JUNI 2011



UNIVERSITAS INDONESIA

**PROFIL BERKAS RADIASI GAMMA COBALT 60 JATUH
PADA PERMUKAAN MIRING**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana

ANGGITA PURIE WAHARUMDIHATI

0606068045

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPOK

JUNI 2011

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Anggita Purie Waharumdihati

NPM : 0606068625

Tanda Tangan : 

Bulan : Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Anggita Purie Waharumdihati
NPM : 0606068045
Program Studi : Fisika
Judul Skripsi : Profil Berkas Radiasi Gamma Cobalt 60 Jatuh
Pada Permukaan Miring

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Prof. Dr. Djarwani S

Pembimbing II : Sugiyantari, M.Si

Penguji I : Dwi Seno Kuncoro, M.Si

Penguji II : Kristina Tri Wigati, M.Si

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 20 Juni 2011



Handwritten signatures of the examiners and supervisors, including Prof. Dr. Djarwani S, Sugiyantari, M.Si, Dwi Seno Kuncoro, M.Si, and Kristina Tri Wigati, M.Si.

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi tugas akhir tepat waktu. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains Program Studi Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam.

Penelitian ini memberikan banyak pelajaran kepada penulis, dan memberikan pengalaman baik suka maupun duka. Dalam pelaksanaannya penulis banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak baik dukungan moril maupun bantuan langsung, sehingga perkenankan penulis menghaturkan rasa terima kasih kepada:

- a) Ayahanda terkasih **Hari Purnomo**, ibunda tersayang **Katyawasi, Febrie Lisa"menir", Dewi Ratih"topo"** atas kasih sayang, doa, dan motivasi yang tak henti-hentinya diberikan kepada penulis.
- b) **Prof. Dr. Djarwani S** selaku pembimbing pertama saya. Terima kasih atas waktu, dan juga bimbingan serta arahan Ibu dalam penelitian ini. Mohon maaf apabila ibu merasa peneliti jarang berdiskusi dengan ibu.
- c) **Sugiyantari, M.Si** selaku pembimbing kedua saya. Terima kasih atas dukungan, bimbingan, serta saran selama saya mengambil data di RS Persahabatan hingga penyelesaian skripsi.
- d) **Dwi Seno Kuncoro, M.Si** dan **Kristina tri Wigati, M.Si** sebagai dosen penguji.
- e) **Para dosen Fisika** yang telah membimbing saya sejak awal bergabung dengan keluarga besar Fisika FMIPA UI sampai saya menempuh masa akhir studi.
- f) **Ibu lies** dan **ibu Supi** yang telah bersedia untuk berbagi ruangan kerjanya selama penulis mengambil data di ruang cobalt RS Persahabatan.
- g) **Indah Citra Pertiwi, May rara, Tiara Anggraeni, Annisa Sarah, Arfan, Intan Apriliya, Mamet** terima kasih untuk semua kenangan yang labil semester ini.

- h) Teman-teman seperjuangan Fisika Medis 2006 **Agus Supriatna, Habib, Syahrulloh, Vivi, Intan, Emi** yang selalu mengingatkan dateline pengerjaan skripsi dan penyerahan berkas-berkas ke sekretariat.
- i) **Ricky Barus**, makasih ya untuk wejangan, buku cobalt serta soal-soal kompre yang sudah diwariskan.
- j) **Teman-teman Fisika 2006**, terima kasih atas dukungannya, kalian adalah salah satu keluarga besar yang tak akan terlupakan.
- k) **Jojo** dan **putti** dua ekor kucing peliharaan penulis yang selalu mengganggu, menemani, dan membuat penulis tersenyum dikala letih mengerjakan skripsi hingga larut malam.
- l) Serta semua pihak yang turut membantu dalam penyelesaian skripsi ini baik langsung maupun tidak langsung.

Menyadari keterbatasan pengalaman dan kemampuan yang penulis miliki sudah tentu terdapat kekurangan dalam penulisan skripsi ini untuk itu penulis tidak menutup diri untuk menerima segala saran dan kritik yang sifatnya membangun. Akhir kata, penulis berharap kepada Tuhan Yang Maha Esa untuk memberikan rahmat-Nya kepada semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu khususnya dalam dunia fisika medis di bidang radioterapi. Amin.

Depok, Juni 2011

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Anggita Purie Waharumdihati
NPM : 0606068045
Program Studi : S1 Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Skripsi

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

PROFIL BERKAS RADIASI GAMMA COBALT 60 JATUH PADA PERMUKAAN MIRING

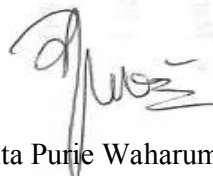
Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Bulan : Juni 2011

Yang menyatakan



(Anggita Purie Waharumdihati)

ABSTRAK

Nama : Anggita Purie W

Program Studi : Fisika

Judul : Profil Berkas Radiasi Gamma Cobalt 60 Jatuh Pada Permukaan Miring

Berkas radiasi yang jatuh pada permukaan tubuh pasien yang tidak rata atau miring menghasilkan distribusi isodosis yang berbeda dengan standar distribusi yang diperoleh pada permukaan yang rata, saat dilakukan penyinaran pada sudut normal. Pendekatan yang digunakan untuk mengatasi masalah ini yaitu dengan mencari profil berkas untuk setiap kemiringan sudut saat penyinaran. Kemiringan sudut yang digunakan sampai dengan sudut 60° untuk teknik SAD dan SSD. Sebuah asumsi dibuat yaitu pergeseran berkas geometri yang dihasilkan akibat sudut miring yang diberikan tidak melebihi 2mm.

Kata kunci: distribusi isodosis, profil dosis, berkas geometri

ABSTRACT

Name : Anggita Purie W

Study Program: Physics

Title : Beam Profile of Cobalt 60 Gamma Radiation Incident to Inclined Surface

A radiation beam striking an irregular or sloping patient surface produces an isodose distribution that differs from the standard distribution obtained on flat surfaces with a normal beam incidence. An approach is used to address this problem with looking for the beam profile for oblique angles of beam incidence. Applicable for angles of incidence up to 60° for SAD (Source Axis Distance) and SSD (Source Surface Distance) techniques. An assumption is made that the friction of beam geometry that result of oblique angles does not more than 2mm

Keyword: isodose distribution, beam profile, beam geometry

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
<i>ABSTRACT</i>	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Pembatasan Penelitian.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Metode Penelitian.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Radioterapi.....	5
2.2 Pesawat Teleterapi Cobalt.....	5
2.2.1 Komponen Utama Mesin Teleterapi Cobalt.....	6
2.3 Interaksi Radiasi Gamma Terhadap Medium.....	7
2.4 Penyinaran sudut <i>oblique</i> pada kontur permukaan yang tidak rata	9
2.5 Profil Berkas.....	10
2.5.1 Parameter Profil Berkas.....	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1 Peralatan dan Parameter yang digunakan	12

3.2 Teknik Pengukuran Dalam Penelitian	
3.2.1 Teknik SAD atau SDD.....	13
3.2.2 Teknik SSD.....	14
3.3 Kurva Profil Berkas.....	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	18
4.1 Teknik SAD/ SDD(Source-Axis Distance/ Source-Detector Distance).....	18
4.2 Teknik SSD(Source-Surface Distance)	24
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	30
5.1 Kesimpulan.....	30
5.2 Saran.....	30
DAFTAR REFERENSI.....	31

DAFTAR GAMBAR

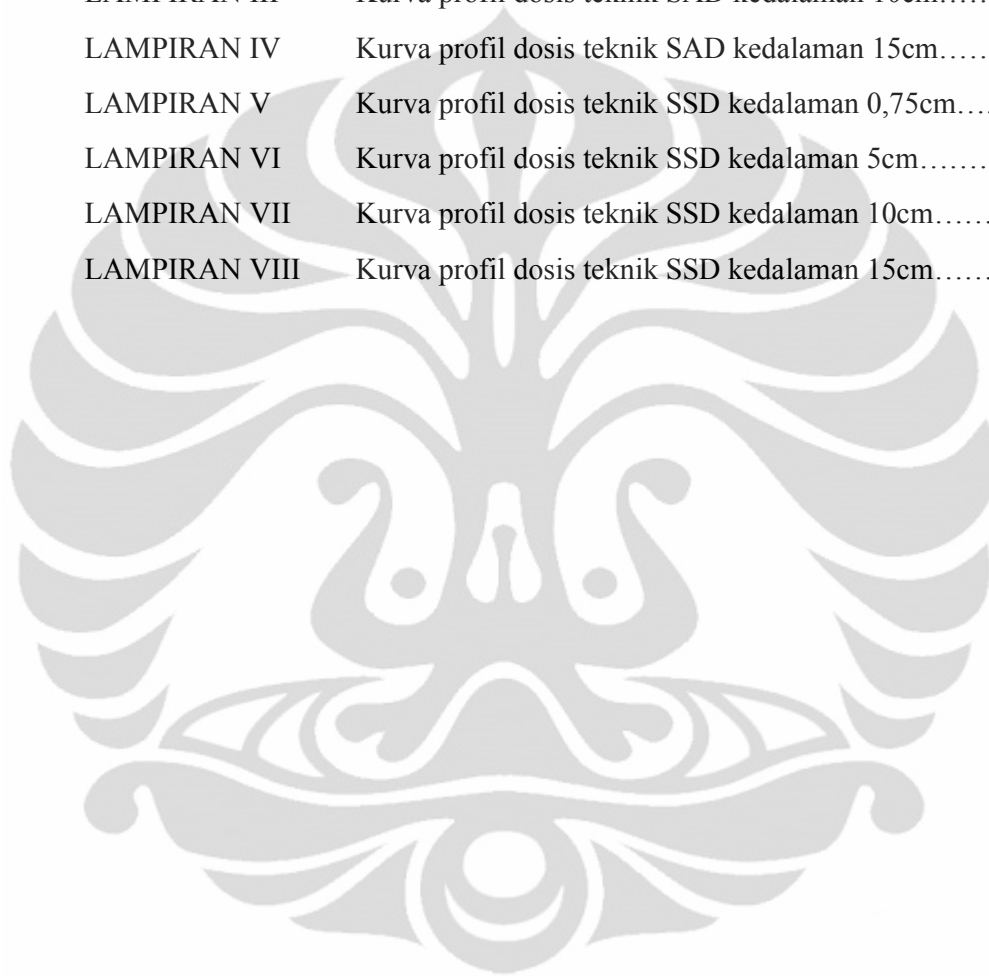
Gambar 2.1 Desain kepala pesawat teletterapi cobalt.....	6
Gambar 2.2 Proses terjadinya efek fotolistrik pada atom dalam medium.....	7
Gambar 2.3 Proses terjadinya efek Compton pada atom dalam medium.....	8
Gambar 2.4 Proses terjadinya produksi pasangan	9
Gambar 2.5 Geometri pengukuran pada fantom (C'C' dan C'' C'') dan pada pasien(CC).....	10
Gambar 2.6 Profil dosis Co-60 lapangan 10x10 cm pada dmax dan kedalaman 10cm,SSD.....	10
Gambar 2.7 <i>Flattened Region</i>	11
Gambar 3.1 (a) ARRAY INTERFACE(T16026).....	13
(b) Proses pengukuran.....	13
Gambar 3.2 Geometri pengukuran	
a) SSD.....	14
b) SAD	14
Gambar 3.3 Pemasangan fantom dan ARRAY saat pengukuran.....	15
Gambar 3.4 Titik –titik pada kurva profil dosis yang akan dihitung dan dianalis.....	16
Gambar 3.5 Geometri berkas berdasarkan profil dosis pada gambar 4.4.....	17
Gambar 4.1 Kurva profil berkas Cobalt 60 SAD 80cm kedalaman 0,75cm untuk lapangan 10x10cm ² pada gantri 0° sampai 60°.....	18
Gambar 4.2 Kurva profil berkas SAD 80cm untuk kedalaman 0,75cm lapangan 10x10cm ² pada sudut gantri 0°... ..	19
Gambar 4.3 Geometri berkas cobalt 60; kedalaman 0,75cm; lapangan 10x10cm ² ; untuk sudut gantri 0° pada SAD 80cm	23
Gambar 4.4 Kurva profil berkas cobalt 60, lapangan 10x10cm ² kedalaman 0,75cm pada sudut gantri 0°, SSD 80cm.....	24
Gambar 4.5 Kurva profil berkas cobalt 60 lapangan 10x10cm ² kedalaman 0,75 cm pada sudut gantri 0°, SSD 80cm.....	25
Gambar 4.6 Berkas geometri lapangan 10x10cm ² , kedalaman 0,75 gantri 0°...29	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat fisik radionuklida yang biasa digunakan dalam radioterapi berkas eksternal	6
Tabel 4.1 Posisi dan nilai persentase ririk A, titik D, Dmax dan Dmin SAD 80cm untuk kedalaman 0,75cm	20
Tabel 4.2 Besar perubahan panjang <i>flattened region</i> (FR) SAD 80cm untuk kedalaman 0,75cm	21
Tabel 4.3 Lebar penumbra kiri dan kanan pada kedalaman 0,75cm;5cm;10cm, Dan 15cm	22
Tabel 4.4 Letak dan besar persentase titik A dan titik D , Dmax dan Dmin pada teknik SSD untuk kedalaman 0cm.....	26
Tabel 4.5 Besar perubahan panjang titik B dan titik C pada <i>flattened region</i> (FR) teknik SSD untuk kedalaman 0cm	27
Tabel 4.6 Lebar penumbra pada kedalaman 0,75cm;5cm;10cm dan 15cm	28

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I	Kurva profil dosis teknik SAD kedalaman 0,75cm.....	34
LAMPIRAN II	Kurva profil dosis teknik SAD kedalaman 5cm.....	39
LAMPIRAN III	Kurva profil dosis teknik SAD kedalaman 10cm.....	44
LAMPIRAN IV	Kurva profil dosis teknik SAD kedalaman 15cm.....	49
LAMPIRAN V	Kurva profil dosis teknik SSD kedalaman 0,75cm.....	54
LAMPIRAN VI	Kurva profil dosis teknik SSD kedalaman 5cm.....	59
LAMPIRAN VII	Kurva profil dosis teknik SSD kedalaman 10cm.....	62
LAMPIRAN VIII	Kurva profil dosis teknik SSD kedalaman 15cm.....	64



BAB I

PENDAHULUAN

I. Latar Belakang Penelitian

Radioterapi eksternal dengan foton dapat dilakukan dengan menggunakan pesawat teleterapi cobalt 60. Dalam proses penyinaran 0° berkas sinar yang dihasilkan dari pesawat teleterapi cobalt 60 akan jatuh tegak lurus mengenai fantom. Sedangkan pada kenyataannya berkas yang jatuh ke tubuh pasien tidaklah tegak lurus. Hal ini disebabkan karena kontur permukaan tubuh yang tidak rata, tidak seperti pada fantom. Oleh karena itu akan dilihat perubahan distribusi dosis akibat pemberian sudut gantri *oblique* sehingga berkas dapat jatuh tegak lurus pada permukaan tubuh.

Pada perencanaan perlakuan, kurva profil berkas merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengetahui distribusi dosis pada tumor. Profil berkas ini akan mengalami perubahan seiring terjadinya perubahan kemiringan sudut gantri pada pesawat cobalt 60, yang artinya distribusi dosis pada tumor akan mengalami perubahan dan juga pergeseran.

Dalam penelitian ini akan dilihat bagaimanakah bentuk kurva profil berkas untuk setiap kemiringan berkas radiasi dengan permukaan tubuh pasien, yakni dengan memvariasikan besar kemiringan sudut gantrinya antara 0° sampai 60° sehingga dapat diketahui besar pergeseran berkas geometri akibat dari sudut gantri yang diberikan.

Dengan menggunakan fantom akrilik sebagai pengganti tubuh pasien, dan detektor 2D ARRAY akan didapat informasi mengenai besar persentase dosis yang sesuai dengan besar kemiringan sudut gantri saat melakukan penyinaran dengan melihat perubahan geometri berkas yang terjadi akibat kemiringan sudut gantri yang diberikan. Analisis ini akan sangat membantu pada saat *treatment planning system* dalam mendapatkan penyinaran yang optimal yaitu dosis semaksimal mungkin pada

target dan seminimal mungkin pada jaringan sehat, karena dengan penyinaran pada satu lapangan ini diharapkan didapat ketelitian yang lebih sehingga saat menggunakan lapangan lebih dari satu, distribusi dosis pada tumor masih berada pada +7% dan -5% rekomendasi ICRU.

II. Pembatasan Penelitian

Batasan masalah yang dibahas dalam skripsi ini adalah mengukur profil berkas dalam fantom akrilik kotak dengan berkas datang jatuh pada kemiringan sudut antara 0° - 60° terhadap permukaan fantom. Dengan interval sudut sebesar 5° , dan variasi kedalaman medium (5 cm, 10 cm, dan 15 cm).

III. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mencari profil berkas dengan variasi kedalaman (5 cm, 10cm, dan 15cm) dan variasi kemiringan sudut (0° - 60°) terhadap permukaan fantom, dan juga untuk mengetahui perubahan geometri berkas yang terjadi akibat pengaruh dari variasi gantri dan kedalaman yang diberikan.

IV. Metodologi Penelitian

Eksperimen akan dilakukan di Instalasi radioterapi RSUP Persahabatan Jakarta Timur dengan menggunakan pesawat terapi cobalt 60 yang memiliki modalitas 1,25 MeV, selain itu juga akan menggunakan fantom akrilik, dan detektor 2D ARRAY seven 29.

Pengukuran profil berkas dengan variasi kedalaman (5 cm,10 cm, dan 15 cm) dan variasi Sudut (0° - 60°) dilakukan dengan teknik SAD dan SSD. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan susunan akrilik, dan meletakkannya diatas permukaan 2D ARRAY yang kemudian akan dihubungkan ke komputer yang berada di ruang kontrol. Penyinaran menggunakan sinar gamma 1,25 MeV dengan luas lapangan penyinaran 10 cm x 10 cm dan dilakukan dengan kedalaman 5 cm, 10 cm dan 15 cm dan tiap-tiap kedalaman akan disinari dengan variasi sudut sebesar 5° antara 0° - 60° . Kemudian dari komputer akan terlihat profil berkas dari setiap variasi sudut yang diberikan.

V. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini terdiri dari V bab, dimana masing-masing bab tersebut terdiri dari beberapa subbab yang memudahkan alur pemaparan penelitian ini.

BAB I PENDAHULUAN

Pada Bab Pendahuluan ini berisi tentang latar belakang permasalahan, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian dimana akan dijelaskan dalam dua subbab penting yang dapat menjelaskan penelitian ini secara garis besar. Adapun subbab yang pertama adalah mengenai Latar Belakang yang menjelaskan alasan dilakukannya penelitian ini. Dalam subbab ini dijelaskan pula perumusan masalah yang akan memberikan penekanan pada pokok bahasan. Subbab berikutnya adalah subbab Tujuan Penelitian. Subbab ini merupakan tujuan akhir yang ingin dicapai dari penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada Bab Tinjauan Pustaka ini akan berisi tentang teori atau prinsip dasar yang melandasi dilakukannya penelitian ini. Subbab pada Bab Tinjauan Pustaka ini akan membahas secara terperinci mengenai definisi dari materi-materi yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III PENELITIAN

Pada Bab Penelitian ini akan diberikan proses penelitian secara terperinci yang berisikan keseluruhan kegiatan penelitian dalam mencapai tujuan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab Hasil dan Pembahasan berisikan hasil dari penelitian yang telah dilakukan. Bersamaan dengan hasil yang disampaikan, dilakukan pula pembahasan terhadap hasil yang didapat.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam Bab ini akan berisikan kesimpulan penelitian yang telah dilakukan. Saran yang disampaikan adalah perlu untuk kelanjutan dari penelitian yang terbatas ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radioterapi

Radioterapi atau sering juga disebut sebagai terapi radiasi adalah terapi yang menggunakan radiasi yang bersumber dari energi radioaktif. Radiasi yang dimanfaatkan pada terapi ini adalah radiasi pengion yang mempunyai daya perusak terhadap sel makhluk hidup. Dengan daya perusak inilah, radiasi pengion dimanfaatkan untuk membunuh sel kanker. Sel pada jaringan normal ikut rusak namun dari sebuah konsep radiobiologi, sel kanker dan sel normal mempunyai respon yang berbeda terhadap radiasi pengion yang dikenal sebagai *therapeutic ratio*.

2.2 Pesawat Teleterapi Cobalt

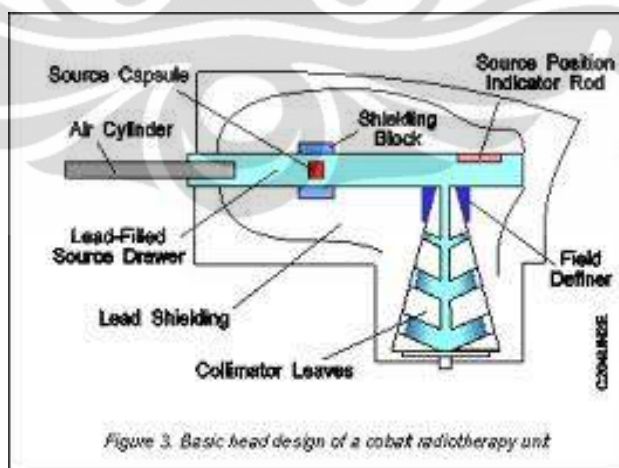
Pesawat teleterapi cobalt digunakan dalam radioterapi eksternal. Radiasi gamma dari sumber cobalt 60 mempunyai energi 1,33MeV dan 1,17 MeV (rata-rata 1,25 MeV). Pada umumnya isosenter pesawat cobalt menggunakan SAD 80 cm. Ukuran sumber 1,5cm dan 2 cm, aktivitas sekitar 6.000 – 7000 Ci. Bila sumber masih baru maka akan memberikan laju dosis sebesar 1,5 – 2 Gy/menit. Penggunaan lapangan maksimum sebesar 40 x 40 cm² pada jarak perlakuan 80 cm. Dosis maksimum cobalt dicapai pada kedalaman 0,5 cm dibawah permukaan kulit, oleh karena itu pesawat teleterapi cobalt dapat digunakan untuk terapi pada kepala, leher, dada, tumor, dan pada bagian tubuh yang terletak pada kedalaman 0,5cm dibawah permukaan kulit.

Tabel 2.1 Sifat fisik radionuklida yang biasa digunakan dalam radioterapi berkas eksternal

<i>Radioactive source</i>	<i>Cobalt-60 Co-60</i>	<i>Cesium-137 Cs-137</i>	<i>Europium-152 Eu-152</i>
Half life (year)	5.3	30	13.4
Specific activity (Ci/g)	1100 ^(a) (~ 250 ^(b))	80	180 ^(a) (~ 150 ^(b))
Photon energies (MeV)	1.17 and 1.33	0.662	0.6 - 1.4
Specific gamma rate constant Γ [$R \cdot m^2 / (Ci \cdot hr)$]	1.31	0.3 β	1.06
Specific air-kerma rate constant Γ_{AKR} [$\mu Gy \cdot m^2 / (GBq \cdot hr)$]	309	78	250
Half value layer <i>HVL</i> (cm Pb)	1.1	0.5	1.1
Means of production	⁵⁹ Co + n in reactor	fission by-product	¹⁵¹ Eu + n in reactor

2.2.1 Komponen Utama Mesin Teleterapi Cobalt

1. Sumber radioaktif
2. Tempat sumber: kolimator berkas dan mekanisme pergerakan sumber
3. Gantri dan mesin isosentrik
4. Pendukung pasien



Gambar 2.1 Desain kepala pesawat teleterapi cobalt

2.3 Interaksi Radiasi Gamma pada Medium

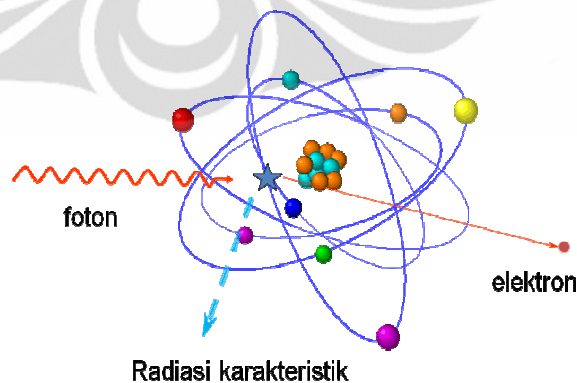
Sinar Gamma termasuk dalam kelompok radiasi elektromagnetik. Sinar gamma memiliki panjang gelombang yang lebih pendek sehingga memiliki energi yang jauh lebih tinggi. Ada tiga mekanisme bagaimana sinar gamma dapat berinteraksi dengan materi, yaitu efek fotolistrik, hamburan Compton dan produksi pasangan.

a) Efek fotolistrik

Pada proses efek fotolistrik, radiasi gelombang elektromagnetik yang datang mengenai atom seolah-olah menumbuk salah satu elektron orbital dan memberikan seluruh energinya. Jika energi foton yang diberikan lebih besar dari energi ikat elektron, maka elektron tersebut dapat terlepas dari atom dan menghasilkan ion. Efek fotolistrik sangat mungkin terjadi jika foton memiliki energi yang rendah (kurang dari 0,5 MeV) dan materi memiliki massa besar (nomor atom besar).

$$h\nu = E_k + W \quad (1.1)$$

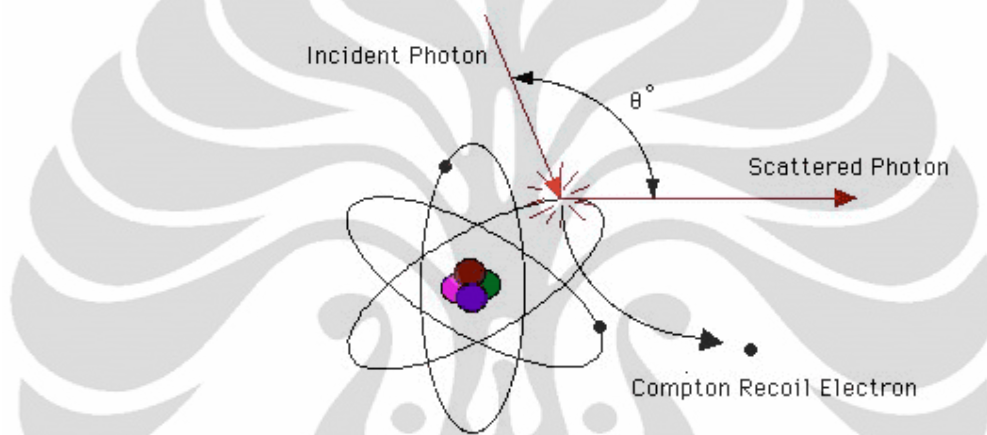
Dimana $h\nu$ merupakan energi foton datang pada medium, E_k adalah energi kinetik dari fotoelektron serta W merupakan fungsi kerja atom dalam medium penyerapan.



Gambar 2.2 Proses terjadinya efek fotolistrik pada atom dalam medium

b) Hamburan Compton

Peristiwa hamburan Compton sebenarnya tidak berbeda jauh dengan efek fotolistrik. Akan tetapi, pada hamburan Compton tidak semua energi foton diberikan kepada elektron, melainkan hanya sebagian saja, sisa energi foton masih berupa gelombang elektromagnetik (foton) yang dihamburkan. Foton yang dihamburkan ini akan terus berinteraksi dengan elektron lain sampai energinya habis dan elektron yang dihasilkan (fotoelektron) akan menyebabkan proses ionisasi sekunder.



Gambar 2.3 Proses terjadinya efek Compton pada atom dalam medium

Pada hamburan Compton, foton dengan energi $h\lambda_i$ berinteraksi dengan elektron terluar dari atom, selanjutnya foton dengan energi $h\lambda_o$ dihamburkan dan sebuah fotoelektron lepas dari ikatannya. Energi kinetik elektron (E_e) sebesar selisih energi foton masuk dan foton keluar.

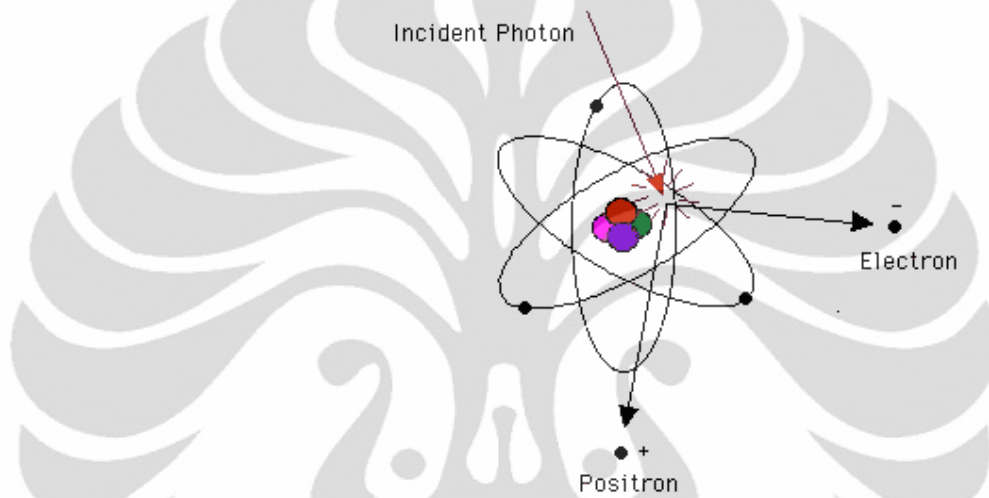
$$E_e = h\lambda_i - h\lambda_o$$

Hamburan Compton sangat dominan terjadi bila foton mempunyai energi sedang (di atas 0,5 MeV) dan lebih banyak terjadi pada material dengan nomor massa (Z) yang rendah.

c) Produksi pasangan

Ketika berada di daerah medan inti sebuah atom, foton dapat mengalami konversi (lenyap) menjadi positron yang bermuatan positif dan elektron yang bermuatan negatif. Dengan menggunakan persamaan konversi energi

menjadi massa ($E=mc^2$), elektron dan positron yang dihasilkan akan memiliki energi yang setara dengan 0,511 MeV. Oleh karena itu hanya foton berenergi besar saja ($>1,02$ MeV) yang dapat menghasilkan pasangan elektron-positron. Setiap kelebihan energi diatas 1,02 MeV akan diberikan pada partikel dalam bentuk energi kinetik. (Energi kinetik total dari dua partikel tersebut sama dengan energi foton yang datang dikurangi 1,02 MeV).

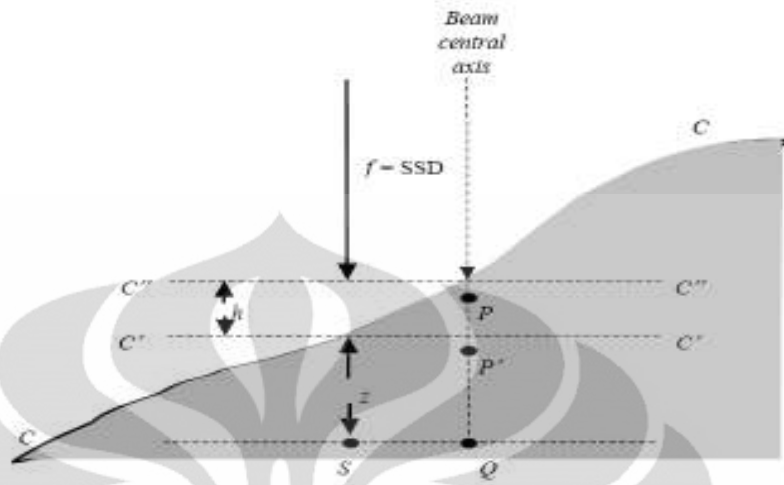


Gambar 2.4 Proses terjadinya produksi pasangan

Elektron yang dihasilkan akan berinteraksi dengan atom sekitar dan menyebabkan terjadinya ionisasi, sedangkan positron akan menemukan sebuah elektron bebas dan kedua partikel ini akan saling menghilangkan (interaksi positron), dan menghasilkan energi.

2.4 Penyinaran sudut *oblique* pada kontur permukaan yang tidak rata

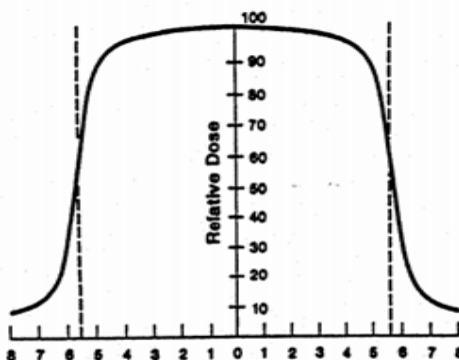
Berkas radiasi yang jatuh pada permukaan tubuh pasien yang tidak rata/miring akan berbeda dengan berkas radiasi yang jatuh pada permukaan fantom. Hal ini disebabkan karena kontur permukaan pasien yang tidak rata, tidak seperti pada fantom. Oleh karena itu agar sinar jatuh tegak lurus dengan permukaan pasien, perlu dilakukan penyinaran pada sudut miring/*oblique*.



Gambar 2.5 Geometri pengukuran pada fantom (C'C' dan C''C'') dan pada pasien (CC)

2.5 Profil Berkas

Distribusi dosis sepanjang berkas sumbu utama hanya memberikan sebagian informasi dalam menggambarkan keakuratan dosis pada pasien. Distribusi dosis dalam dua dimensi ditentukan dari hubungan antara data pada sumbu utama dengan profil berkas pada *off axis ratio*. Hubungan antara dosis pada sumbu utama dan di luarnya sangat kompleks, karena banyak faktor yang mempengaruhinya. Oleh karena itu dosis di luar sumbu utama tidak dapat dinyatakan dengan formula matematik, sehingga untuk mengetahuinya harus diukur. Beberapa metoda yang dipakai untuk membuat ilustrasi dosis di luar sumbu utama, salah satunya dengan mengukur profil berkas untuk kedalaman tertentu.

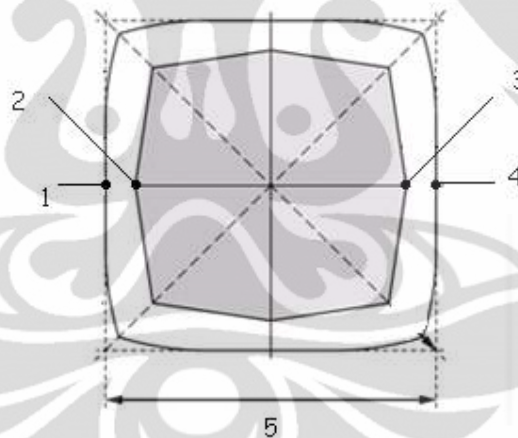


Gambar 2.6 Profil berkas Co-60

Gambar 2.6 memperlihatkan bahwa profil berkas terbagi menjadi tiga daerah yaitu:

1. Pertama daerah tengah lapangan yang mempunyai dosis sedikit meningkat ataupun menurun terhadap pusat lapangan. Daerah ini disebut bagian utama lapangan.
2. Daerah kedua, yakni daerah pinggir yang disebut penumbra (bayangan parsial), dosis cepat menurun pada lokasi ke arah luar lapangan.
3. Daerah ketiga disebut umbra (bayangan total) yang tidak mengandung radiasi primer. Dosis dalam daerah umbra rendah dan diakibatkan oleh radiasi hambur.

2.5.1 Parameter Profil Berkas



Gambar 2.7 Geometri profil berkas (1) titik pada tepi lapangan kiri (2) titik pada daerah dosis rata/ *Flattened Region* (FR) kiri (3) panjang lapangan (4) titik pada tepi lapangan kanan (5) titik pada daerah dosis rata/ (FR) kanan (5) lebar lapangan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan di instalasi radioterapi RSUP Persahabatan Jakarta Timur ini menggunakan dua teknik yaitu SAD dan SSD dengan berbagai variasi kedalaman dan variasi kemiringan berkas, dimana juga menggunakan medium akrilik sebagai pengganti tubuh pasien.

3.1 Peralatan dan Parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

Pesawat	: Teleterapi Cobalt 60 No.seri 0307CO 000011 Aktivitas/ tanggal : 319.7 TBq/ 06 Maret 2007
Detektor	: PTW 2D-ARRAYseven29 (T10024) dan ARRAY INTERFACE (T16026)
Luas Lapangan	: 10 x 10 cm ²
SAD	: jarak sumber radiasi - detektor 79,25 cm (80 cm- titik efektif detektor 0,75cm)
SSD	: jarak sumber radiasi - permukaan fantom 80 cm
Gantri	: 0°-60° dengan penambahan 5° setiap pengukuran
Kolimator	: 0
Fantom	: 6 buah Akrilik dengan ketebalan masing-masing 2,5cm



Gambar 3.1(a) ARRAY INTERFACE(T16026) (b)Proses pengukuran

3.2 Teknik Pengukuran Dalam Penelitian

3.2.1 Teknik SAD atau SDD

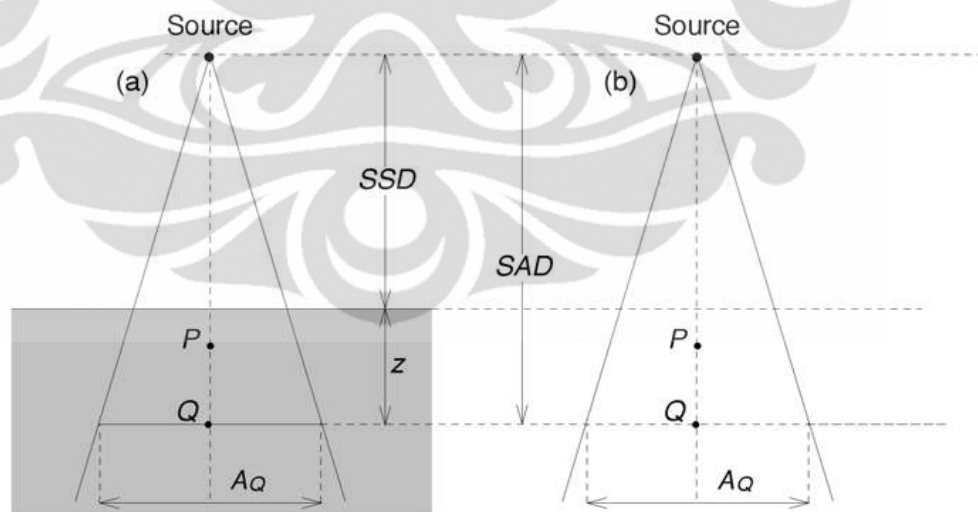
SAD atau SDD (*source-axis distance/ source-detector distance*) adalah teknik pengukuran dimana jarak antara titik efektif pengukuran detektor dengan sumber sebesar 80 cm, tetapi mengingat titik efektif pengukuran detektor yang berada 0,75 cm dibawah permukaan detektor, sehingga besar jarak sumber ke permukaan detektornya menjadi 79,25cm. Hasil pengukuran dinormalisasi 100% pada titik pusat lapangan. Dalam teknik ini peneliti memastikan agar sinar jatuh tepat pada lapangan yang telah diatur sebesar 10x10 cm² ,yaitu dengan menggunakan waterpass dan laser. Lapangan 10x10 cm² dibuat tetap, sedangkan berkas radiasi dengan permukaan pasien dibuat miring dengan memvariasikan sudut gantri saat penyinaran yaitu antara 0° sampai 60° dengan penambahan 5° setiap pengukuran .

Pengukuran dengan teknik SAD ini dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan, dengan membuat variasi kedalaman fantom dan kemiringan berkas untuk setiap pengukurannya.

Kedalaman fantom yang akan diukur diletakkan diatas detektor, sedangkan sisa fantom diletakkan dibawah detektor. Artinya ketebalan fantom dan detektor pada saat pengukuran dijaga tetap. Kemudian setelah selesai melakukan pengukuran dan mendapatkan kurva profil dosis, peneliti menganalisis besar perubahan geometri yang terjadi akibat kemiringan sudut gantri yang diberikan.

3.2.2 Teknik SSD

Teknik SSD (source-surface distance) merupakan teknik pengukuran dimana jarak sumber ke permukaan fantom sebesar 80cm. Hasil pengukuran dinormalisasi 100% pada titik pusat lapangan. Sama halnya dengan teknik SAD, saat melakukan pengukuran dengan teknik ini peneliti juga harus menggunakan waterpass dan laser untuk memastikan bahwa sinar yang jatuh tepat berada di permukaan fantom dengan luas lapangan $10 \times 10 \text{ cm}^2$, begitu pula saat pengambilan data pada sudut miring (*oblique*). Sehingga dalam teknik ini peneliti diharuskan untuk selalu menjaga agar jarak antara posisi sumber ke permukaan fantom tetap 80cm setiap terjadi penambahan fantom dalam setiap pengukuran.



Gambar 3.2 Geometri pengukuran a) SSD b) SAD

Kedua teknik diatas dilakukan dengan ketentuan yang sama yaitu pengukuran dilakukan pada medium akrilik dengan kedalaman 0cm,5cm,10cm,dan 15cm dengan variasi sudut gantri dari 0° sampai 60° (dengan

penambahan 5°). Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk setiap teknik, dengan membuat variasi kedalaman fantom dan kemiringan lapangan untuk setiap pengukurannya.

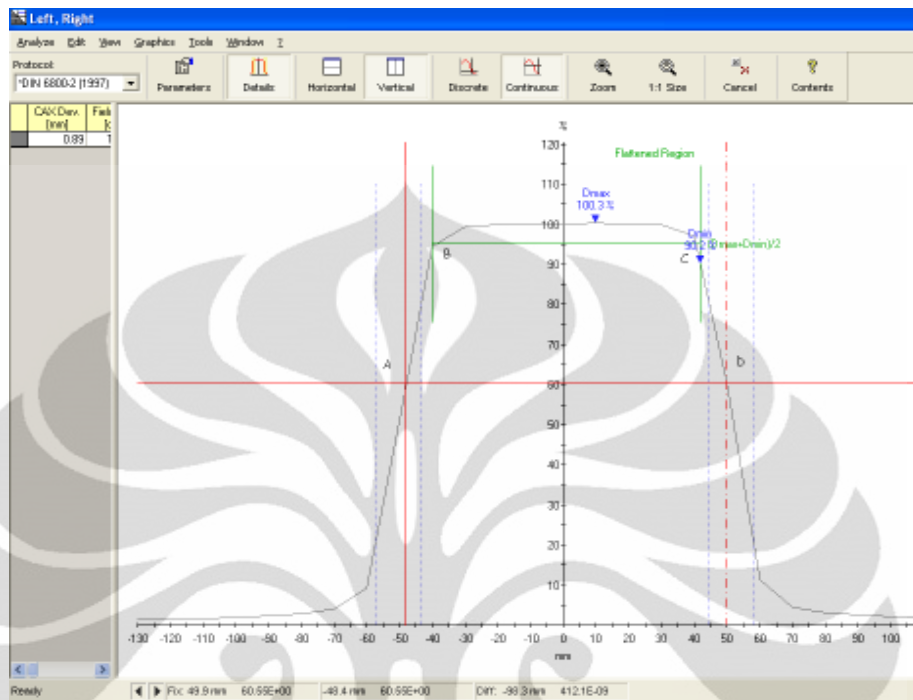
Kedalaman fantom yang akan diukur diletakkan diatas detektor, sedangkan sisa fantom diletakkan dibawah detektor. Artinya ketebalan fantom dan detektor pada saat pengukuran dijaga tetap. Kemudian setelah selesai melakukan pengukuran dan mendapatkan kurva profil dosis, peneliti mengasumsi besar perubahan dan pergeseran geometri berkas tidak lebih dari 2mm.



Gambar 3.3 Pemasangan fantom dan ARRAY saat pengukuran

Pengukuran dilakukan secara komputerisasi dengan menggunakan Multicheck sebagai perangkat lunaknya, dengan memasukan parameter yang diperlukan (suhu, dan tekanan) sebelum melakukan pengukuran, sehingga didapatkan kurva profil berkas.

3.3 Kurva Profil Berkas

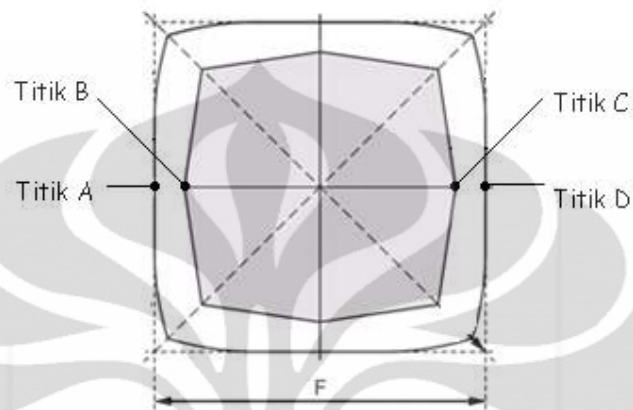


Gambar 3.4 Titik –titik pada kurva profil berkas yang akan dihitung dan dianalisis

Dari pengukuran ini akan didapatkan kurva profil dosis seperti diatas dimana titik A dan D merupakan nilai persentase dosis pada tepi lapangan, titik B dan C merupakan nilai persentase dosis pada *flattened region* $(D_{max}+D_{min})/2$. Dari kurva profil berkas gambar 3.4 peneliti akan dapat mengetahui posisi dan nilai D_{max} , D_{min} , $(D_{max}+D_{min})/2$ akibat dari kemiringan sudut gantri yang diberikan. D_{max} merupakan persentase dosis maksimum, D_{min} merupakan persentase dosis minimum, dan $(D_{max}+D_{min})/2$ merupakan persentase dosis pada daerah *flattened region*. Geometri berkas akan berubah seiring dengan perubahan kemiringan berkasnya. Pergeseran geometri berkas pada daerah *flattened region* tidak boleh melebihi 2 mm sesuai dengan asumsi kita sebelumnya.

Gambar 3.5 merupakan geometri berkas yang dibentuk berdasarkan posisi dan nilai persentase D_{max} , D_{min} , dan $(D_{max}+D_{min})/2$ yang diperoleh dari kurva profil berkas gambar 3.4 . Titik A dan titik D merupakan posisi dan nilai

persentase dosis pada tepi lapangan, sedangkan titik B dan titik C merupakan posisi dan nilai persentase dosis pada *flattened region*.



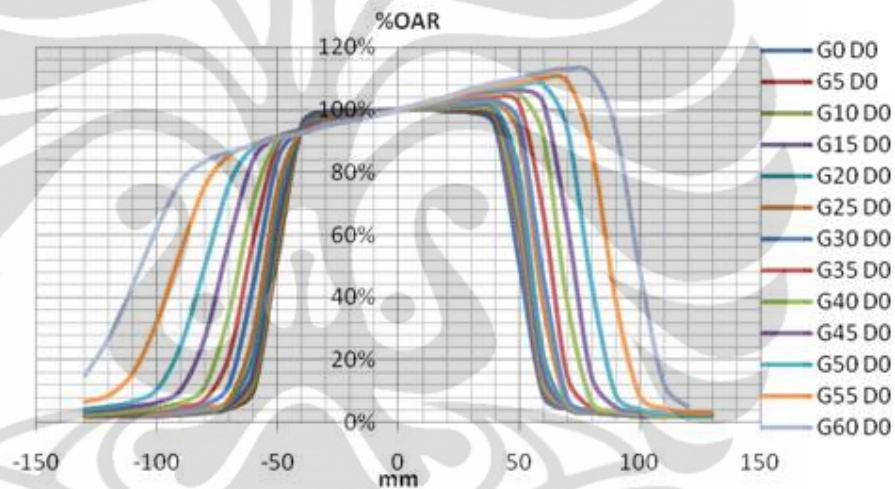
Gambar 3.5 Geometri berkas berdasarkan profil berkas pada gambar 3.4

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

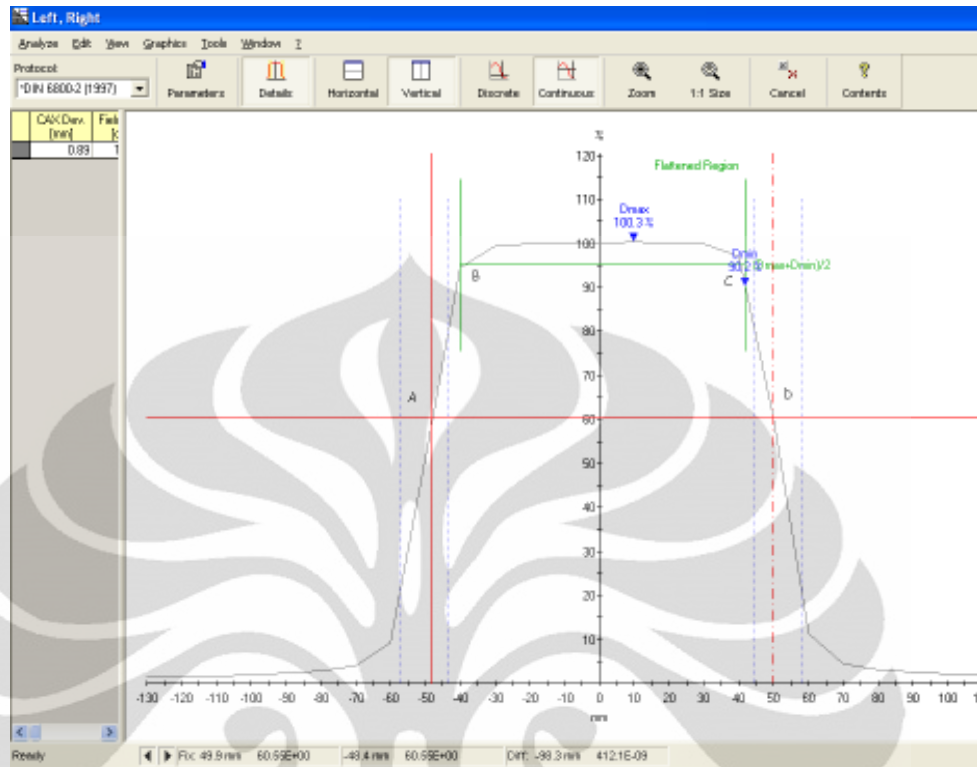
4.1 Teknik SAD/ SDD(Source-Axis Distance/ Source-Detector Distance)

Gambar 4.1 dibawah ini menunjukkan hasil pengukuran profil berkas radiasi gamma cobalt 60 pada teknik SAD dengan sudut gantri bervariasi dari 0° sampai 60° .



Gambar 4.1 kurva profil berkas Cobalt 60 SAD 80cm kedalaman 0,75cm untuk lapangan $10 \times 10 \text{cm}^2$ pada gantri 0° sampai 60°

Dengan perubahan sudut gantri tampak pelebaran lapangan radiasi yang cenderung tidak simetri. Pada kedalaman 5cm sampai 15cm akan terjadi pelebaran lapangan radiasinya menjauhi pusat lapangan. Kurva profil dosis dinormalisasi 100% pada titik pusat lapangan untuk sudut gantri 0° . Untuk evaluasi selanjutnya gambar 4.2 menunjukkan profil berkas khusus untuk sudut gantri 0° , sedangkan profil dosis dengan sudut gantri lainnya dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.2 Kurva profil berkas cobalt 60 SAD 80cm untuk kedalaman 0,75cm lapangan 10x10cm² pada sudut gantri 0°

Hasil kalkulasi komputer, profil dilengkapi dengan tampilan nilai Dmax, Dmin, garis $(D_{max}+D_{min})/2$ diatas penumbra pada kedua sisi lapangan. Dengan teknik SAD dimana jarak antara titik efektif pengukuran detektor dengan sumber sebesar 80cm, maka data semua nilai Dmax dan Dmin untuk hasil pengukuran pada kedalaman 0cm diberikan dalam tabel 4.1

Tabel 4.1 Posisi dan nilai persentase titik A, titik B, Dmax dan Dmin SAD 80cm untuk kedalaman 0,75cm

Gantri(°)	Pinggir lapangan		Dmax		Dmin	
	Titik A(-) dan titik D(+)		(mm)	(%)	(mm)	(%)
0	-50	55	10	100.2	-41	91.9
	50	51				
5	-50	55	10	100.4	42	90.54
	50	61				
10	-50	58	10	100.6	-42	89.77
	50	66				
15	-50	63	30	101.2	-42	87.59
	50	72				
20	-50	70	30	101.6	-43	86.3
	50	80				
25	-50	78	30	102.5	-45	86.27
	50	89				
30	-50	85	30	103.2	-46	87.4
	50	96				
35	-50	89	40	104.1	-50	88.86
	50	102				
40	-50	91	40	105.1	-54	85.11
	50	105				
45	-50	91	50	106.3	-58	85.58
	50	106				
50	-50	91	60	108.2	-64	83.16
	50	108				
55	-50	91	60	110.8	-74	81.79
	50	109				
60	-50	91	70	114	-86	80.27
	50	110				

Pada sudut gantri 0° , D_{max} terletak pada 10mm dari pusat lapangan. Hal ini menandakan bahwa berkas yang dihasilkan tidak simetri karena seharusnya D_{max} berada pada pusat lapangan 0mm. Garis $(D_{max}+D_{min})/2$ memotong kurva profil pada titik B dan C. Posisi dan nilai $(D_{max}+D_{min})/2$ untuk semua profil pada kedalaman 0,75cm SAD 80cm dapat dilihat dalam table 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Besar perubahan panjang *flattened region* (FR) SAD 80cm untuk kedalaman 0,75cm

		Posisi titik B	Posisi titik C	ΔB	ΔC	Perubahan panjang FR
Gantri($^\circ$)	$\%(D_{max}+D_{min})/2$	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
0	96.05	-41	41	0	0	0
5	95.445	-41	42	0	1	1
10	95.16	-42	42	-1	1	2
15	94.4	-42	44	-1	3	4
20	93.95	-43	44	-2	3	5
25	94.39	-45	45	-4	4	8
30	95.295	-46	47	-5	6	11
35	96.465	-50	51	-9	10	19
40	95.09	-54	54	-13	13	26
45	95.95	-58	59	-17	18	35
50	95.695	-64	63	-23	22	45
55	96.28	-74	70	-33	29	62
60	97.115	-86	79	-45	38	83

Dari table 4.2 terlihat bahwa besar perubahan berkas geometri *flattened region* yang masih diperbolehkan sesuai dengan asumsi kita sebelumnya yaitu tidak lebih dari 2 mm oleh karena itu untuk kedalaman 0,75cm kemiringan sudut yang diperbolehkan hanya sampai 10° , kedalaman 5cm dan 10 cm sampai dengan sudut 5° , sedangkan untuk kedalaman 15cm hanya diperbolehkan dilakukan penyinaran pada sudut 0° .

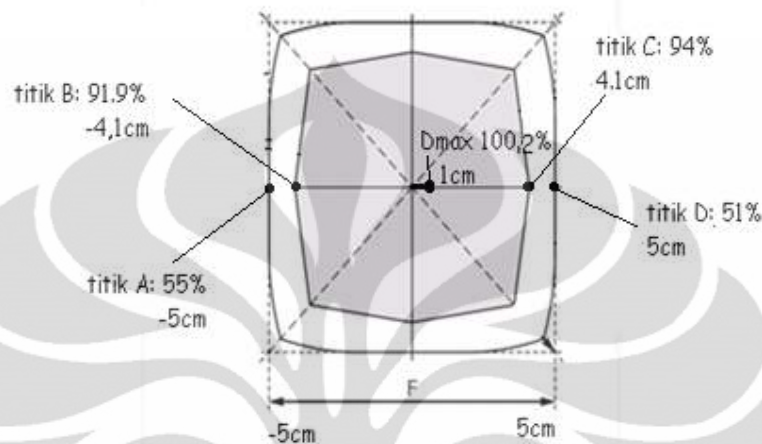
Lebar penumbra dipengaruhi oleh ukuran sumber dan kedalaman, Pada kurva profil ini didapat lebar penumbra akibat pengaruh gantri, nilai penumbra kiri semakin membesar sebanding dengan kemiringan sudut gantri yang diberikan sedangkan untuk penumbra kanan nilainya naik turun tidak terpola dengan baik.

Dengan sudut gantri tidak sama dengan nol penumbra kanan dan kiri menjadi tidak simetri. Dari tabel 4.2 terlihat bahwa pesawat cobalt ini masih dalam kondisi yang bagus karena lebar penumbra kanan dan kirinya kurang dari 2cm pada sudut gantri 0°.

Tabel 4.3 Lebar penumbra kiri dan kanan pada kedalaman 0,75cm;5cm;10cm dan 15cm

Gantri(°)	Kedalaman 0,75cm		Kedalaman 5cm		Kedalaman 10cm		Kedalaman 15cm	
	P.kanan (mm)	P.kiri (mm)	P.kanan (mm)	P.kiri (mm)	P.kanan (mm)	P.kiri (mm)	P.kanan (mm)	P.kiri (mm)
0	14.04	13.91	15.3	15.05	16.42	16.17	17.59	17.21
5	14.24	13.42	15.59	14.32	16.72	15.93	17.93	19.03
10	14.43	12.94	15.81	13.9	17.35	16.75	19.62	19.26
15	14.59	12.11	16.87	14.37	19.83	17.31	21.56	19.05
20	15.45	11.16	18.99	14.3	21.4	16.77	22.92	18.15
25	16.39	13.02	19.06	15	21.72	16.7	23.24	17.74
30	16.5	13.52	14.9	18.51	20.44	16.16	24.21	20.78
35	18.23	12.68	22.53	14.69	25.25	18.78	27.35	21.95
40	20.82	13.4	24.41	15.54	28.02	17.76	32.74	27.01
45	22.77	13.18	27.15	15.96	34.38	20.19	63.63	27.59
50	26.54	14.1	33.82	15.82	44.41	22.78	76.76	26.01
55	31.38	14.57	42.72	16.42	73.56	24.97	88.77	23.17
60	39.36	14.73	59.84	17.68	105.1	21.25	103.29	20.36

Dari posisi dan nilai D_{max} , D_{min} , dan *flattened region* $(D_{max}+D_{min})/2$ diperoleh gambaran geometri berkas untuk kedalaman 0,75cm pada sudut gantri 0° sebagai berikut

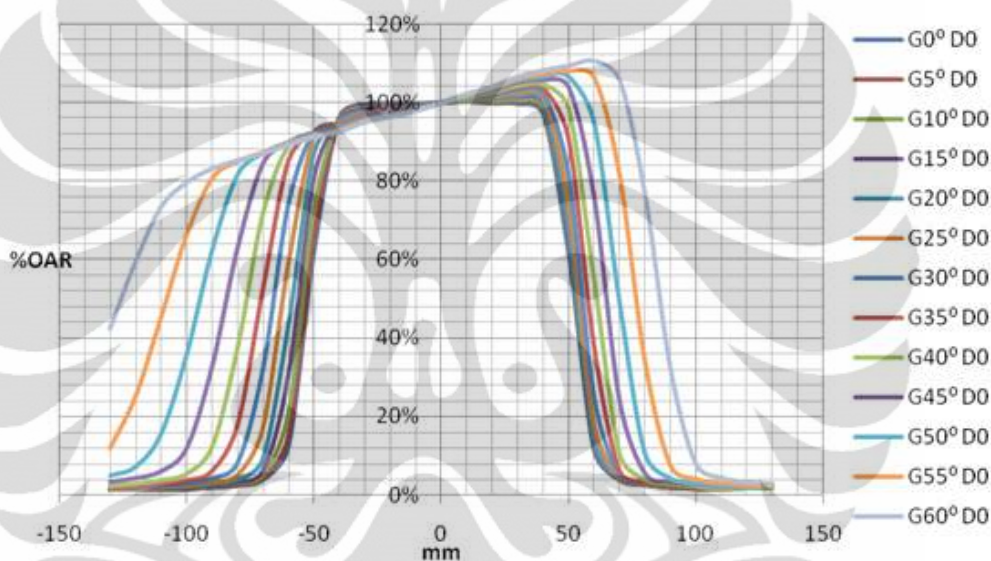


Gambar 4.3 Geometri berkas cobalt 60 ;kedalaman 0,75cm ; lapangan 10x10cm² untuk sudut gantri 0° pada SAD 80cm

Gambar 4.3 menunjukkan geometri *flattened region* (FR), dimana distribusi dosis pada daerah FR (titik B - titik C) antara 91,9% sampai 94%, dengan dosis maksimum 100,2% yang terletak 10mm dari pusat lapangan, sedangkan distribusi dosis pada tepi lapangan kiri (titik A) sampai titik ujung FR kiri (titik B) distribusi dosisnya antara 55% sampai 91,9%, dan untuk tepi lapangan kanan (titik D) sampai titik ujung FR kanan (titik C) distribusi dosisnya antara 94% sampai 51%.

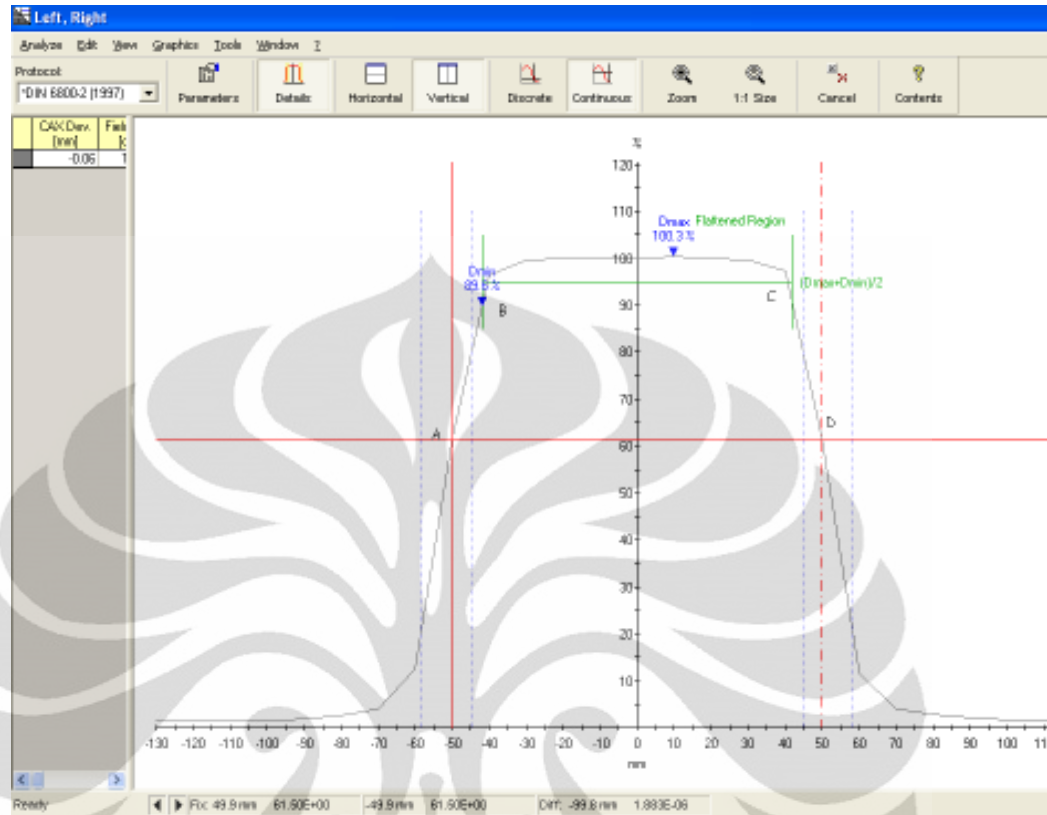
4.2 Teknik SSD(Source-Surface Distance)

Gambar dibawah ini menunjukkan hasil pengukuran profil berkas radiasi pada teknik SSD pada kedalaman 0cm. Tampak terjadi pelebaran lapangan radiasi yang cenderung tidak simetri yang hampir menyerupai seperti kurva profil pada teknik SAD. Pada kedalaman 5cm sampai 15 cm akan terlihat jelas pergeseran lapangan radiasi menjauhi gantri yang dapat dilihat pada lampiran.



Gambar 4.4 kurva profil berkas cobalt 60, lapangan 10x10cm² untuk kedalaman 0,75cm pada sudut gantri 0°, SSD 80cm

Sama halnya seperti teknik SAD pada teknik SSD kurva profil juga di normalisasi sebesar 100% terhadap titik pusat lapangan untuk sudut gantri 0°. Selanjutnya gambar 4.5 menunjukkan profil berkas untuk sudut gantri 0° kedalaman 0,75cm . Lebar tepi lapangan untuk teknik SSD berubah untuk setiap penambahan kedalaman, karena pada teknik SSD jarak antara permukaan fantom dengan sumber sebesar 80cm.



Gambar 4.5 Kurva profil berkas cobalt 60, lapangan 10x10cm² untuk kedalaman 0,75cm pada sudut gantri 0°, SSD 80cm

Seperti pada teknik SAD, dari kurva profil berkas gambar 4.5 penulis memperoleh posisi dan nilai persentase dosis pada setiap tepi lapangan yang sesuai dengan kedalaman, posisi dan nilai persentase dosis maksimum dan minimumnya. Pada tabel 4.4 menunjukkan posisi dan nilai persentase dosis tepi lapangan (titik A dan titik D) serta posisi dan nilai Dmax dan Dmin untuk kedalaman 0,75cm; lapangan 10x10 cm² pada sudut gantri antara 0° sampai 60°. Sedangkan untuk kedalaman 5cm, 10cm, dan 15cm dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.4 Letak dan besar persentase titik A, titik D, Dmax dan Dmin pada teknik SSD untuk kedalaman 0cm

Gantri(°)	Pinggir lapangan		Dmax		Dmin	
	Titik A(-) dan titik D(+)		(mm)	(%)	(mm)	(%)
0	-50	62	10	100.4	-42	89.6
	50	62				
5	-50	66	10	100.5	-42	88.4
	50	65				
10	-50	73	30	100	-44	47.5
	50	65				
15	-50	81	30	101.6	-45	88
	50	65				
20	-50	87	30	102.2	-47	89.7
	50	69				
25	-50	91	30	103	-51	89.7
	50	74				
30	-50	92	30	103.9	-54	86.3
	50	82				
35	-50	93	30	104.8	-58	87.5
	50	91				
40	-50	92	40	106	-63	85.4
	50	99				
45	-50	92	40	107.4	-69	86.1
	50	104				
50	-50	92	40	108.9	-78	84.2
	50	107				
55	-50	92	50	111.2	-90	83.1
	50	108				
60	-50	91	-60	114.8	-105	79.4
	50	110				

Pada kurva profil berkas juga terdapat daerah *flattened region* (FR), titik pada setiap ujung daerahnya kita beri nama titik B dan titik C yang besar persentasenya sebesar $(D_{max}+D_{min})/2$. Dari kedua titik ini kita dapat mengetahui pergeseran daerah *flattened region* nya

Tabel 4.5 Besar perubahan panjang titik B dan titik C pada *flattened region* (FR) teknik SSD untuk kedalaman 0cm

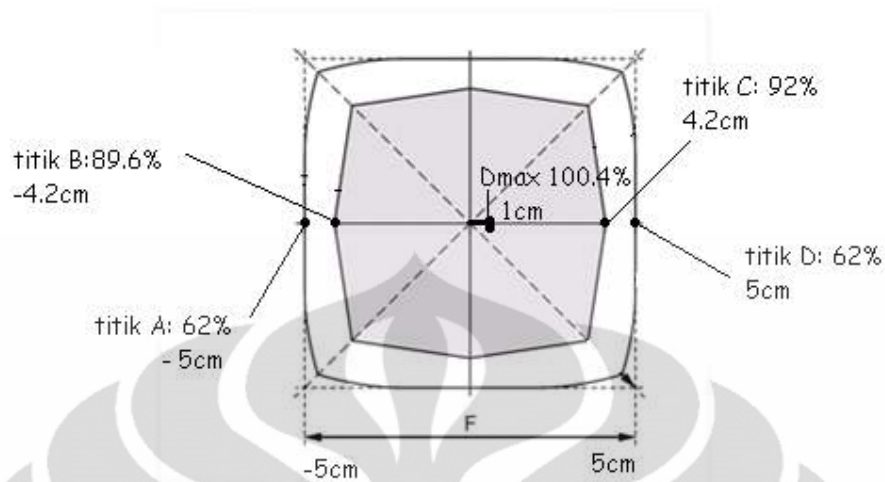
Gantri($^{\circ}$)	% $(D_{max}+D_{min})/2$	Posisi titik	Posisi titik	ΔB (mm)	ΔC (mm)	Perubahan panjang FR (mm)
		B (mm)	C (mm)			
0	95	-42	42	0	0	0
5	94.45	-42	42	0	0	0
10	73.75	-44	42	-2	0	2
15	94.8	-45	42	-3	0	3
20	95.95	-47	42	-5	0	5
25	96.35	-51	42	-9	0	9
30	95.1	-54	44	-12	2	14
35	96.15	-58	45	-16	3	19
40	95.7	-63	48	-21	6	27
45	96.75	-69	50	-27	8	35
50	96.55	-78	54	-36	12	48
55	97.15	-90	59	-48	17	65
60	97.1	-105	65	-63	23	86

Dari tabel 4.5 diatas terlihat bahwa pada kedalaman 0,75cm sudut gantri yang masih diperbolehkan berdasarkan perubahan panjang *flattened region*(FR) nya yaitu sampai dengan sudut 10° , sedangkan untuk kedalaman 5cm, 10cm, dan 15 cm hanya diperbolehkan pada sudut 0° , karena jika dilakukan penyinaran pada sudut miring (atau lebih dari 0°) akan terjadi perubahan panjang FR lebih dari 2mm. Pada kedalaman 5cm, 10cm, dan 15cm untuk lebih detailnya dapat dilihat pada lampiran.

Perubahan lebar penumbra yang terjadi juga ditampilkan pada layar monitor, untuk setiap penambahan kedalaman maka penumbranya akan bertambah lebar. Karena pada teknik SSD 80cm, jarak antara permukaan fantom dengan sumber sebesar 80cm dijaga tetap, maka setiap terjadi penambahan kedalaman jarak antara sumber ke detektor semakin menjauh sebanding dengan penambahan kedalamannya. Oleh karena itu pengukuran hanya dilakukan sampai kemiringan sudut tertentu yaitu kurang dari 60° karena jarak sumber dengan detektor yang terlalu jauh sehingga tidak memungkinkan lapangan pengukuran 10x10cm² terukur dengan baik.

Tabel 4.6 Lebar penumbra kanan dan kiri pada kedalaman 0,75cm;5cm;10cm dan 15cm

Gantri (°)	Kedalaman 0cm		Kedalaman 5cm		Kedalaman 10cm		Kedalaman 15cm	
	P.kanan (mm)	P.kiri (mm)	P.kanan (mm)	P.kiri (mm)	P.kanan (mm)	P.kiri (mm)	P.kanan (mm)	P.kiri (mm)
0	13.74	13.59	17.42	17.18	18.52	18.15	22.59	23
5	13.61	13.35	16.35	15.46	19.77	17.64	24.05	21.13
10	13.76	13.28	18.57	15.83	20.94	19.31	24.01	21.5
15	14.25	13.17	18.39	15.04	20.09	20.15	25.48	23.22
20	15.14	12.96	18.12	15.81	22.98	20.75	-	-
25	15.65	12.58	19.92	17.12	25.38	20.86	-	-
30	17.56	11.65	21.34	15.88	-	-	-	-
35	17.62	12.96	24.08	16.71	-	-	-	-
40	20.89	13.65	-	-	-	-	-	-
45	23.63	12.93	-	-	-	-	-	-
50	26.43	14.23	-	-	-	-	-	-
55	33.02	14.91	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-	-	-



Gambar 4.6 Berkas geometri cobalt 60, lapangan 10x10cm² untuk kedalaman 0,75cm pada sudut gantri 0° SSD 80cm

Dari gambar 4.6 terlihat bahwa distribusi dosis pada daerah *flattened region* (titik B sampai titik C) sebesar 89,6% sampai 92% dengan persentase dosis maksimum 100,4% yang berada 1cm dari pusat lapangan. Selain itu juga diketahui distribusi dosis pada tepi lapangan kiri (titik A) sampai titik ujung FR kiri (titik B) antara 62% sampai dengan 89,6% , sedangkan untuk distribusi dosis pada titik ujung FR kanan (titik C) sampai tepi lapangan kanan (titik D) sebesar 92% sampai 62%.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dengan mengasumsikan pergeseran tidak melebihi 2mm dapat disimpulkan bahwa:

1. Kemiringan berkas radiasi dengan permukaan tubuh pasien yang diperbolehkan untuk teknik SAD/SDD yaitu pada kedalaman 0cm sampai dengan sudut 10° , kedalaman 5cm sampai 10cm pada sudut 5° , sedangkan untuk kedalaman 15cm hanya diperbolehkan dilakukan penyinaran pada sudut 0° .
2. Pada teknik SSD kemiringan berkas radiasi dengan permukaan tubuh pasien yang diperbolehkan untuk kedalaman 0cm yaitu sampai dengan kemiringan 10° , sedangkan untuk kedalaman lebih dari 5cm hanya diperbolehkan dilakukan penyinaran pada sudut 0° .
3. Berkas yang dikeluarkan pesawat cobalt ini tidak simetri karena dosis maksimumnya tidak terletak pada pusat lapangan.
4. Penumbra yang tidak simetri semakin mendukung ketidaksimetrian alat ini.

5.2. Saran

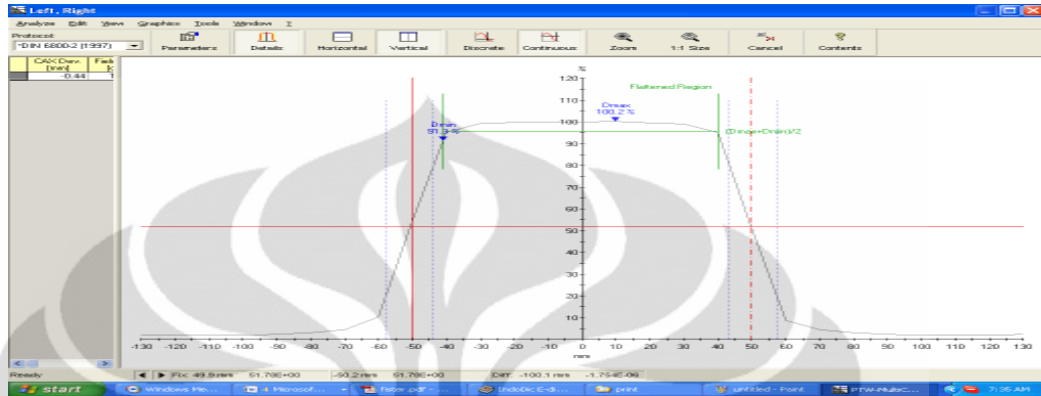
Dalam klinis, tumor untuk kedalaman sampai 10cm sebaiknya hanya diperbolehkan memiliki kemiringan berkas radiasi dengan permukaan pasien yang sampai sudut 10° , sedangkan untuk tumor dengan kedalaman lebih dari 10cm tidak disarankan untuk memiringkan berkas radiasinya atau dengan kata lain hanya diperbolehkan pada sudut 0° dalam penyinaran.

DAFTAR REFERENSI

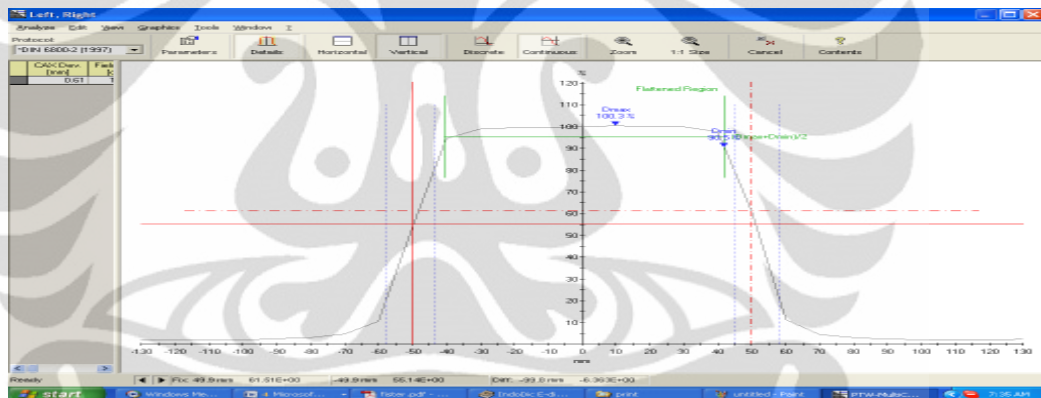
- [1] Podgorsak, E.B., (2005). *Radiation Oncology Physics*. Austria. Chapter 6 (hal. 194,376,dan 383)
- [2] Johns, Harold E., dan Cunningham, J.R., (1983). *The Physics Of Radiology*. USA. Chapter 10, 369-372
- [3] Metcalfe, Peter., Kron, Thomas., dan Hoban, Peter .(2005).*The Physics of Radioteraphy X-Rays and Electrons*
- [4] Faiz & Khan, M. 2003 .*The Physics of Radiation Therapy* : Lippincott Williams & Wilkins
- [5] M.K Leung, Philip.1990.*The Physical Basis of Radiotherapy* : The Ontario Cancer Institute Incorporating The Princess Margaret Hospital
- [6] Charles M. Washington & Dennis Leaver. 2010. *Principles and Practicee Of Radiation Therapy*. America. Elseiver.
- [7] Murshed, Hasa. *Clinical Fundamentals for Radiation Oncology Residents*
- [8] Cohen, Montague & Mitchell, Joseph S. (1984). *Cobalt-60 Teletherapy: A Compendium of International Practice*. Vienna : IAEA
- [9] Jursinic, Paul A., dan Nelms, Ben. 2003. *A 2-D Diode array and Analysis Software for verification of intensity modulated radiation therapy delivery*
- [10] Rashed, Yasser. 2006. *The accuracy of commercial ion chamber array (2D ARRAY-729) in the measurement of beam profiles for Siemens Physical wedges*
- [11] http://en.wikipedia.org/wiki/Full_width_at_half_maximum 27 Mei 2011 pk 15.45
- [12] http://en.wikipedia.org/wiki/Dose_profile 1 Februari 2011. pk 10.00

LAMPIRAN I: Kurva profil berkas Co 60 SAD 80cm kedalaman 0,75cm

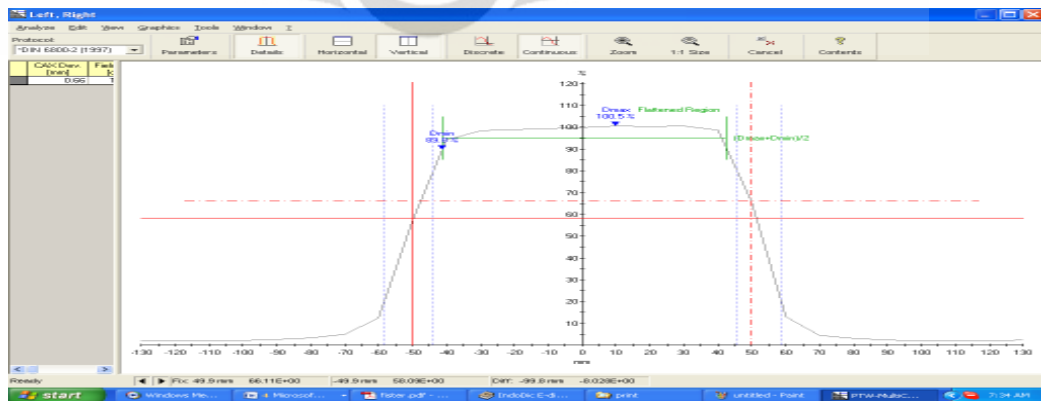
Sudut 0°



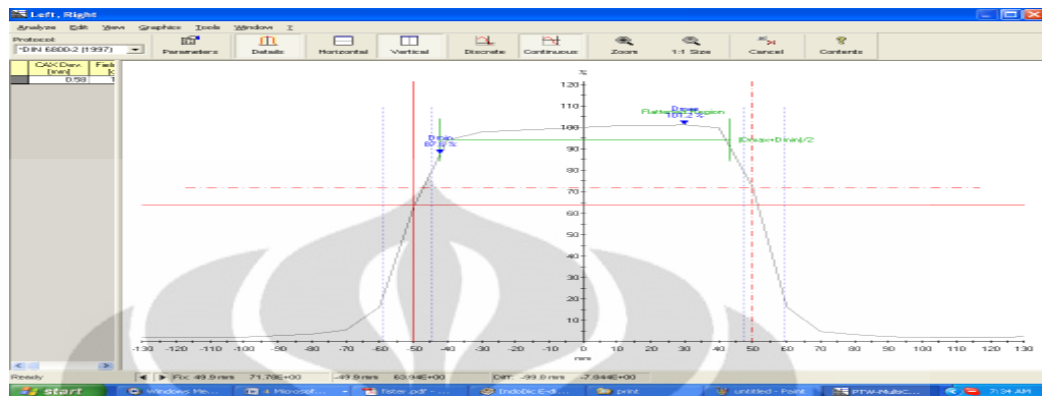
Sudut 5°



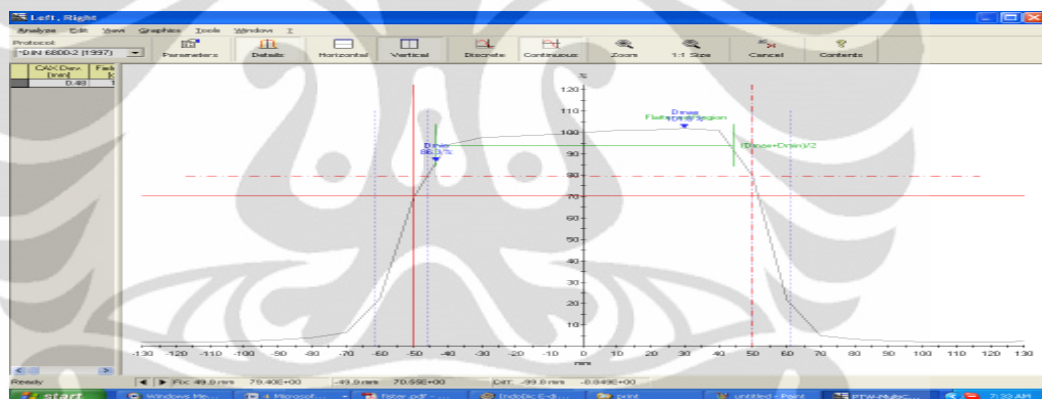
Sudut 10°



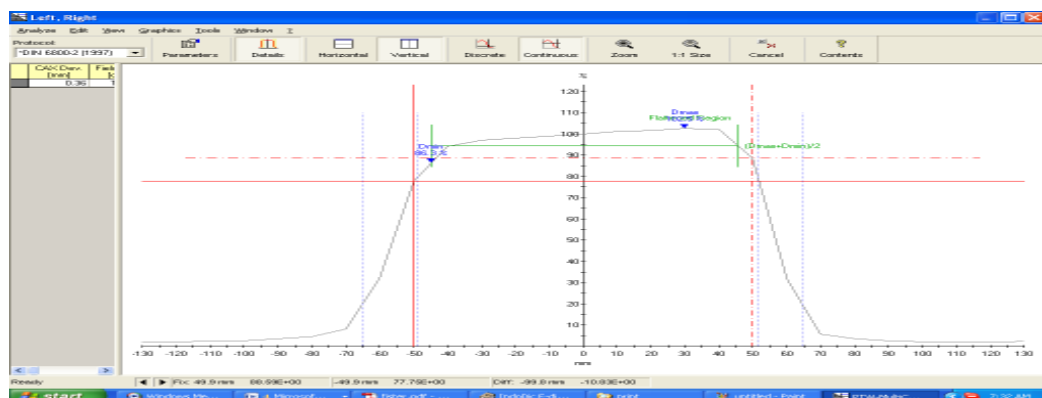
Sudut 15°



Sudut 20°

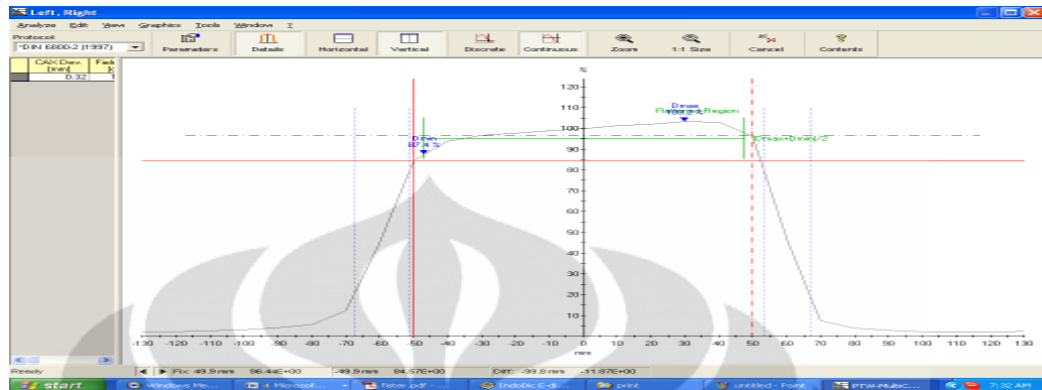


Sudut 25°

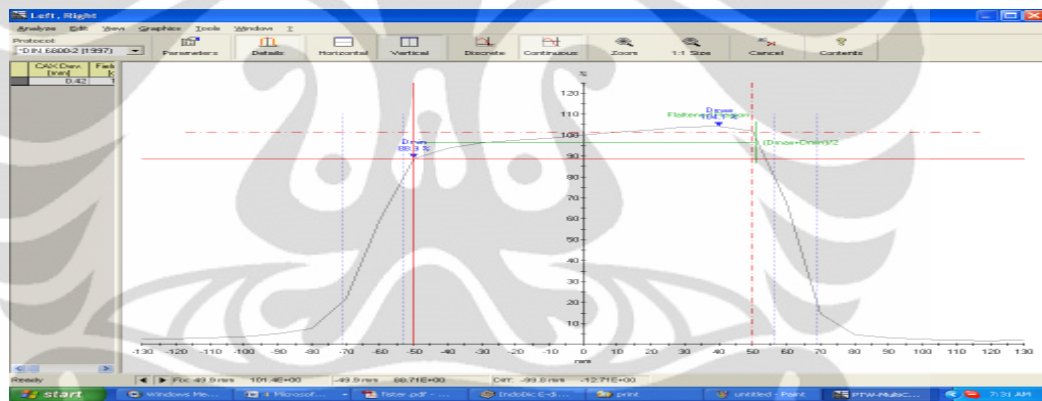


Universitas Indonesia

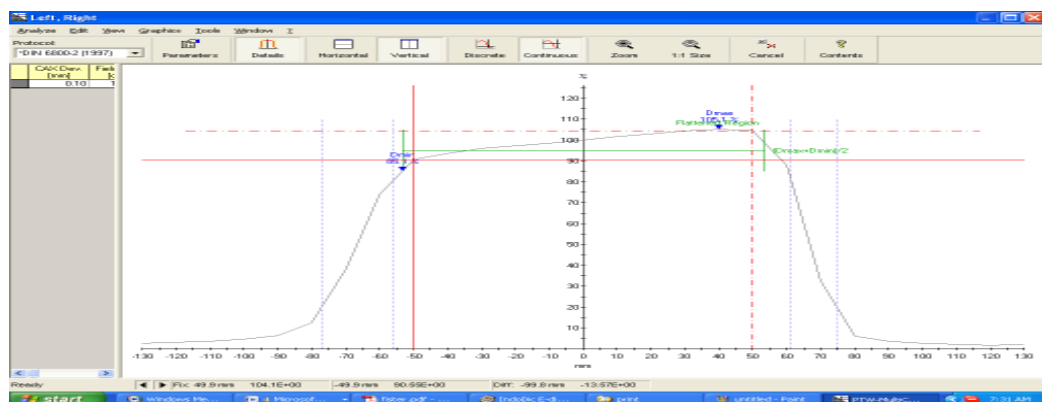
Sudut 30°



Sudut 35°

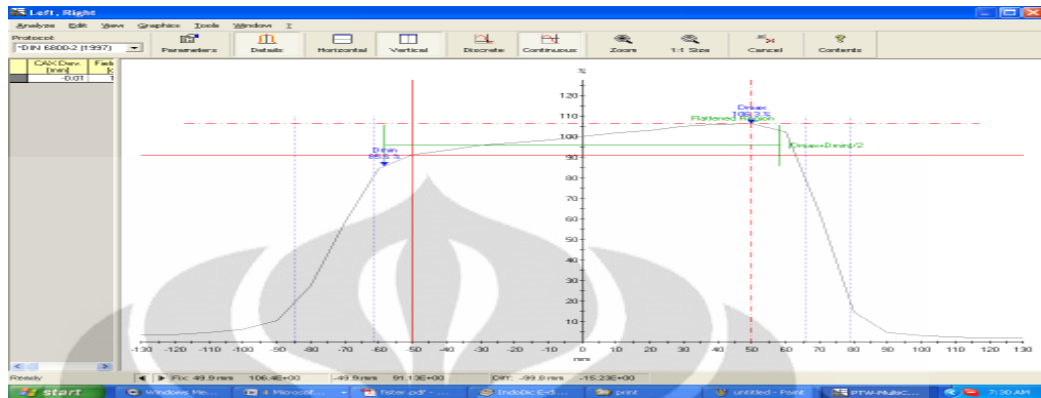


Sudut 40°

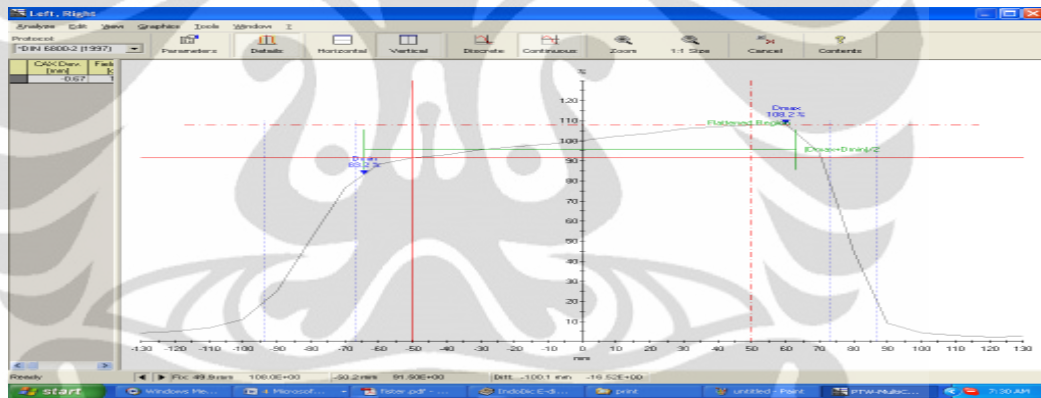


Universitas Indonesia

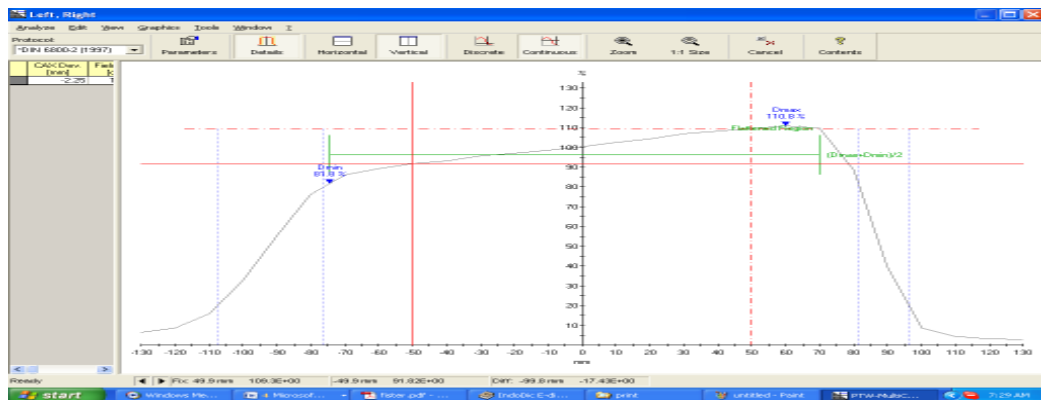
Sudut 45°



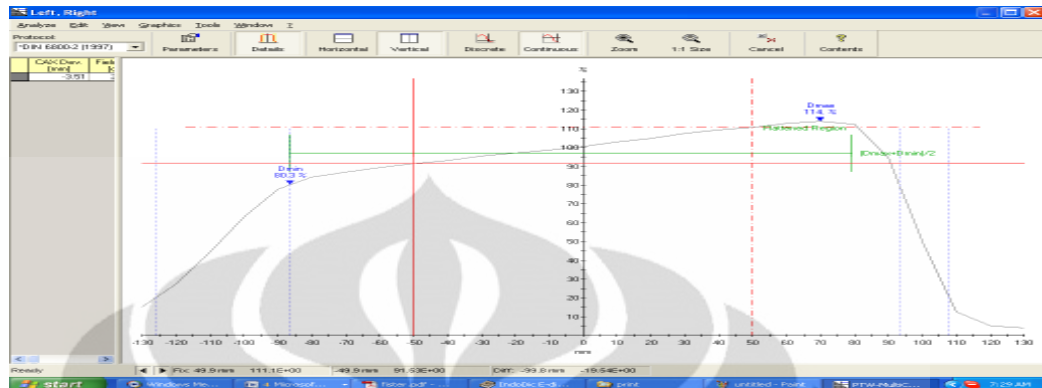
Sudut 50°



Sudut 55°

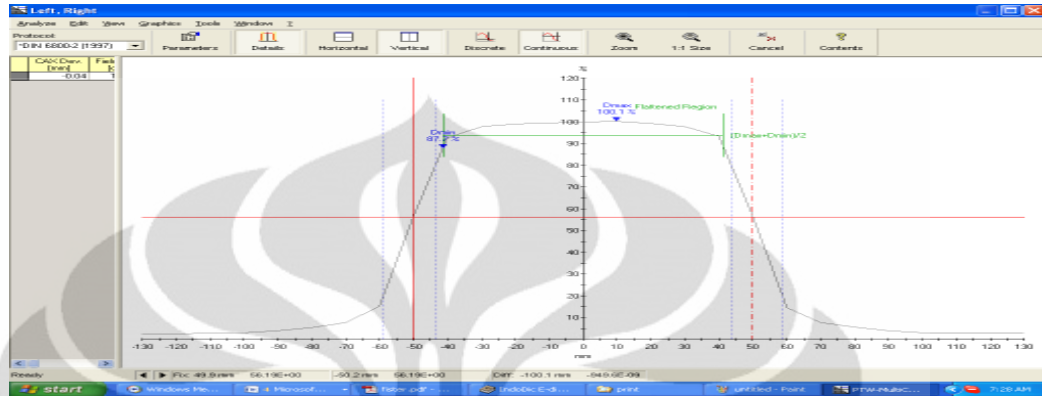


Sudut 60°

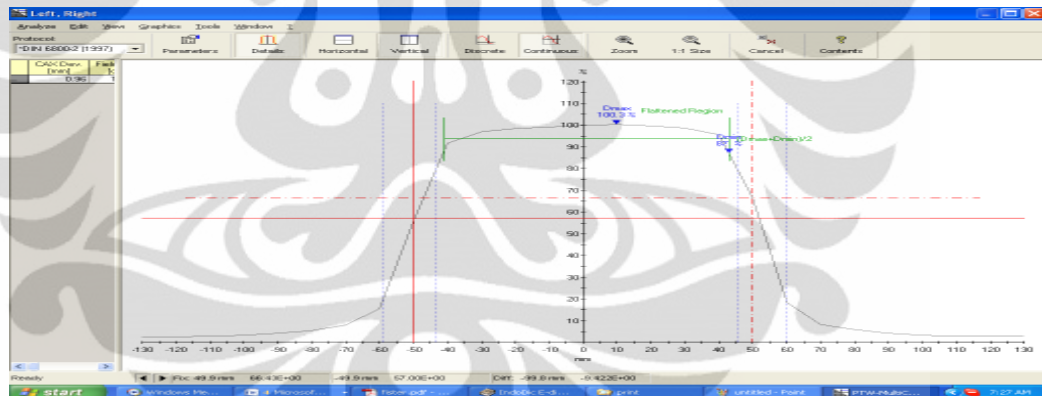


LAMPIRAN II: Kurva profil berkas Co 60 SAD 80cm kedalaman 5cm

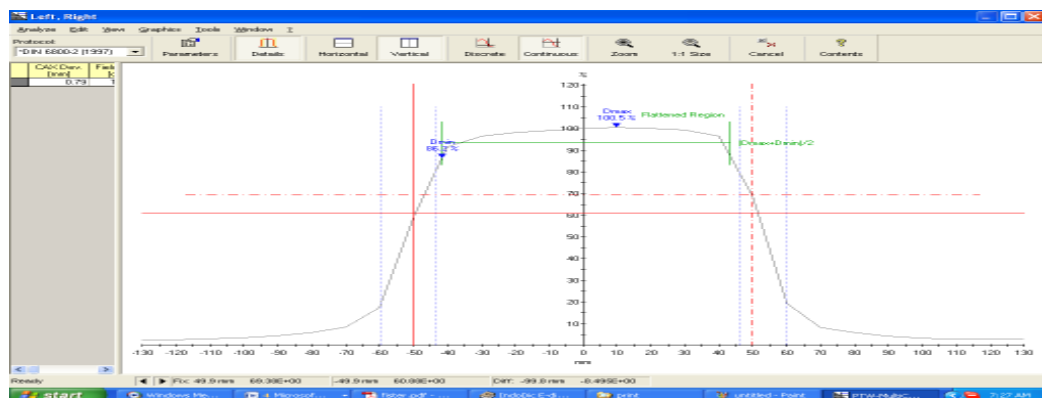
Sudut 0°



Sudut 5°

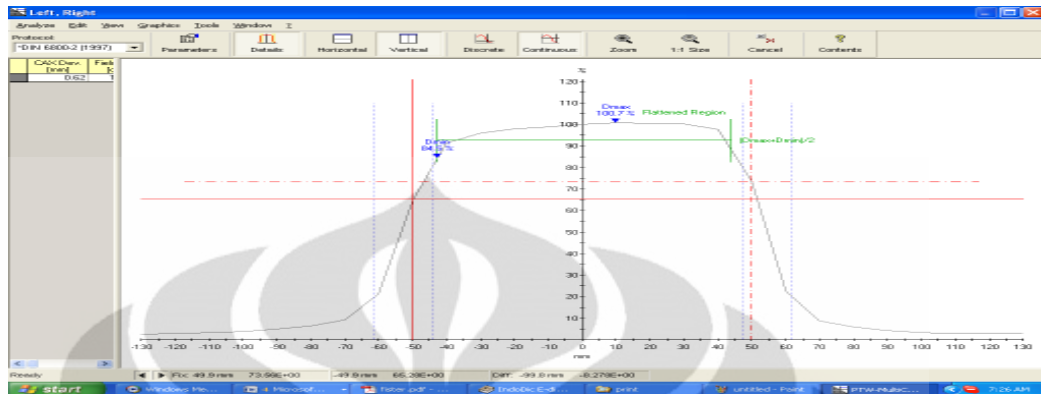


Sudut 10°

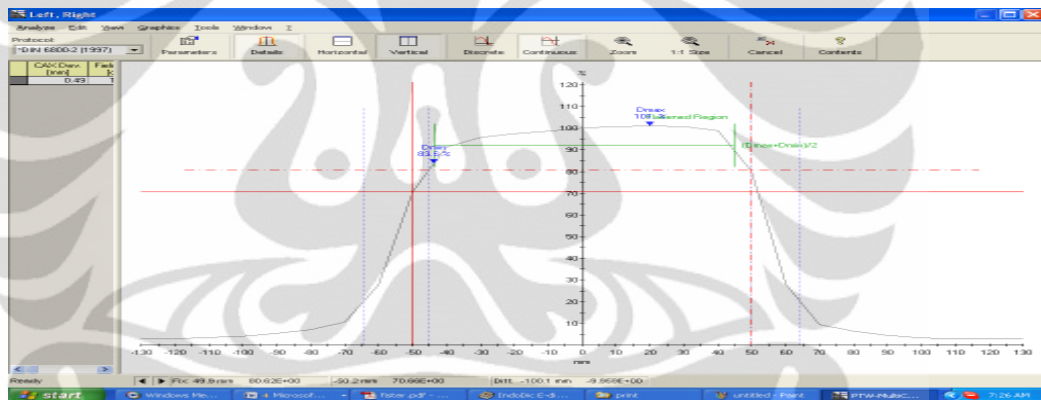


Universitas Indonesia

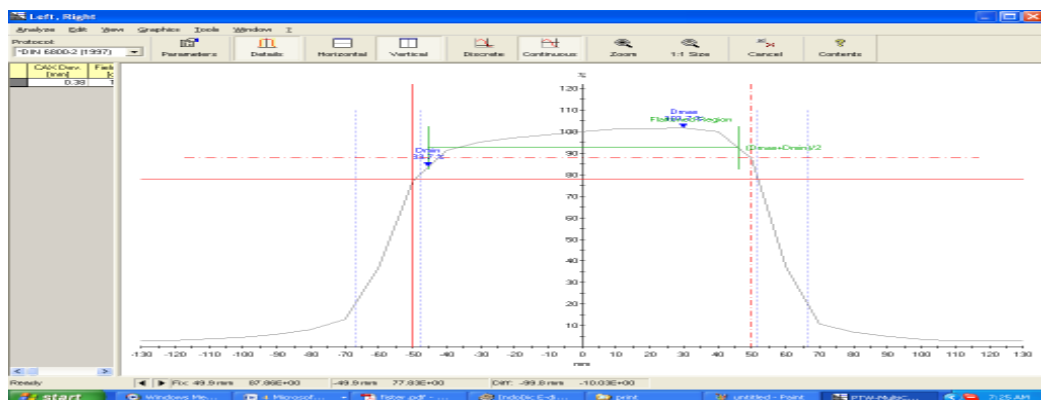
Sudut 15°



Sudut 20°

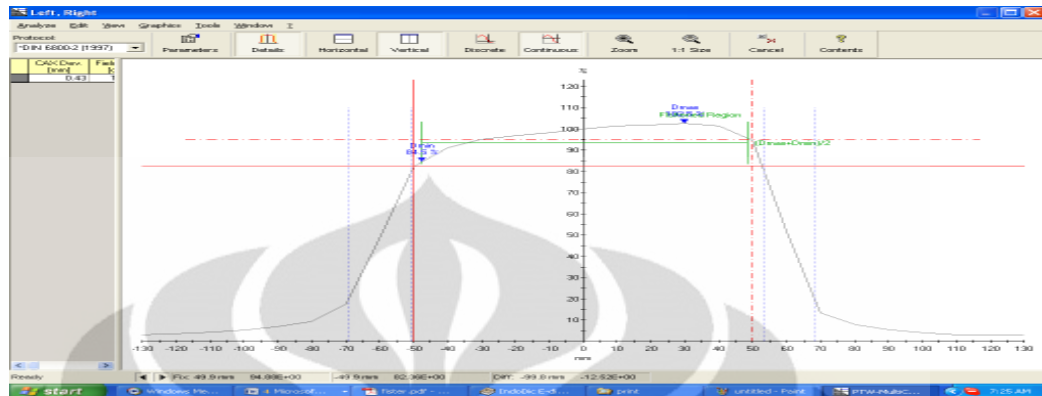


Sudut 25°

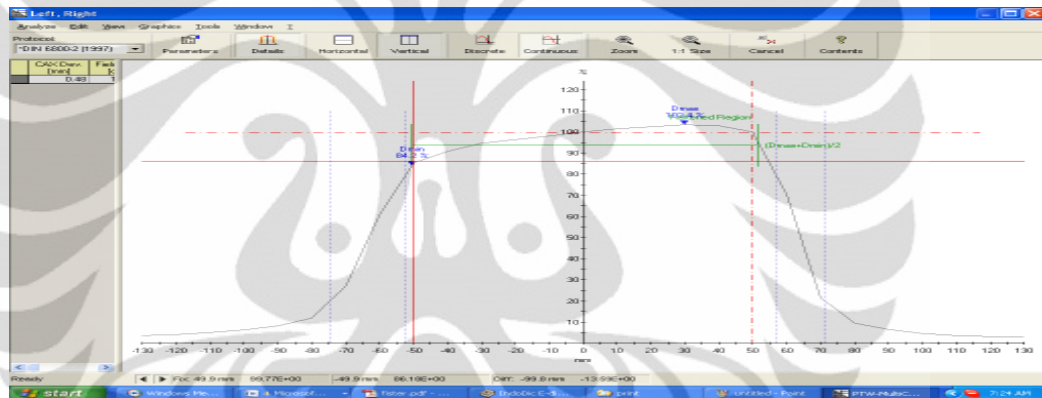


Universitas Indonesia

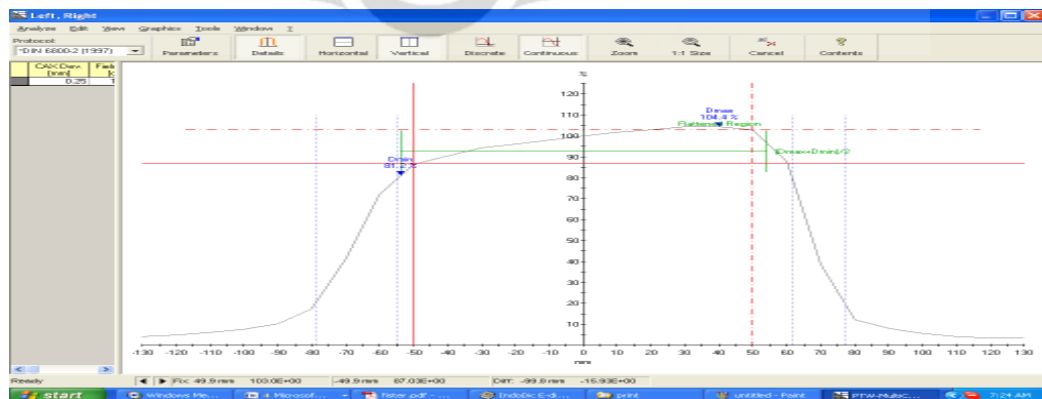
Sudut 30°



Sudut 35°

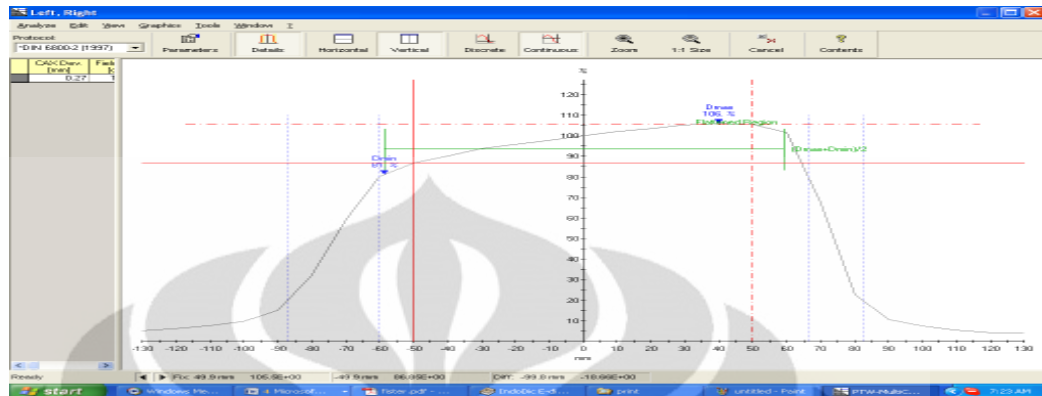


Sudut 40°

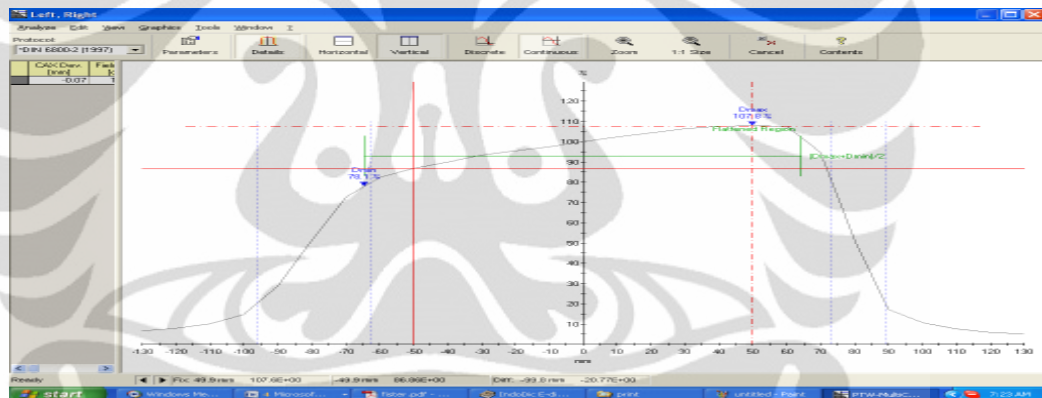


Universitas Indonesia

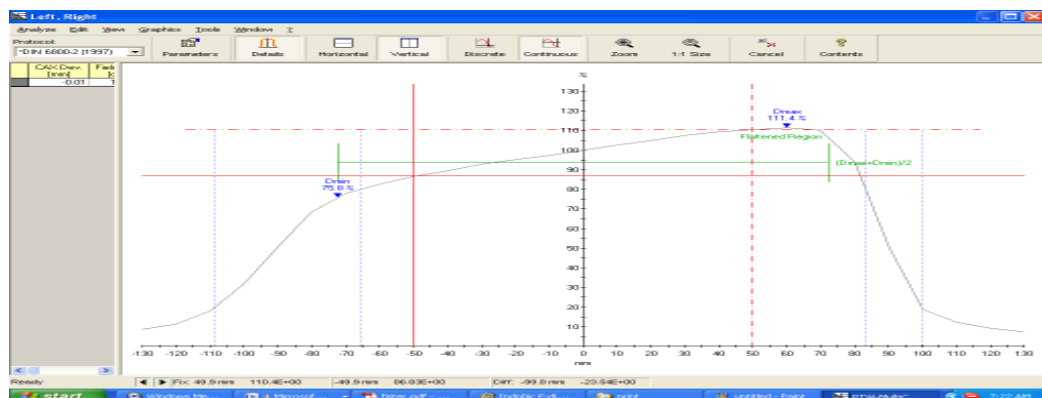
Sudut 45°



Sudut 50°

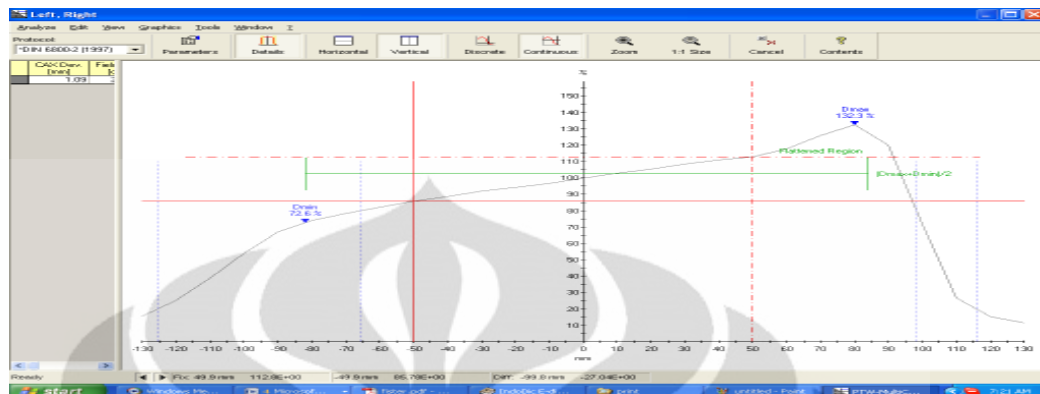


Sudut 55°



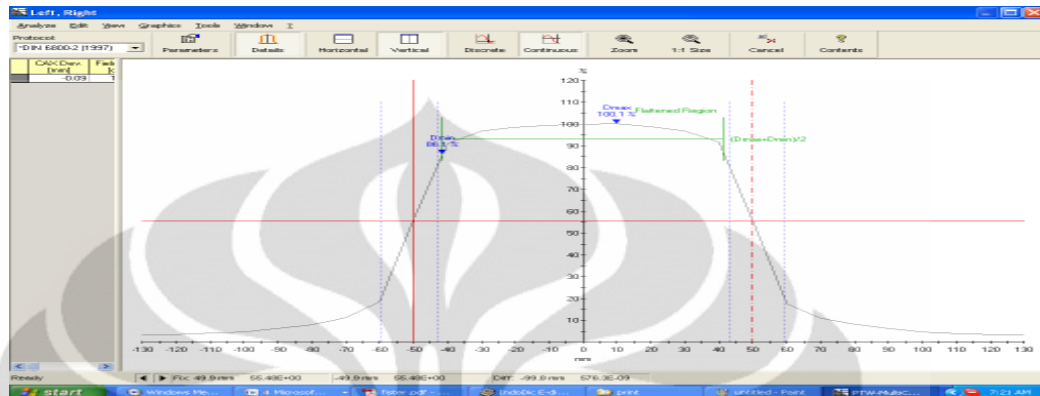
Universitas Indonesia

Sudut 60°

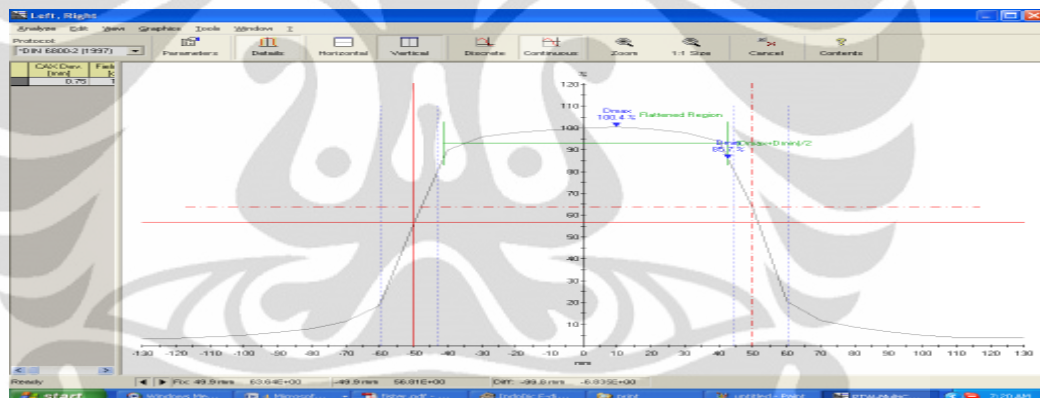


LAMPIRAN III: Kurva profil berkas Co 60 SAD 80cm kedalaman 10cm

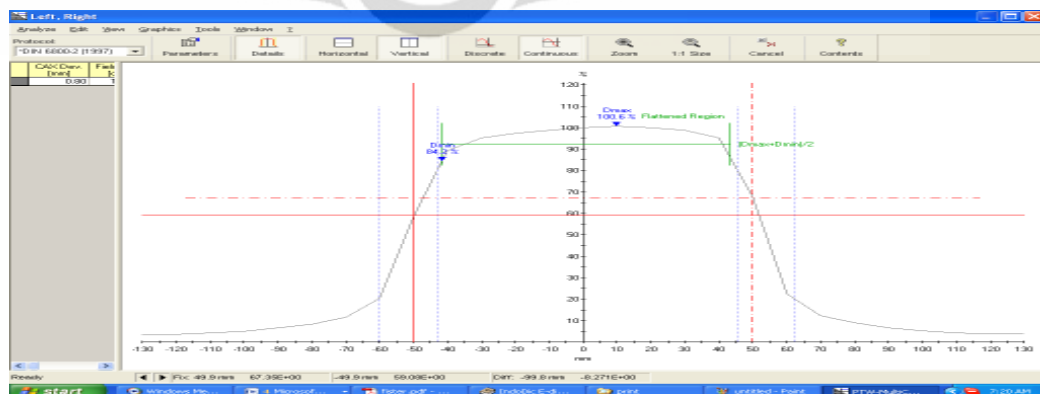
Sudut 0°



Sudut 5°

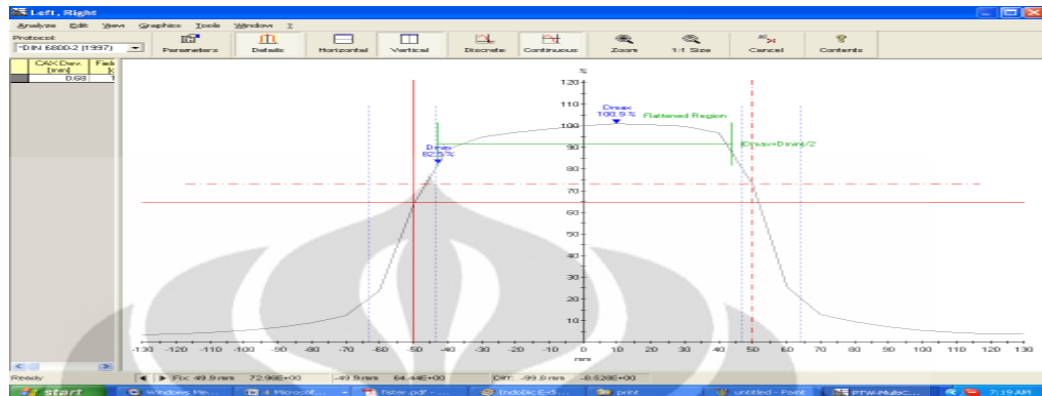


Sudut 10°

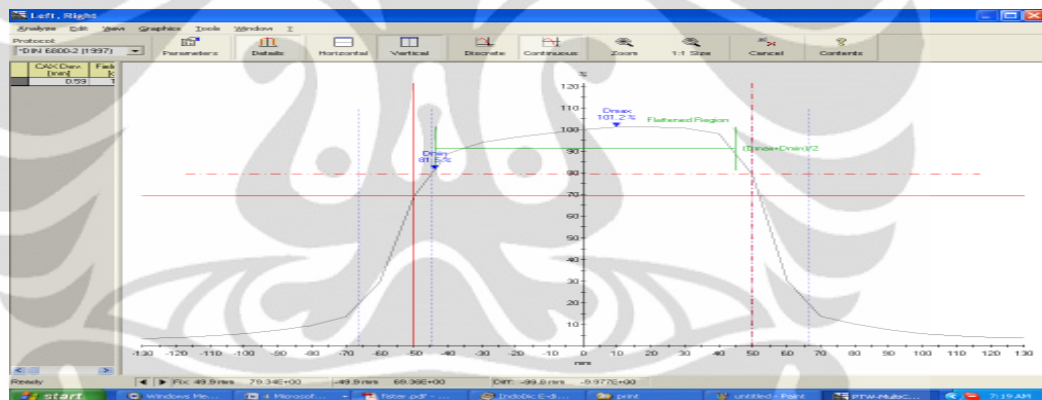


Universitas Indonesia

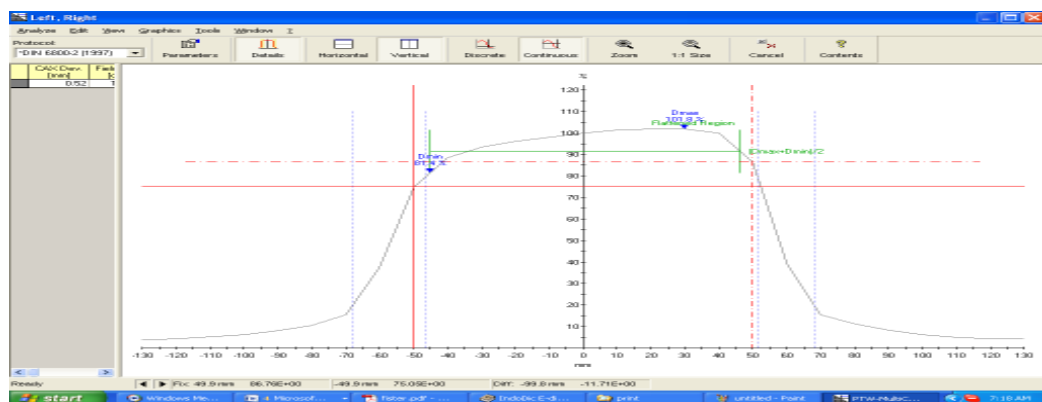
Sudut 15°



Sudut 20°

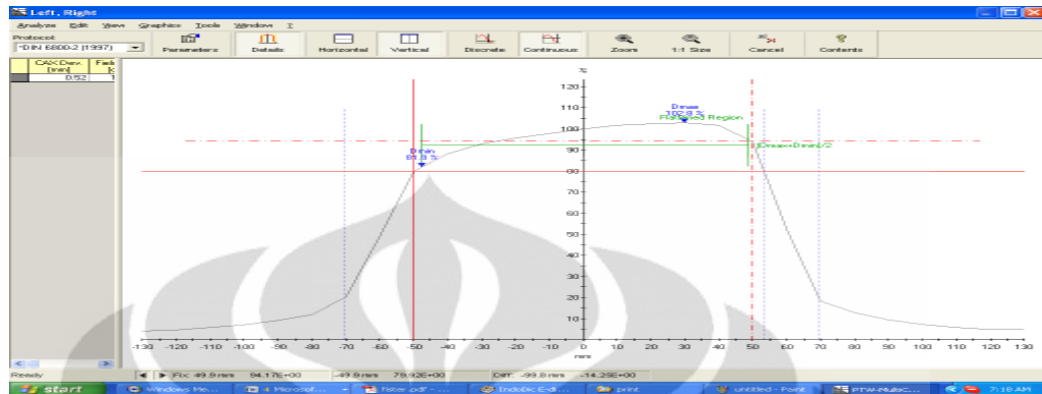


Sudut 25°

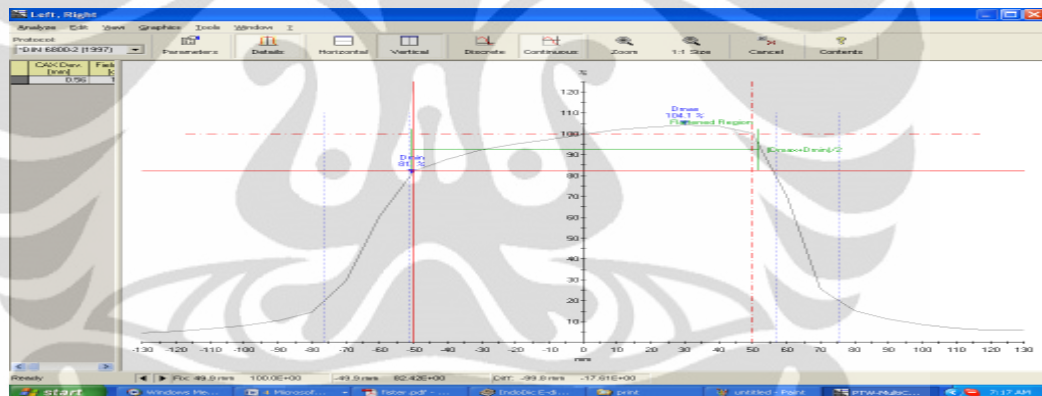


Universitas Indonesia

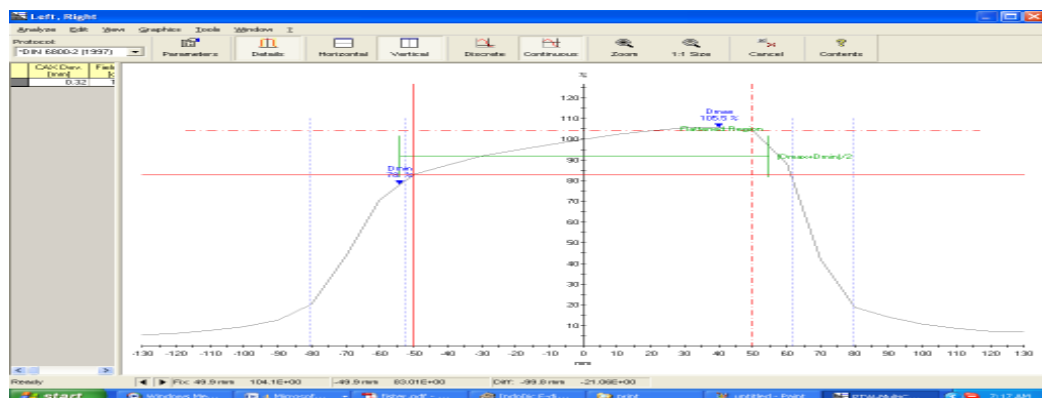
Sudut 30°



Sudut 35°

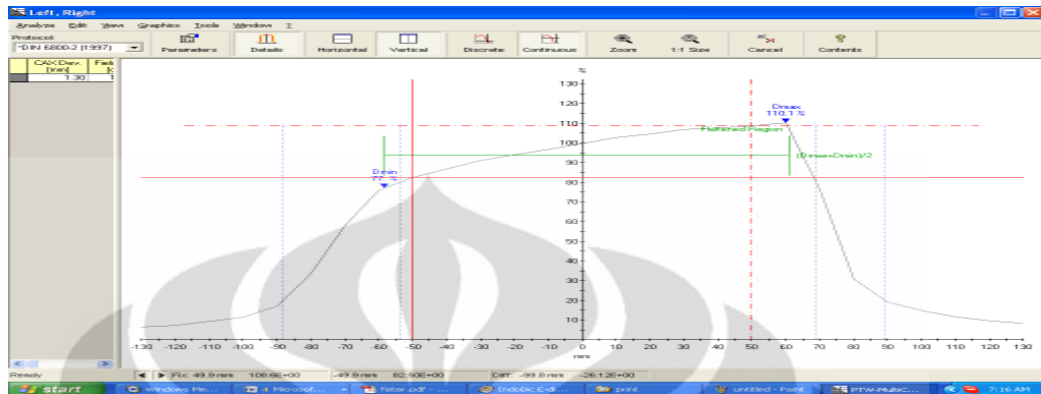


Sudut 40°

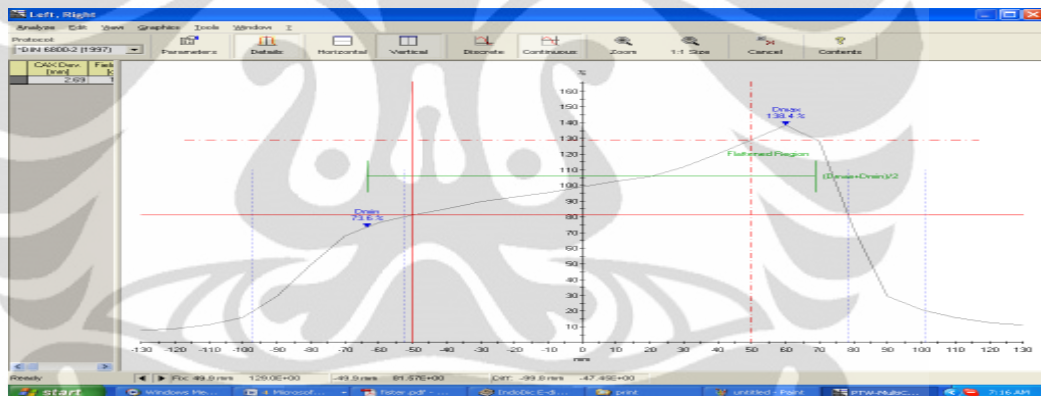


Universitas Indonesia

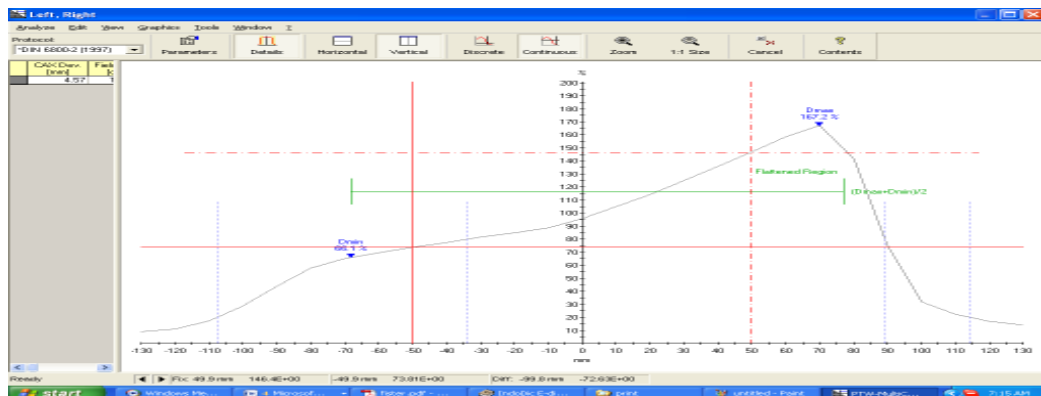
Sudut 45°



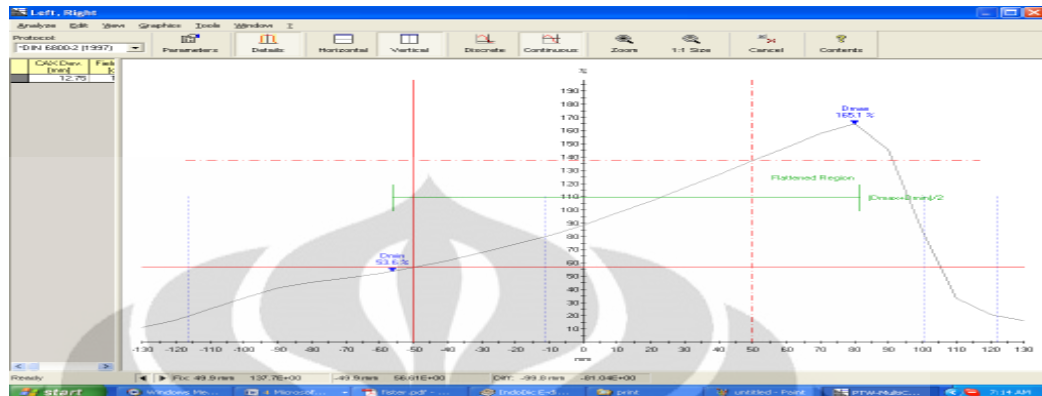
Sudut 50°



Sudut 55°

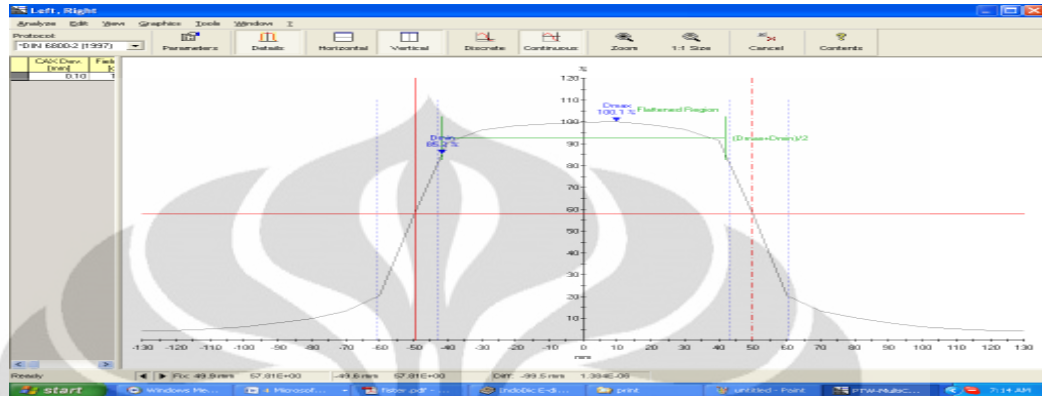


Sudut 60°

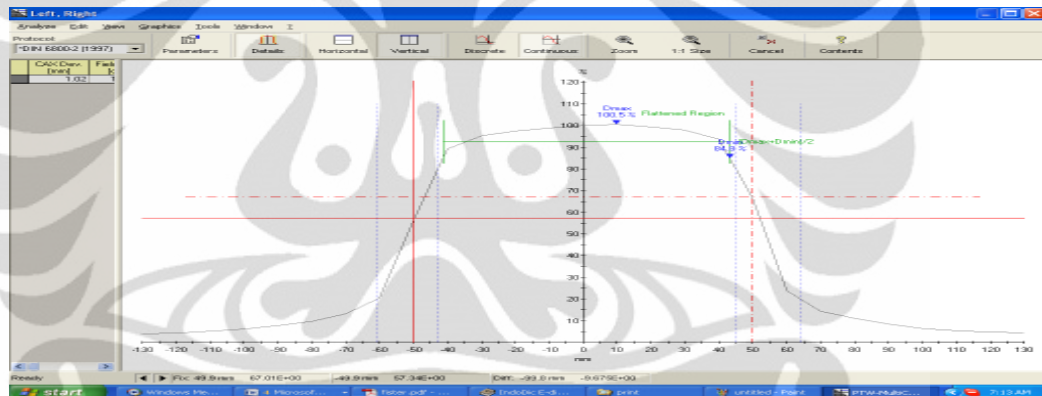


LAMPIRAN IV: Kurva profil berkas Co 60 SAD 80cm kedalaman 15cm

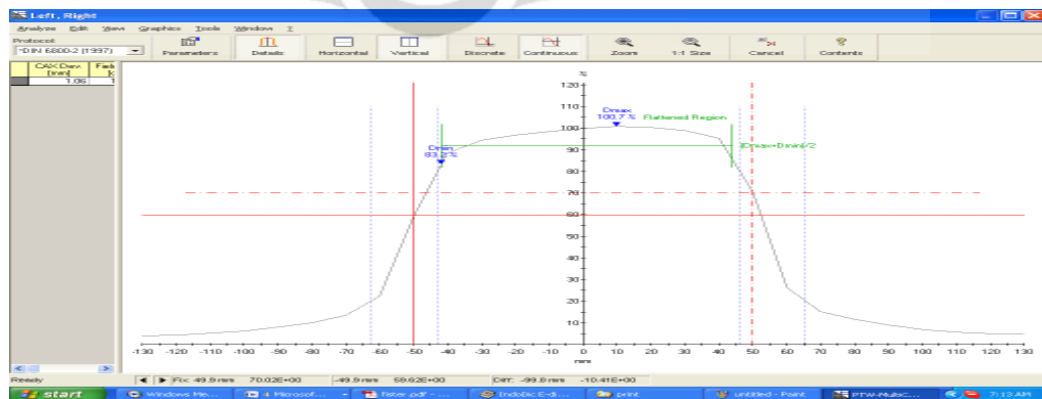
Sudut 0°



Sudut 5°

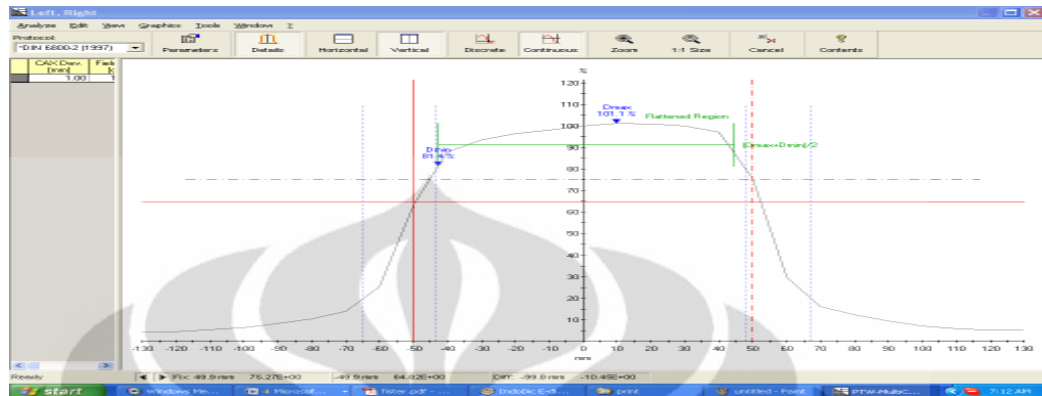


Sudut 10°

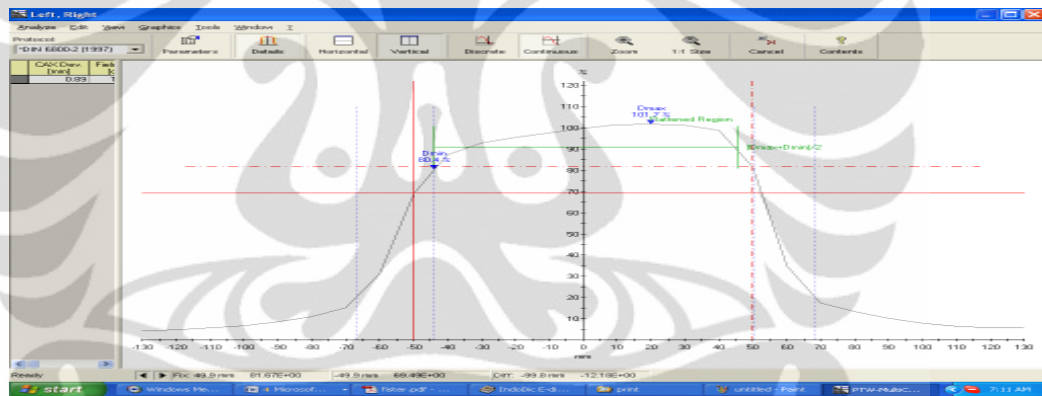


Universitas Indonesia

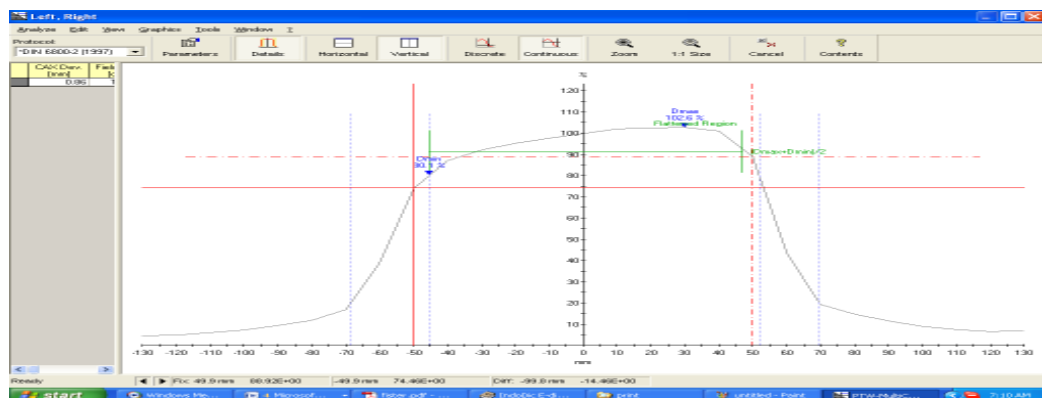
Sudut 15°



Sudut 20°

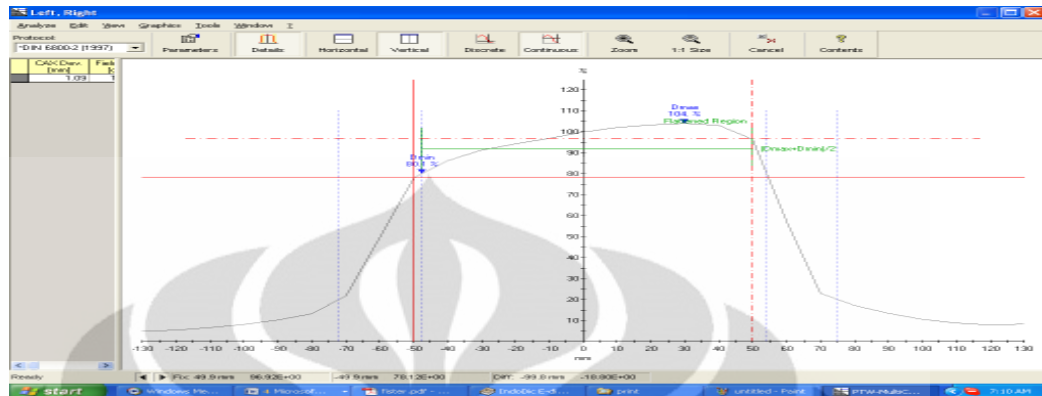


Sudut 25°

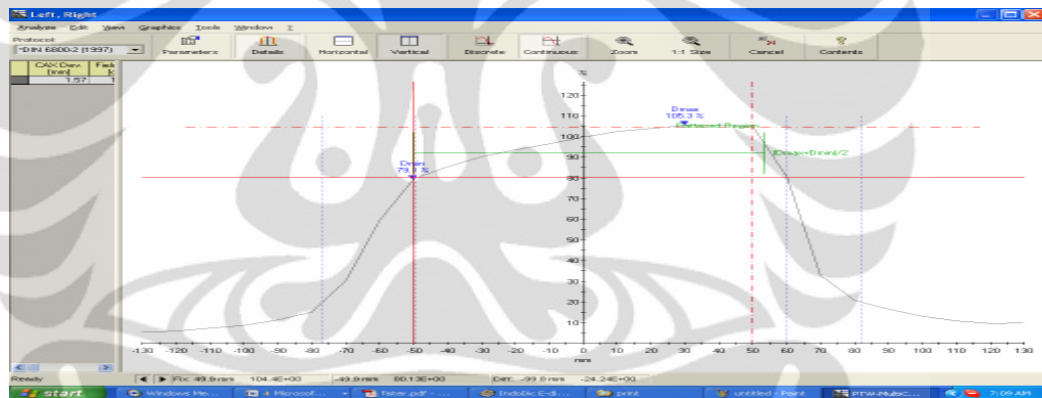


Universitas Indonesia

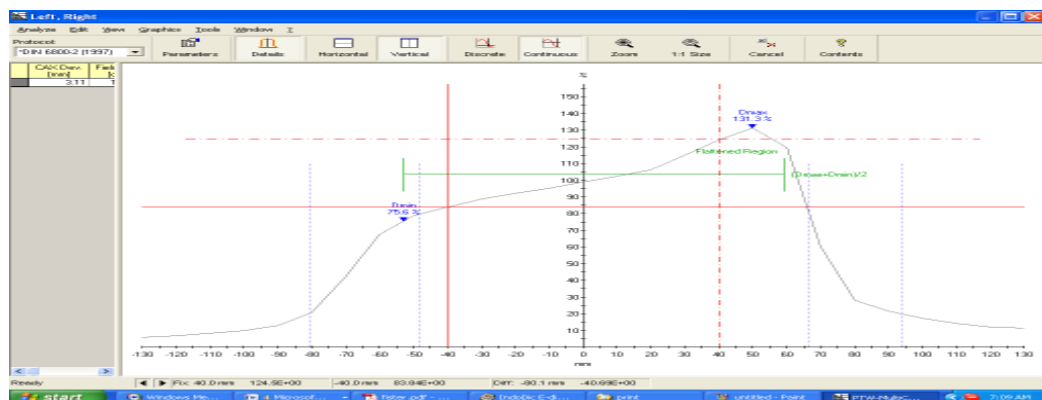
Sudut 30°



Sudut 35°

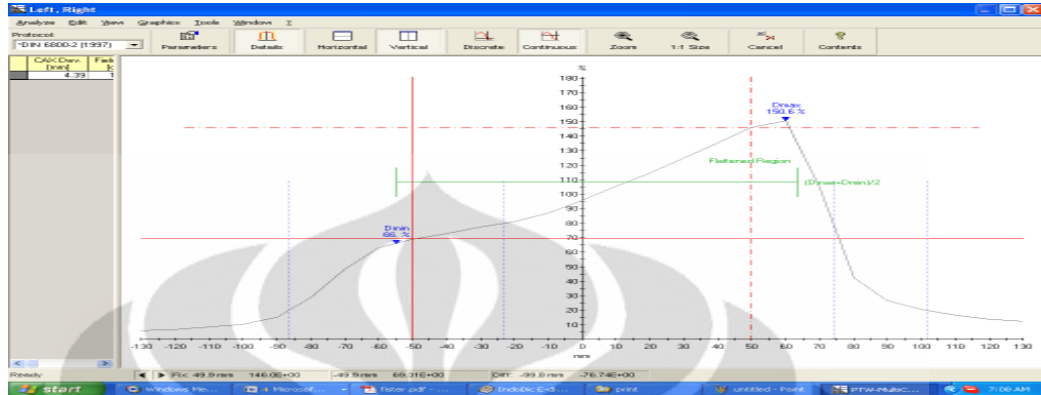


Sudut 40°

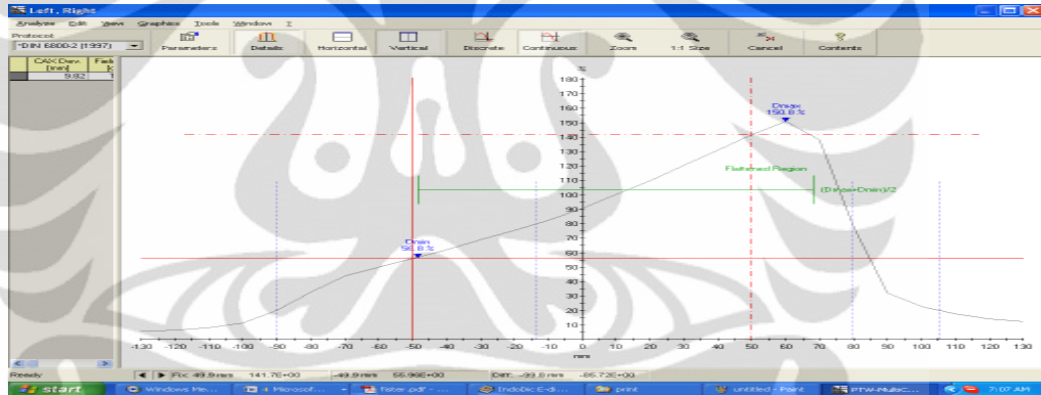


Universitas Indonesia

Sudut 45°



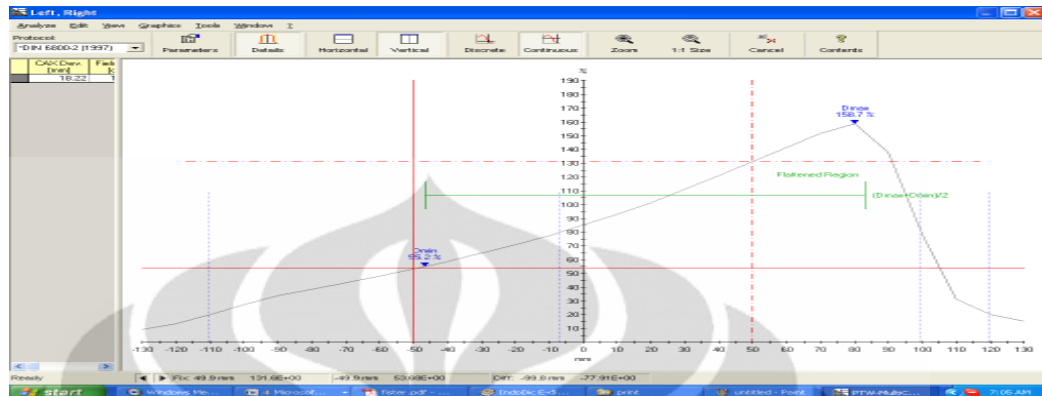
Sudut 50°



Sudut 55°

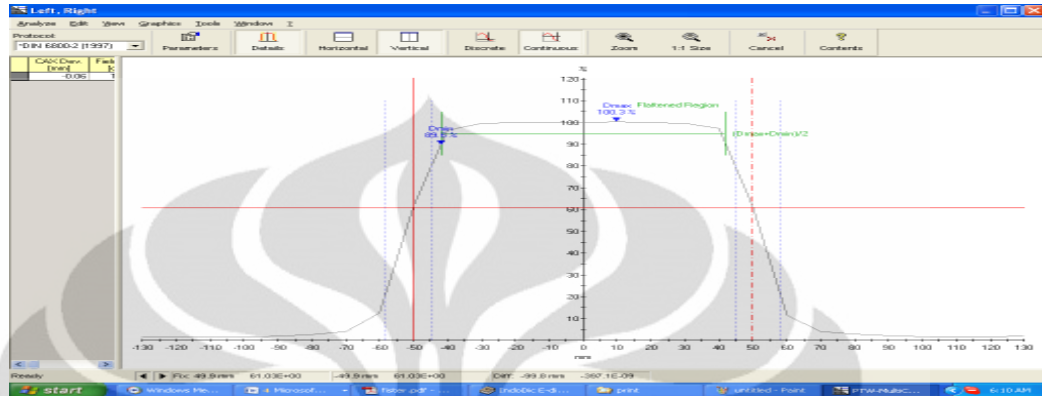


Sudut 60°

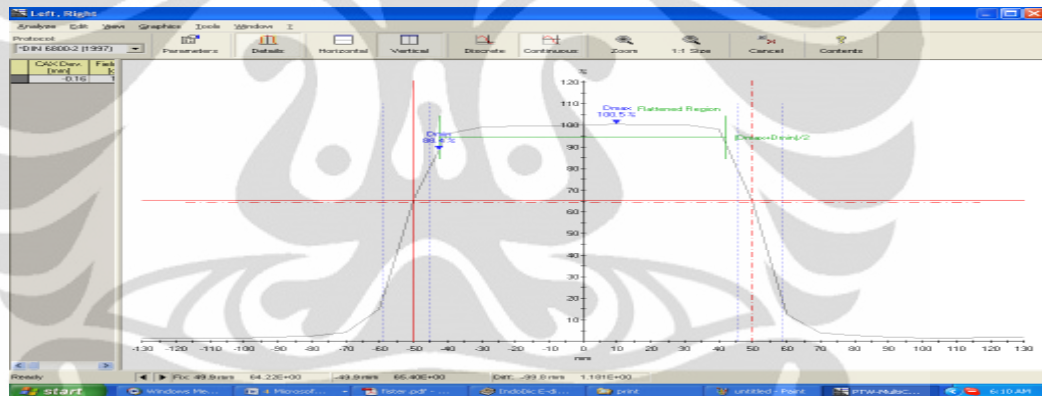


LAMPIRAN V: Kurva profil berkas Co 60 SSD 80cm kedalaman 0,75cm

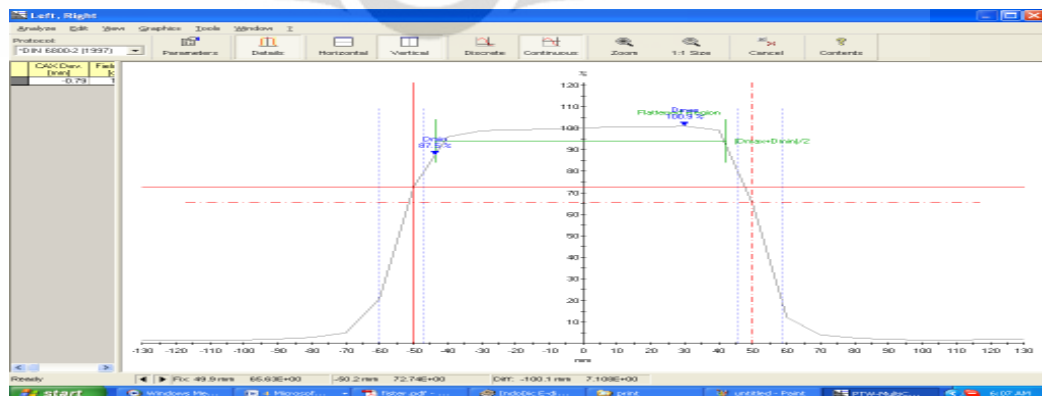
Sudut 0°



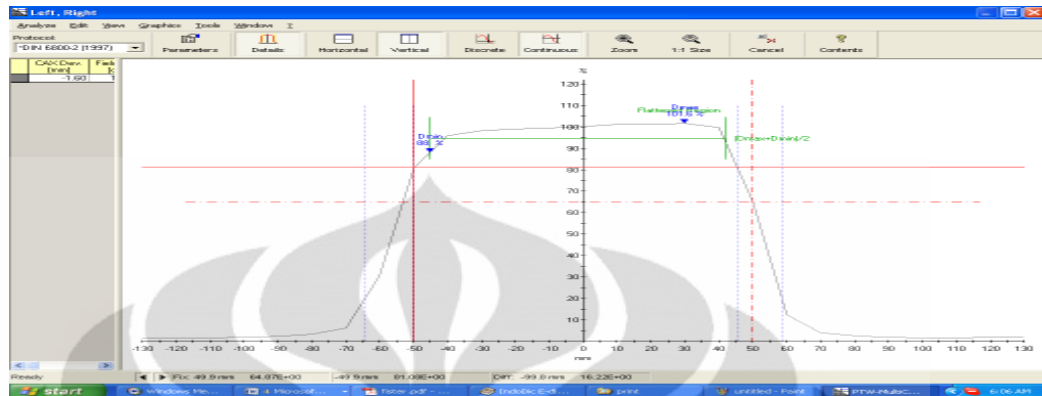
Sudut 5°



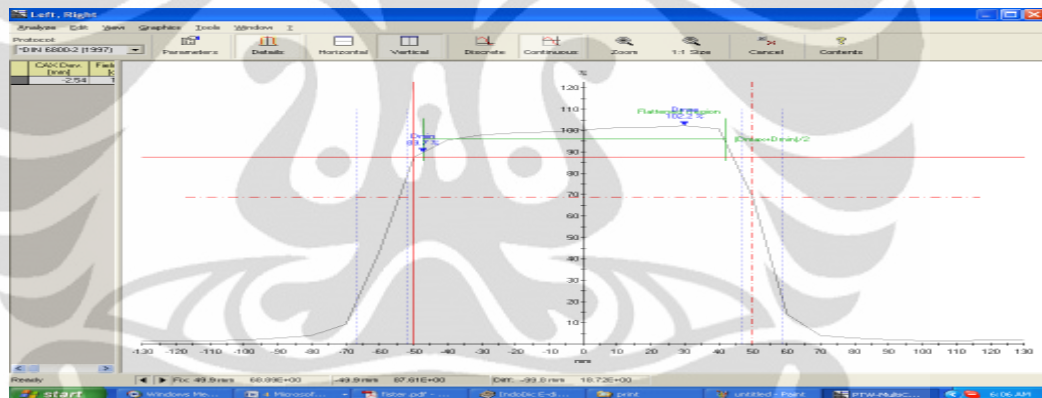
Sudut 10°



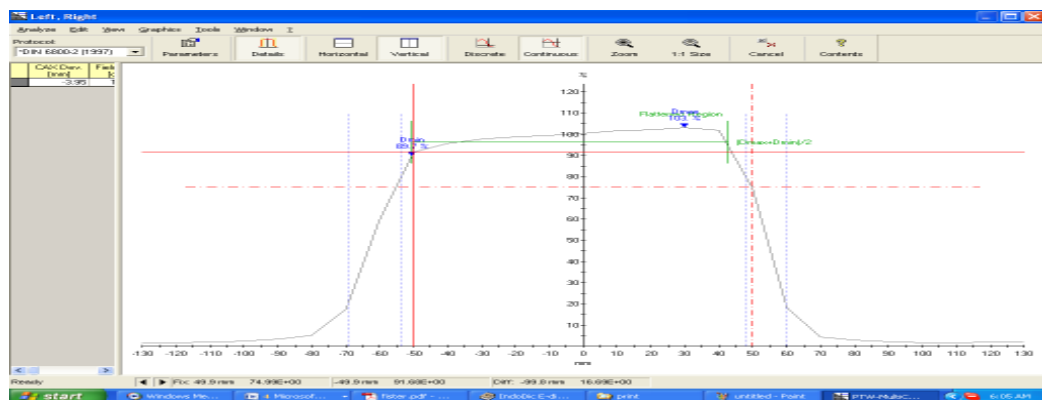
Sudut 15°



Sudut 20°

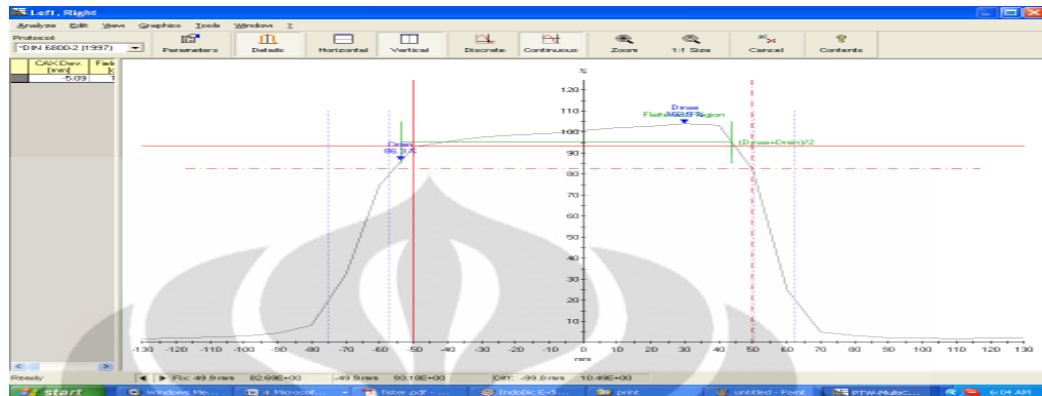


Sudut 25°

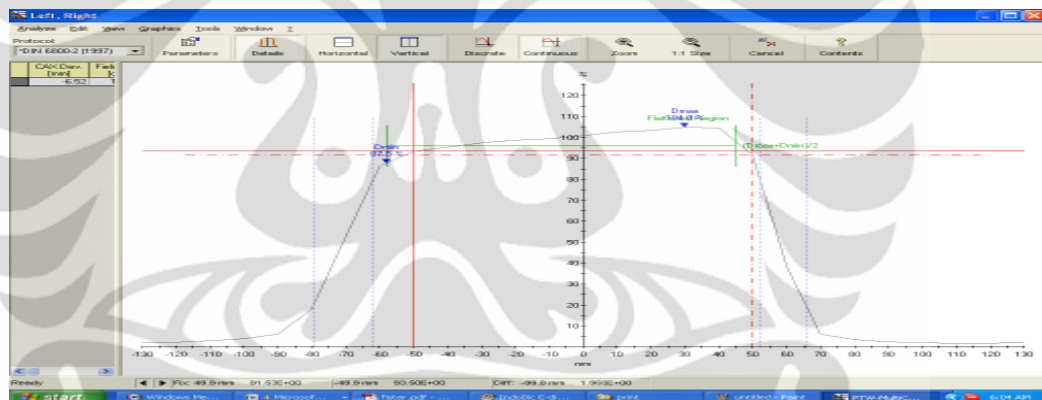


Universitas Indonesia

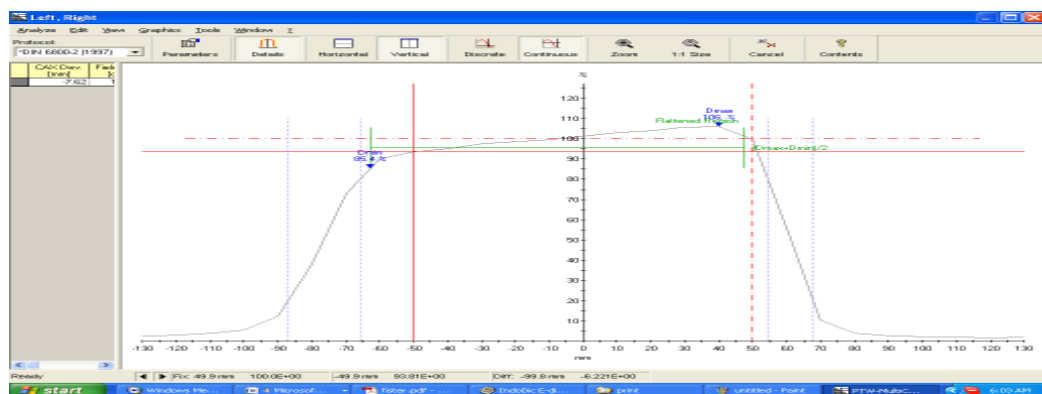
Sudut 30°



Sudut 35°

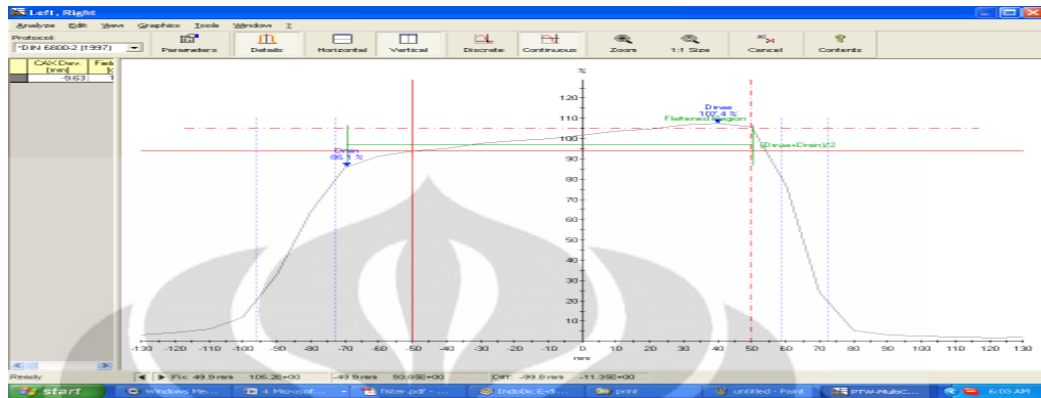


Sudut 40°

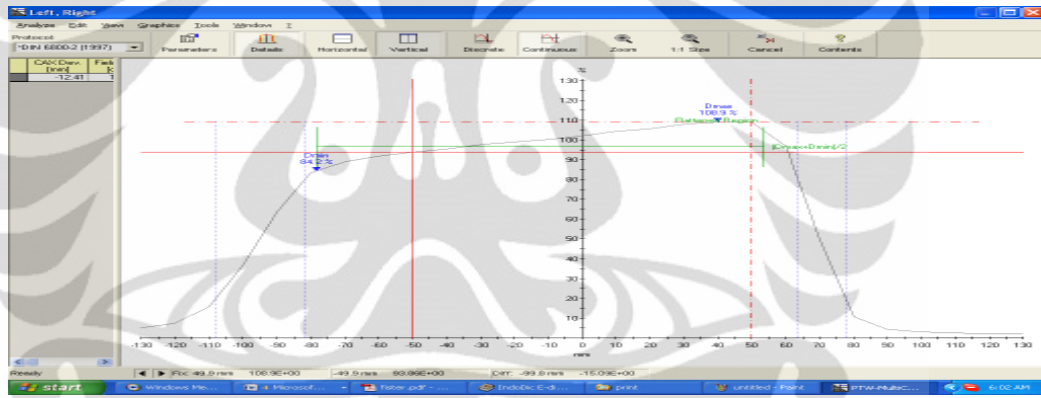


Universitas Indonesia

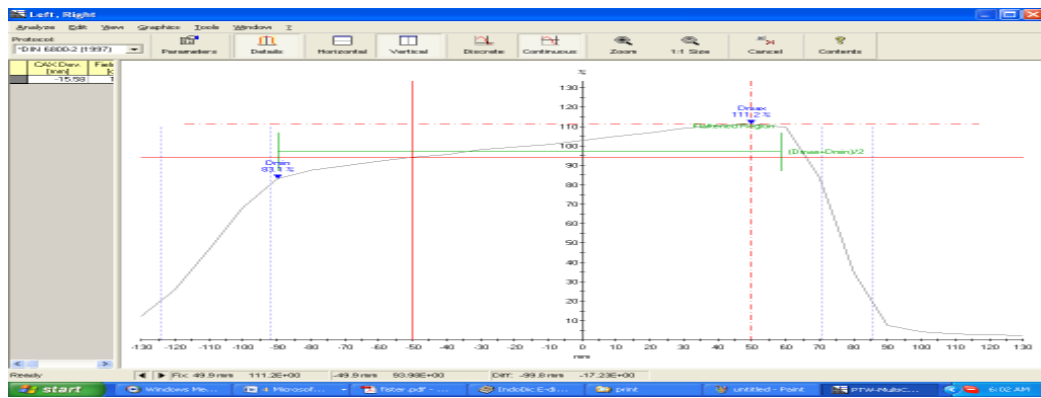
Sudut 45°



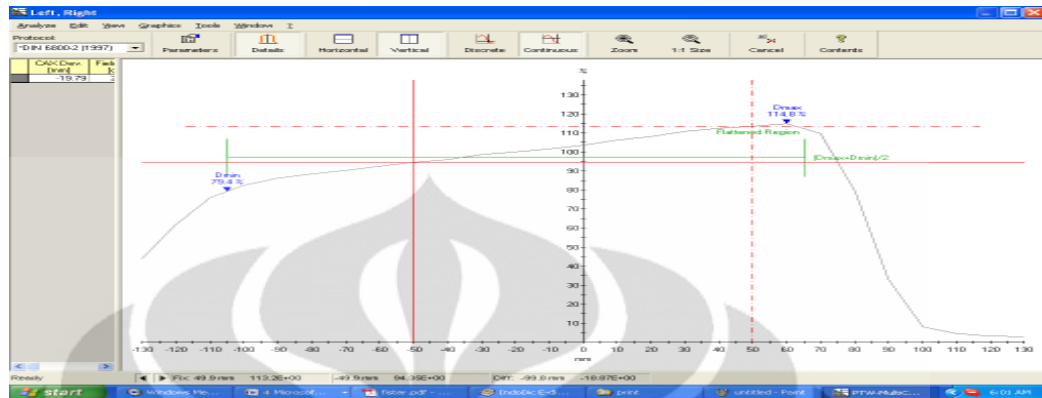
Sudut 50°



Sudut 55°

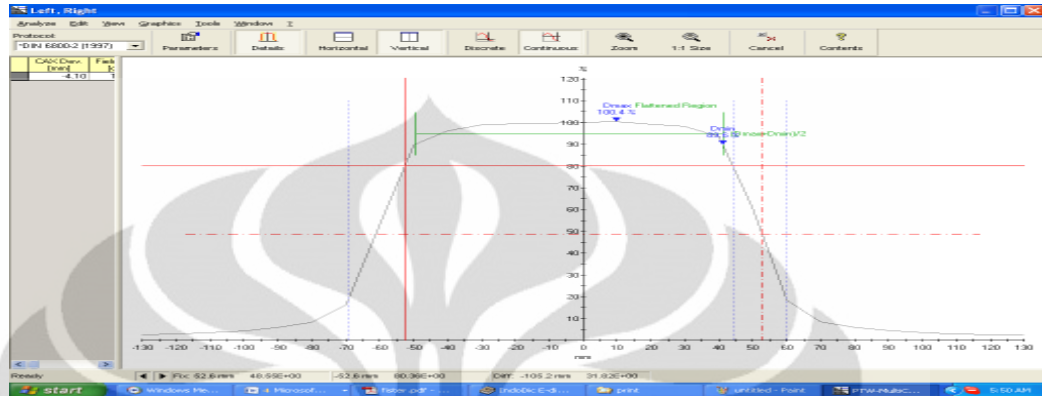


Sudut 60°

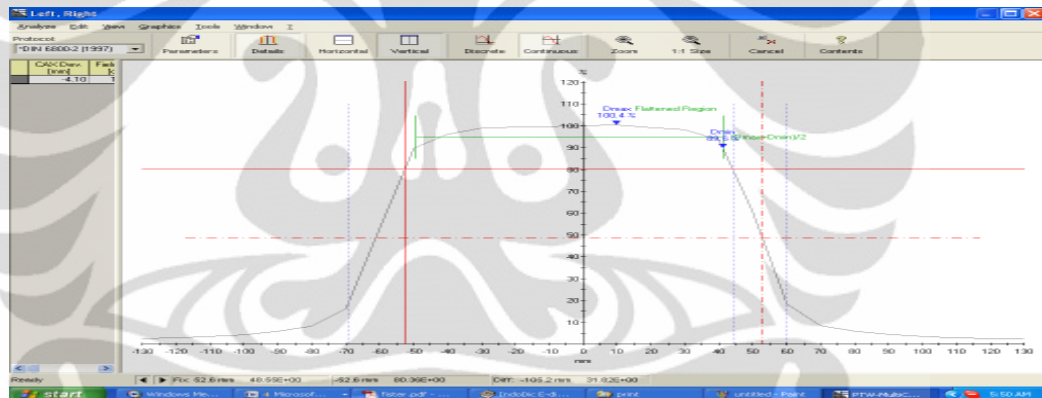


LAMPIRAN VI: Kurva profil berkas Co 60 SSD 80cm kedalaman 5cm

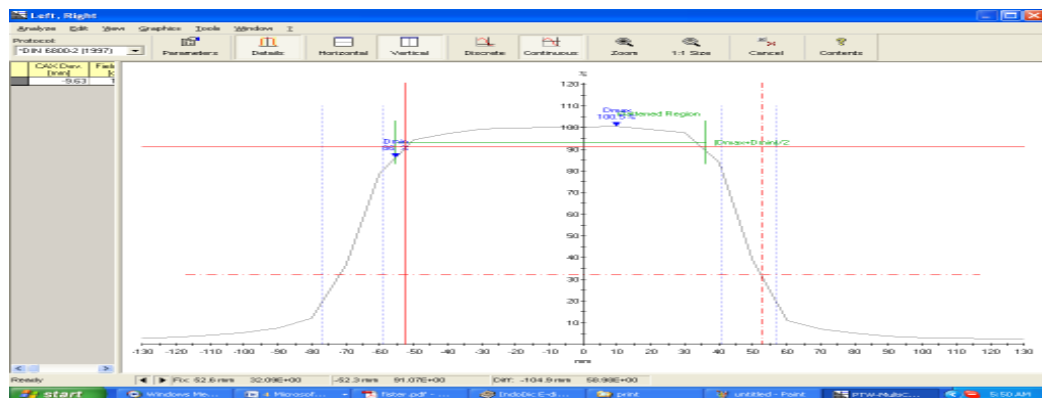
Sudut 0°



Sudut 5°

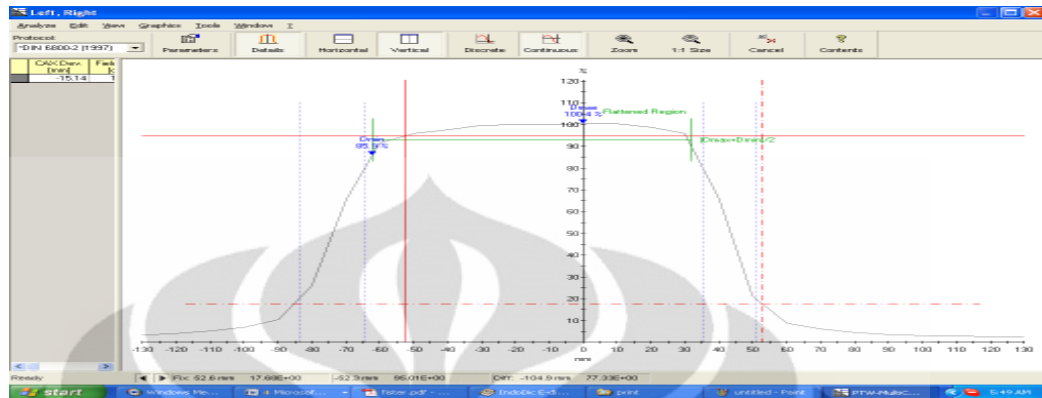


Sudut 10°

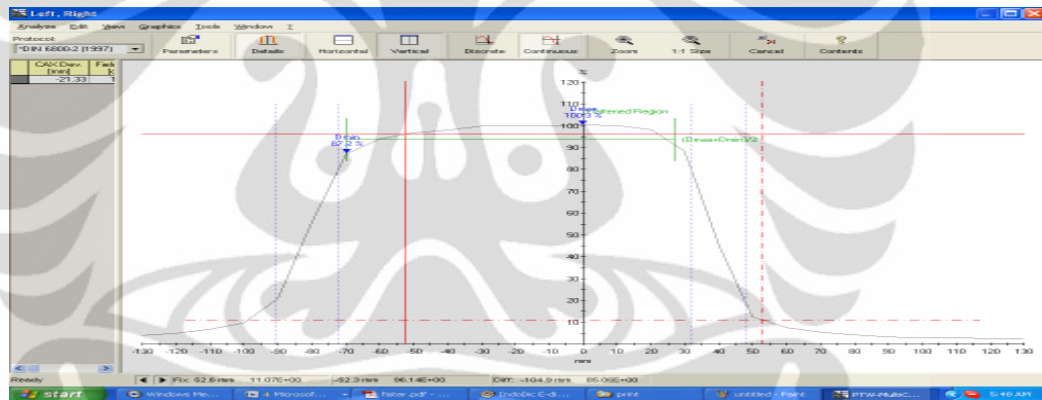


Universitas Indonesia

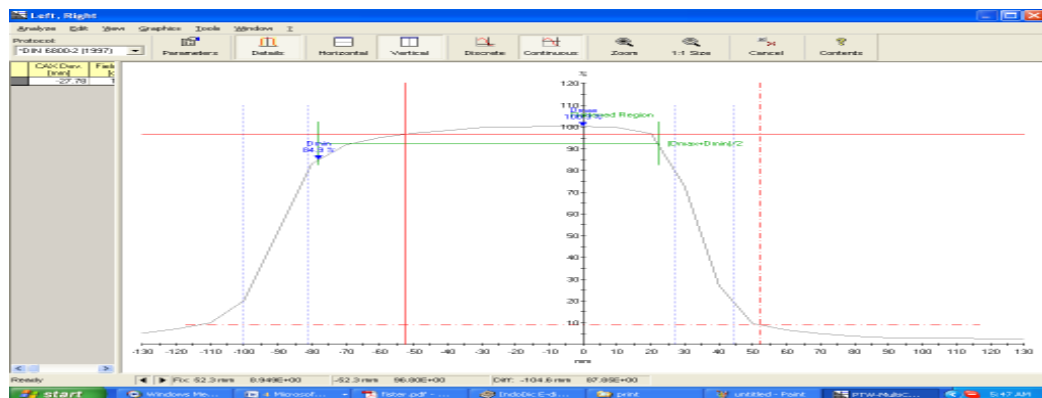
Sudut 15°



Sudut 20°

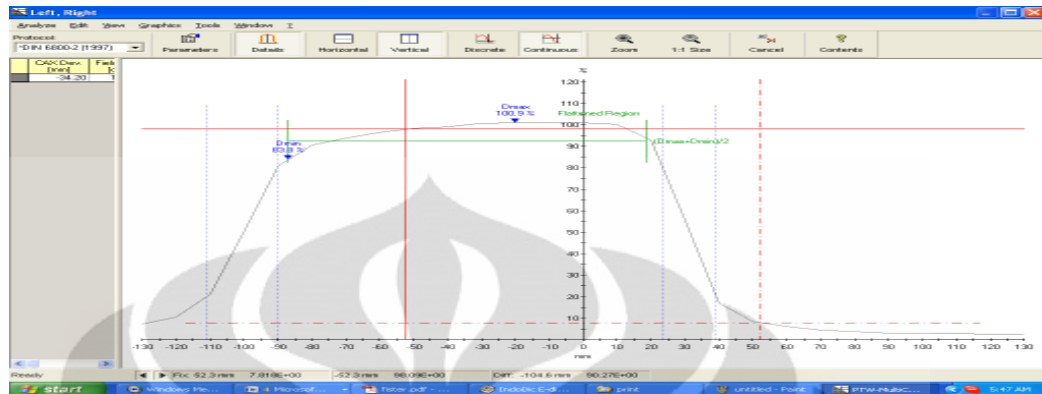


Sudut 25°

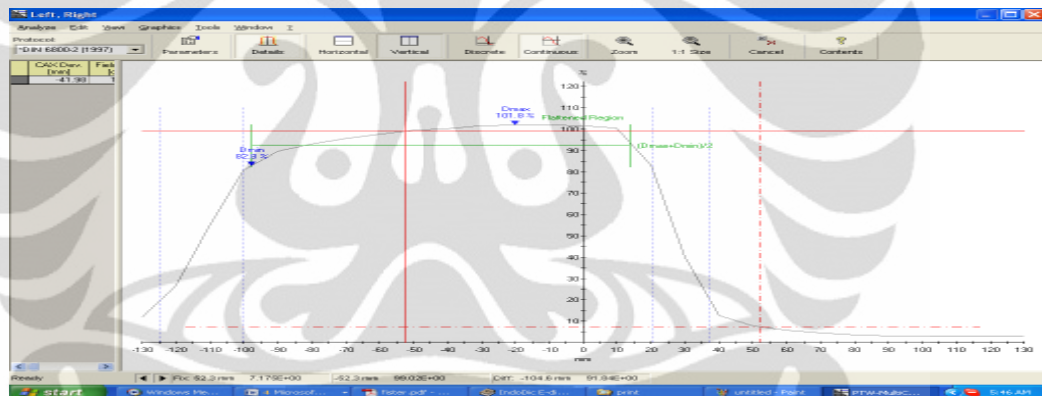


Universitas Indonesia

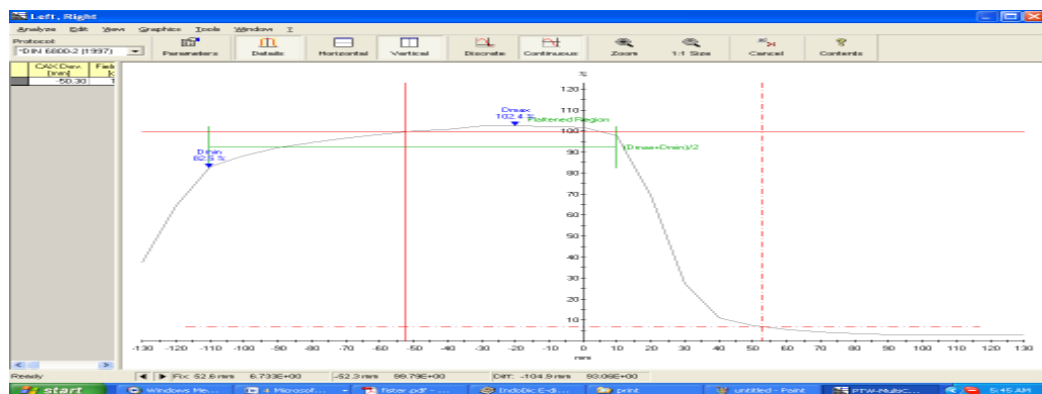
Sudut 30°



Sudut 35°



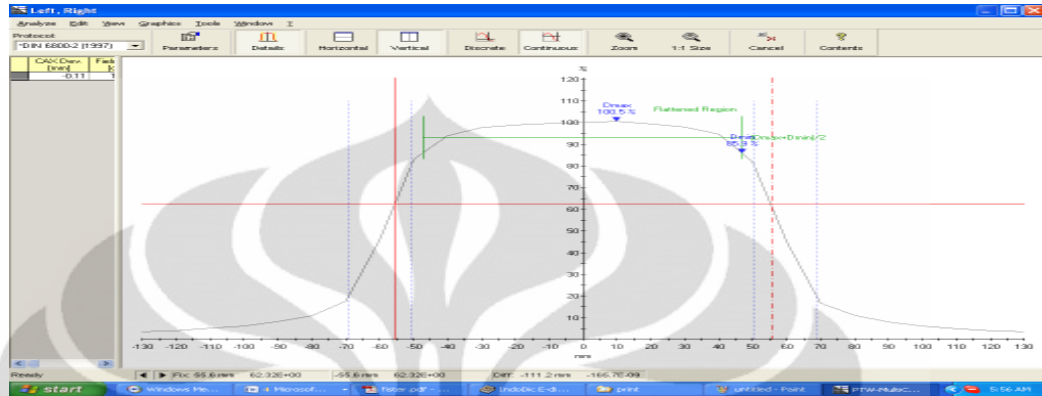
Sudut 40°



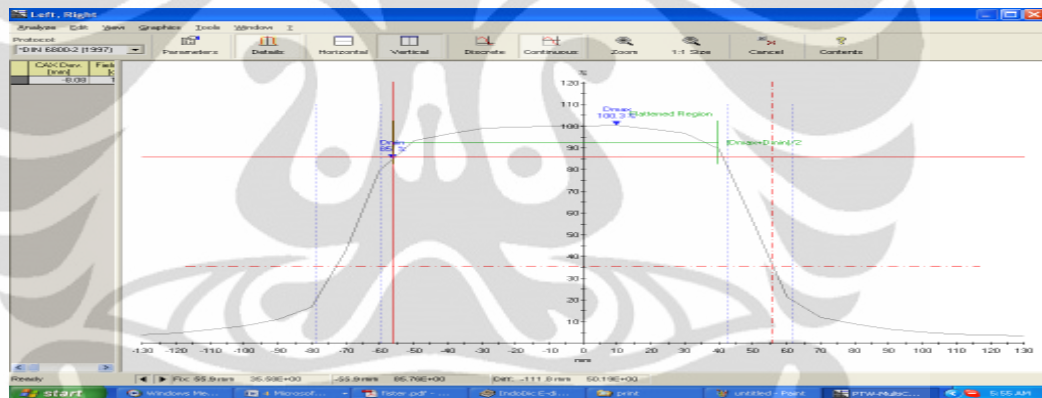
Universitas Indonesia

LAMPIRAN VII: Kurva profil berkas Co 60 SSD 80cm kedalaman 10cm

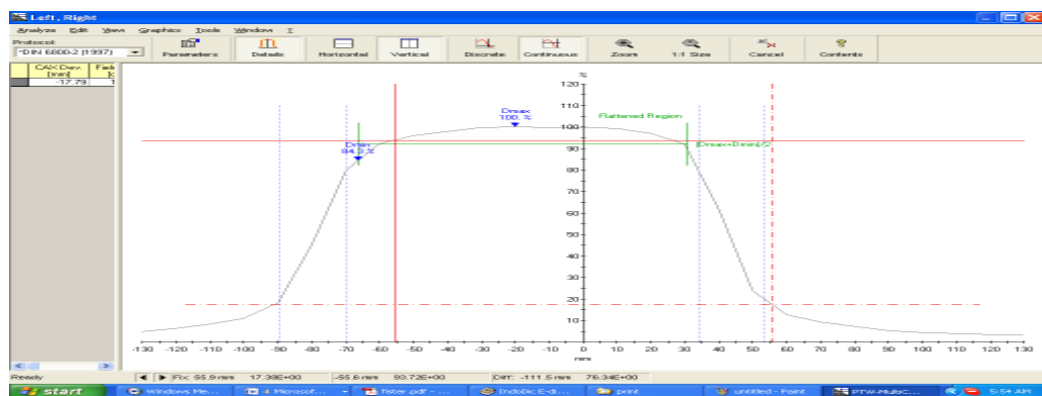
Sudut 0°



Sudut 5°

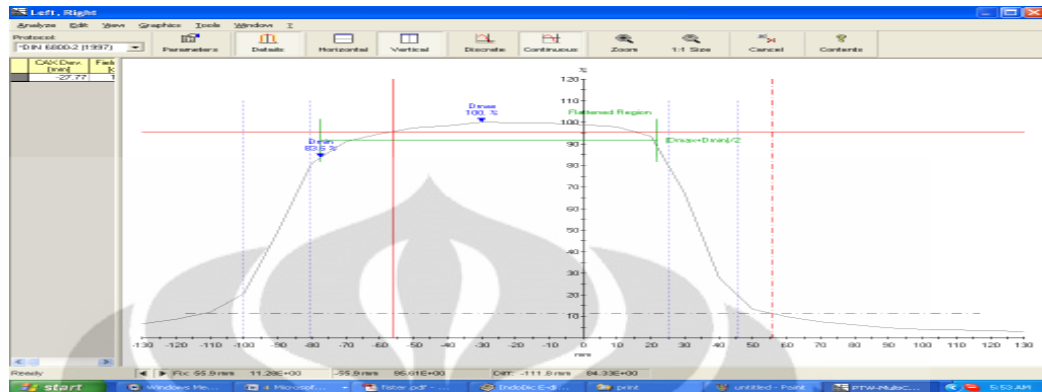


Sudut 10°

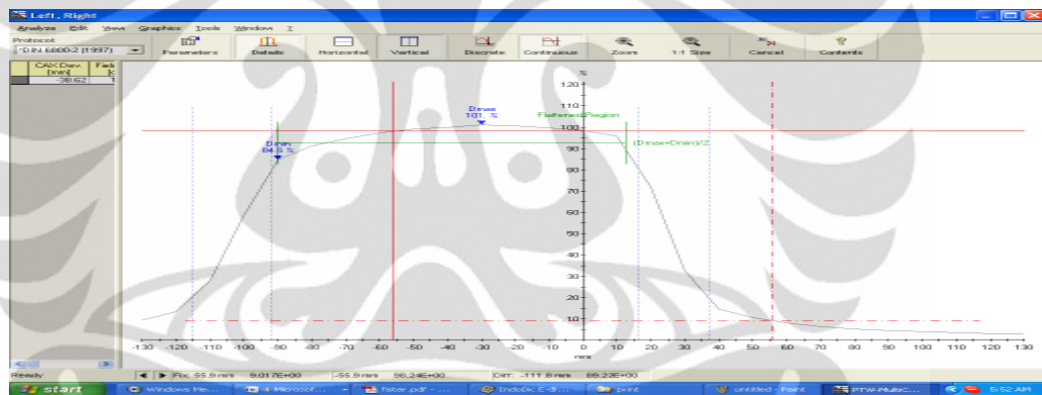


Universitas Indonesia

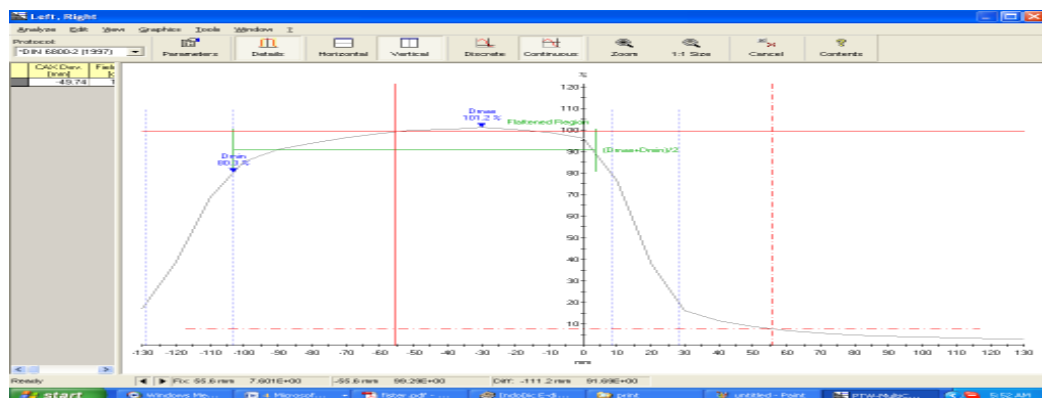
Sudut 15°



Sudut 20°



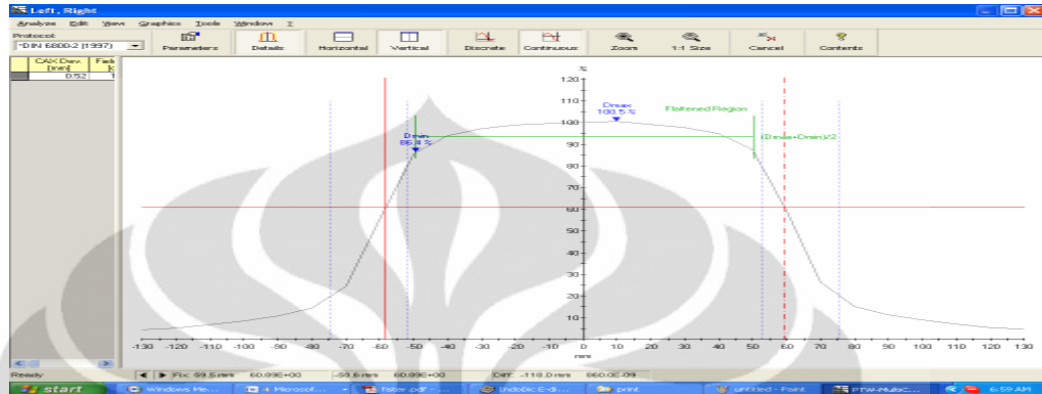
Sudut 25°



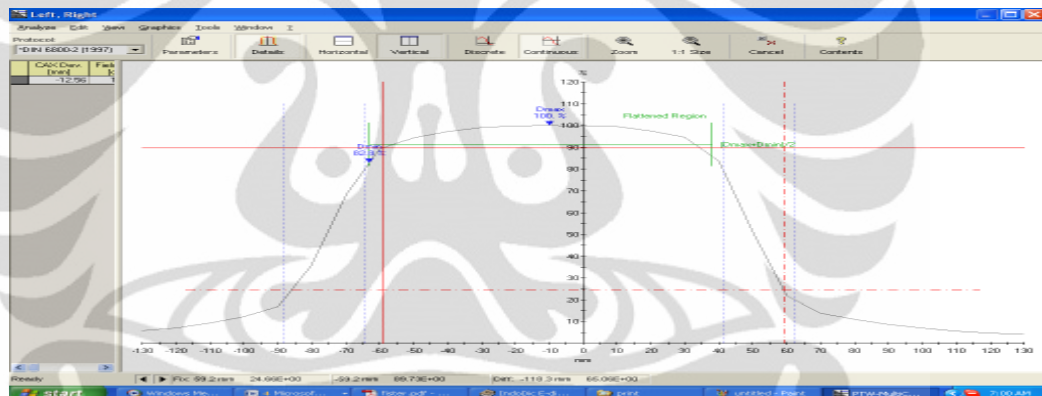
Universitas Indonesia

LAMPIRAN VIII: Kurva profil berkas Co 60 SSD 80cm kedalaman 15cm

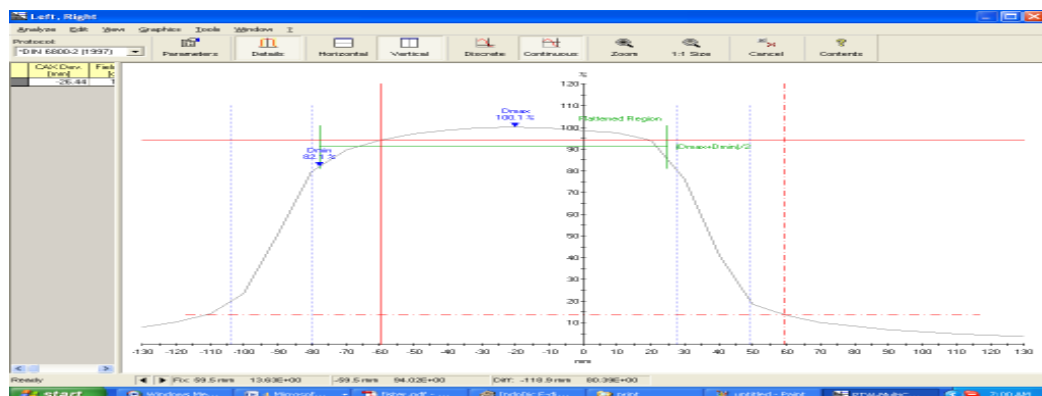
Sudut 0°



Sudut 5°

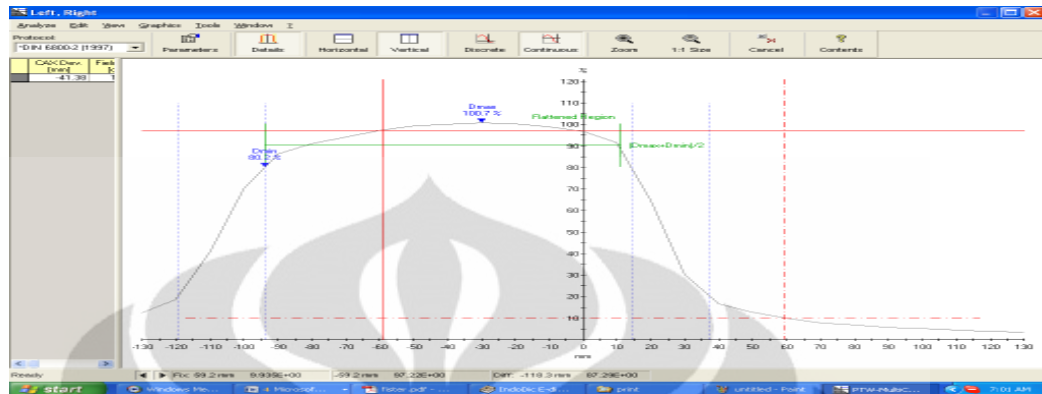


Sudut 10°



Universitas Indonesia

Sudut 15°



Sudut 20°

