

**Dosis Transmisi Berkas Sinar-X 6 MV untuk Lapangan Tidak
Teratur dengan Variasi Blok**

TESIS

**Juni Sinarinta Purba
0806421180**



**Universitas Indonesia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Program S2 Fisika Medis
Departemen Fisika
Depok
Desember 2010**

**Dosis Transmisi Berkas Sinar-X 6 MV untuk Lapangan Tidak
Teratur dengan Variasi Blok**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar magister

**Juni Sinarinta Purba
0806421180**



**Universitas Indonesia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Program S2 Fisika Medis
Departemen Fisika
Depok**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Juni Sinarinta Purba

NPM : 0806421180

Tanda Tangan :

Tanggal :

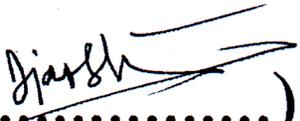
Halaman pengesahan

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Juni Sinarinta Purba
NPM : 0806421180
Program Studi : Fisika Medis
Judul Tesis : Dosis Transmisi Berkas Sinar-X 6 MV untuk Lapangan Tidak Teratur dengan Variasi Blok

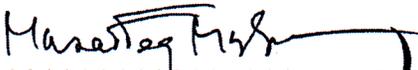
Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Fisika pada Program Studi Fisika Medis, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Djarwani S

(
.....)

Penguji : Dr. Musaddiq Musbach

(
.....)

Penguji : Dr. Fredy Haryanto

(
.....)

Penguji : Dr. Warsito

(
.....)

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 21 Desember 2010

PENGANTAR DAN UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas segala kasih dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul **Dosis Transmisi Berkas Sinar-X 6 MV untuk Lapangan Tidak Teratur dengan Variasi Blok**. Penulisan hasil penelitian ini disusun dan diajukan untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar Megister Fisika Medis pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa dalam pembuatan skripsi ini tidak sedikit hambatan dan masalah yang ditemui, namun dengan bantuan dan dukungan yang telah diberikan oleh banyak pihak maka penelitian ini dapat selesai tepat waktu. Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Kedua orang tuaku tercinta yang tiada henti memberikan kasih sayangnya serta selalu memberikan doa, semangat, dan dukungan baik moril, materi, ataupun spiritual kepada penulis. Kepada seluruh saudara-saudaraku di Marubun Lökkung.
2. Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko selaku pembimbing atas semua dorongan semangat, bimbingan dan kesabaran beliau dalam menjelaskan.
3. Dr. Bambang, Dr. Yoke yang telah memberikan izin kepada penulis untuk mengambil data di RSPP serta keluarga besar radioterapi RSPP atas kerjasamanya.
4. Dea Ryangga yang telah meluangkan waktu untuk membantu penulis dalam pengambilan data dan bantuannya dalam menjelaskan segala ketidaktahuan penulis.
5. Teman-teman seperjuangan Fisika Medik angkatan 2008 atas semangat, dukungan, bantuan dan rasa kekeluargaan, khusus untuk mba Yulfiatry, Deinar dan mba Dessy.

6. Mas Heru Prasetio, M.Si atas kesediaan meluangkan waktu untuk berdiskusi dan mengajari penulis mengenai segala macam yang berhubungan dengan tesis.
 7. Departemen Fisika Universitas Indonesia, dosen dan para staf yang telah memberikan berbagai bantuan untuk menyelesaikan studi.
 8. Para sahabat Paksu yang telah memberi semangat dan doa kepada penulis serta semua pihak yang telah memberikan bantuan dalam penulisan Tesis.
- Semoga tesis ini dapat digunakan dan bermanfaat bagi setiap yang membacanya

Jakarta, Januari 2011

Penulis

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

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

Nama : Juni Sinarinta Purba
NPM : 0806421180
Program Studi : Fisika Medis
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

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

Dosis Transmisi Berkas Sinar-X 6 MV untuk Lapangan Tidak Teratur dengan Variasi Blok, beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya tanpa izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 22 Desember 2010

Yang menyatakan

(Juni Sinarinta Purba)

ABSTRAK

Nama : Juni Sinarinta Purba
Program Studi : Megister Fisika
Judul : Dosis Transmisi Berkas Sinar-X 6 MV untuk Lapangan Tidak Teratur dengan Variasi Blok.

Tesis ini membahas dosis transmisi pada lapangan yang diblok dengan cerrobend untuk berkas sinar- X 6 MV, pesawat *linear accelerator* Siemens Primus 2D Plus dengan lapangan dasar 20 cm x 20 cm. Pengukuran dilakukan dengan ionisasi chamber PTW 2D Array seven²⁹ pada titik dalam phantom akrilik untuk lapangan yang diblok dan lapangan yang tidak dilindungi blok dengan tiga bentuk blok yang divariasikan. Blok pertama panjang 10 cm dengan lebar variasi 1, 2, 3 cm dengan kedalaman pengukuran 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0 cm, blok kedua 10 cm x 8 cm dengan kedalaman 5, 8, 10, 12, 15 cm dan blok ketiga diasumsikan untuk pengobatan kanker serviks, 4 buah blok segitiga sama sisi dengan sisi 10 cm dengan kedalaman 5, 8, 10, 12, 15 cm. dari hasil pengukuran diperoleh nilai transmisi dosis 5.9 % - 19.93%, transmisi dosis akan semakin menurun dengan kenaikan lebar blok cerrobend dan sedikit meningkat dengan kenaikan kedalaman. Hasil pengukuran dibandingkan dengan hasil TPS.

Kata kunci :

Blok cerrobend, persentase transmisi dosis, daerah transisi

ABSTRACT

Name : Juni Sinarinta Purba
Study Program : Physics Magister
Title : Transmission Dose of 6 MV X-ray beam for irregular field with block variation.

The focus of this study is determined the transmission dose in phantom medium from 6 MV X ray with Siemens Primus linear accelerator 2D Plus with basic field 20 cm x 20 cm. Measurements were taken with the ionization chamber PTW seven29 2D array at a point in the acrylic phantom, for blocked and unblok fields. Three irregular fields were selected, first field (I) simulated to treatment beam for supraclavicular region, 20 x 20 cm² field size with a cerrobend block to protect throat region. The size of the block was 7 cm thickness, 10 cm length, with various widths of 1, 2, and 3 cm. Measurements were carried out at the depth of 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, and 4.0 cm. The second field (II) was also 20 x 20 cm, blocked field at right-upper corner to cover surface area of 10 x 8 cm². Data were collected at the depth of 5, 8, 10, 12, and 15 cm . The third field (III) assumed for cervix cancer treatment, field size was also 20 x 20 cm² with four corner area was blocked by 10cm x 10cm triangles. Measurement was done at the depth of 5, 8, 10, 12, and 15 cm. measured transmission dose values ranged from 5.9% - 19.93%, dose transmission at the center a blocked area refer to the dose at unblocked area decrease with increasing block width and a little increase with the depth. The measurement results compared with TPS

Key word :
Cerrobend blocks, percentage dose transmission, transition length.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan radiasi pengion dari pesawat linac untuk radioterapi menjadi pilihan tersendiri dalam dunia kedokteran. Sinar pengion pada radioterapi untuk pengobatan kanker disebabkan kemampuan dari sinar pengion bila mengenai suatu materi akan menyebabkan ionisasi pada materi tersebut. Pada radioterapi akibat proses ionisasi tersebut akan terjadi kerusakan sel dan jaringan kanker sehingga akan menyebabkan kematian dan kehilangan kemampuan hidup pada siklus pembelahan sel. Disamping efek sampingnya yang lebih rendah dibandingkan kemoterapi, energy dan jenis radiasi pengion yang dihasilkan oleh linac juga dapat diatur melalui ruang control dengan menggunakan software yang diberikan oleh pabrik.

Seluruh proses reaksi biokimia yang terjadi dalam tubuh manusia akan terkena dampak paparan radiasi pengion. Kerusakan tersebut tergantung pada sifat ekstrinsik, meliputi dosis dan jenis radiasi yang diterima oleh sel, serta sifat intrinsik sel itu sendiri, yaitu radiosensitivitas sel. Pengaruh radiasi pengion bukan hanya terjadi pada sel – sel kanker, tetapi terjadi pula pada sel – sel normal. Istilah kematian sel itu sendiri ada dua, pertama kematian sel proliferasi yaitu kematian sel pada saat sedang melakukan pembelahan, dan kedua kematian sel terdiferensiasi yaitu kematian sel yang telah matang, pada keadaan ini biasanya sel lebih bertahan terhadap radiasi. Kematian sel diharapkan lebih banyak terjadi, karena pada saat itulah sel sedang memasuki fase M dan G2 yang sensitif terhadap paparan radiasi pengion¹³. Semakin cepat sel mengalami proses pembelahan semakin besar probabilitasnya sel.

Berdasarkan teori target yang menyatakan bahwa “ sel akan mati bila molekul target yang berada pada sel tersebut terinaktivasi (tidak aktif) akibat paparan radiasi”. Semakin sensitif sel terhadap radiasi, semakin banyak sel tersebut yang mati, dan semakin rendah sel yang survival¹³. Dengan demikian sel kanker diharapkan mengalami penyusutan volume secara kontiniu yang pada

akhirnya akan hilang. Sel kanker lebih sensitif dibandingkan dengan jaringan sehat. Permasalahannya jaringan kanker tidak diterapi dalam keadaan terisolasi dari jaringan normal. Hal ini disebabkan karena sel kanker terletak pada jaringan yang fungsinya harus dipertahankan setelah radioterapi dan sel kanker menyebar dalam jaringan sehat.

Morphology kanker yang tidak simetri (*iregular*) menyebabkan jaringan sehat tersebut tidak dapat terhindar dari radiasi, sehingga dalam pelaksanaan terapi kanker dengan radioterapi selalu diusahakan optimasi dosis, yaitu memberikan dosis tinggi pada jaringan kanker dan dosis rendah pada jaringan normal. Salah satu cara optimasi ini adalah memproteksi jaringan normal dengan menggunakan blok. Blok pembentuk lapangan yang sering disebut cut-out aplikator yang tersedia pada pesawat hanya ukuran lapangan yang teratur. Padahal dalam klinisnya daerah perlakuan sering ditemukan lapangan yang tidak teratur, maka perlu dibuat blok yang dapat menyaring pajanan radiasi untuk lapangan tidak teratur (*iregular*). Blok ini terbuat dari campuran beberapa logam yang dikenal dengan *cerrobend* yang bentuk dan ukurannya disesuaikan dengan volume kanker. Penggunaan blok *cerrobend* ini akan berpengaruh dalam perhitungan dosis radiasi yang akan diberikan dalam terapi.

Dosis radiasi dalam jaringan terdiri atas 2 komponen, yaitu : dosis primer dan dosis sekunder. Dosis primer merupakan dosis radiasi langsung dari sumber radiasi, dan dalam perhitungan dianggap sebagai dosis berkas radiasi dengan lapangan radiasi nol. Dosis hambur merupakan dosis yang berasal dari hamburan kolimator dan jaringan. Besarnya dosis hambur bergantung pada luas lapangan radiasi dan volume jaringan yang terkena radiasi. Penggunaan blok *cerrobend* dalam penyinaran akan mempengaruhi dosis hambur, karena blok *cerrobend* akan mengurangi luas lapangan radiasi, sehingga akan berpengaruh pada besarnya dosis hambur. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian pengaruh blok *cerrobend* pada distribusi dosis dalam jaringan, khususnya penggunaan blok *cerrobend* yang bervariasi terhadap hamburan radiasi. Dalam penelitian ini, dilakukan pengukuran keluaran dosis radiasi dari pesawat linac Siemens Primus 2D Plus instalasi radioterapi Rumah Sakit Pusat Pertamina (RSPP) kisaran berkas energi 6 MV dengan menggunakan ionisasi chamber PTW 2D Array seven29.

1.2 Tujuan Penelitian

Sesuai dengan apa yang telah dijelaskan diatas, maka penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menghitung persentase dosis transmisi pada lapangan radiasi yang diblok guna melindungi organ sehat disekitar target tumor dan distribusi dosis diluar daerah blok, kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan TPS. Dengan mengetahui persentase dosis transmisi blok diharapkan akan memperoleh grafik hubungan antara dosis transmisi dan lebar blok, dan hubungan antara variasi kedalaman dan lebar blok, sehingga dari grafik tersebut dapat ditarik kesimpulan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan acuan dalam melakukan pengobatan radioterapi dengan menggunakan blok untuk melindungi jaringan sehat dari radiasi.

1.3 Sistematika Penulisan

Tesis ini dibagi menjadi 5 bab, yang terdiri dari beberapa sub-bab untuk mempermudah penjelasan. Penulisan bab-bab dilakukan sebagai berikut¹⁵ :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang permasalahan, tujuan yang hendak dicapai, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini penulis menguraikan secara lebih lengkap teori tentang interaksi radiasi dengan materi, dosis serap medium, aksesoris pembentuk berkas dan ionisasi ckamber PTW 2D array seven29.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan alat atau bahan yang digunakan dalam penelitian serta metode dalam pengambilan data.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berisikan data-data hasil penelitian dan analisis data dalam bentuk gambar tabel dan kurva DAN pembahasan dari semua data yang diperoleh dari hasil penelitian.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini penulis merangkum hasil yang didapatkan dan ditambah dengan saran-saran untuk meningkatkan kemanfaatan penelitian ini.



BAB II

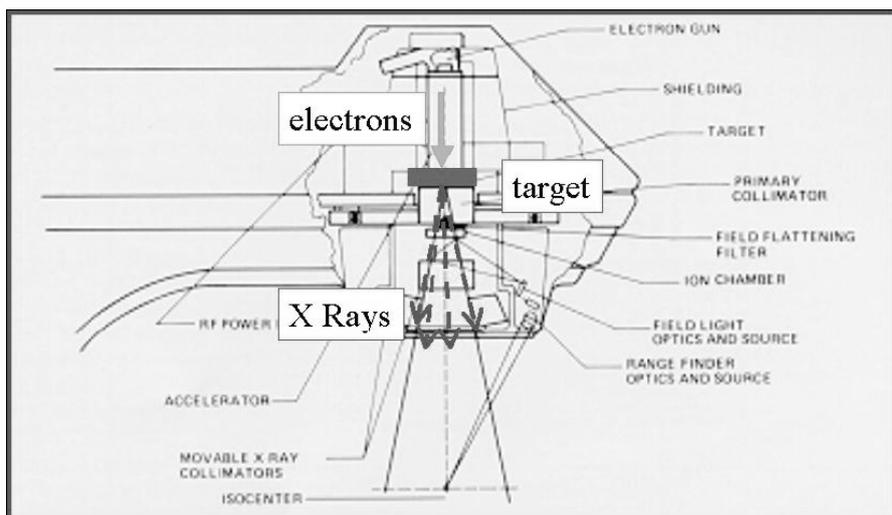
TINJAUAN PUSTAKA

Penemuan sinar X oleh Roentgen pada tahun 1895 merupakan awal lahirnya radioterapi. Selama 50 tahun pertama ditemukannya radioterapi perkembangan teknologi untuk melakukan radioterapi relatif lambat dan masih menggunakan tabung sinar X, generator van de Graaff dan betatron sebagai alat untuk menghasilkan radiasi pengion. Pada saat ini teknologi untuk menghasilkan radiasi pengion untuk berkas sinar X kualitas tinggi (megavolt) dapat dihasilkan melalui pesawat linear accelerator (*linac*).

2.1. Sinar-X Megavolt

Pesawat *linac* menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi tinggi untuk mempercepat partikel bermuatan seperti elektron sehingga menghasilkan energi yang diarahkan pada sebuah tabung linear. Elektron energi tinggi yang dihasilkan dapat digunakan langsung untuk terapi tumor dekat permukaan, atau diarahkan ke suatu target untuk menghasilkan sinar-X Megavolt yang digunakan untuk terapi tumor pada kedalaman tinggi.

Untuk menghasilkan berkas foton (sinar-X) maka berkas elektron berenergi tinggi tersebut dilewatkan pada sebuah target yang terbuat dari logam berat yang tipis sehingga terjadi interaksi *Bremstrahlung*⁶. *Bremstrahlung* adalah sinar-X yang terpancar bilamana suatu elektron dengan kecepatan tinggi melintas dekat dengan suatu nukleus (inti atom), maka gaya tarik Coulomb yang kuat menyebabkan elektron menyimpang secara tajam dari lintasan awalnya.



Gambar 2.1. Skema terjadinya Sinar-X pada target yang ditembaki elektron di bagian kepala LINAC

Hasil pembangkitan sinar-X mempunyai intensitas yang tinggi pada arah sumbu target. Untuk mencapai kerataan (*flatness*) yang diperlukan, dipasanglah sebuah filter pemerata (*flattening filter*) yang terbuat dari baja.

2.2. Interaksi sinar-X dengan materi

Sinar pengion dapat berupa radiasi gelombang elektromagnetik yang memiliki frekuensi tinggi misalnya sinar-X dan gamma yang dapat menimbulkan proses ionisasi jika melewati materi. Sinar-X dan gamma adalah gelombang yang memiliki energi dengan daerah frekuensi tanpa massa dan muatan, serta tidak dipengaruhi adanya medan magnet. Sedangkan partikel bermuatan dapat berupa proton, yang bermuatan positif, electron yang bermuatan negatif, neutron, atau positron walaupun tanpa muatan namun memiliki massa dan dapat menimbulkan perubahan kimia dan fisika pada bahan yang dilaluinya. Mengukur radiasi foton menggunakan dua pendekatan yaitu secara langsung atau tidak langsung.

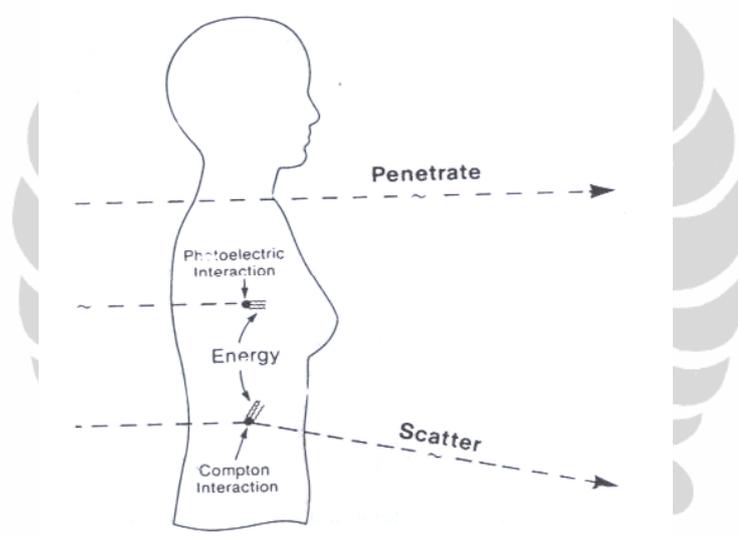
Pengukuran metode langsung berhubungan dengan banyaknya hamburan foton, sedangkan metode tidak langsung yaitu yang berhubungan terhadap banyaknya efek atau pengaruh radiasi foton tersebut. Satuan yang berhubungan dengan hamburan foton yang bersifat absolut dan sangat berguna dalam perhitungan, tetapi sangat sulit diukur secara eksperimen namun memiliki kegunaan dalam praktek dosimetri adalah :

- *Fluence foton* = Jumlah foton yang melalui tiap satuan luas

- *Fluence rate* = *Fluence* foton persatuan waktu
- Energi *fluence* = Total energi foton yang melalui setiap satuan luas
- Energi *fluence rate* = Energi *fluence* persatuan waktu

Dalam interaksi foton dengan materi, foton dapat menyalurkan energinya ke electron dalam materi tersebut dan ada tiga kemungkinan yang terjadi yaitu⁶

- Dapat menembus materi tanpa berinteraksi
- Dapat berinteraksi dengan materi dan seluruh energi foton terserap didalam materi
- Dapat berinteraksi dan terhambur, kemudian dibelokkan dari arah asalnya dan sebagian energinya

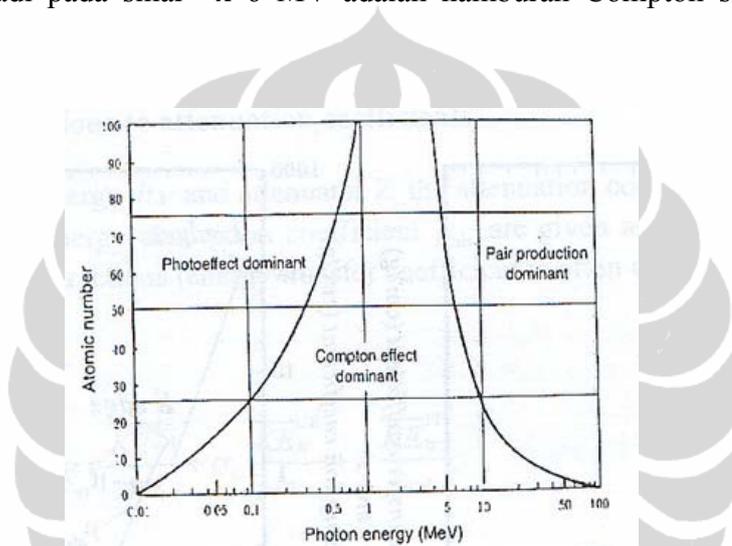


Gambar 2.2. Interaksi foton terhadap materi¹⁴

Ketika foton berinteraksi dengan materi biologis atau jaringan tubuh, akan dihasilkan elektron sekunder yang kemudian memberikan energinya kepada jaringan yang dilewatinya, dan jaringan tersebut akan menyerap energi elektron sekunder tersebut. Secara umum ada tiga jenis interaksi foton dengan materi.⁷ yaitu hamburan compton, efek fotolistrik, dan produksi pasangan⁷.

2.2.1 Hamburan Compton

Hamburan Compton adalah interaksi sinar-X dan gamma pada wilayah energi 0100keV sampai 10MeV. Interaksi hamburan Compton terjadi diantara foton dan kulit terluar atom (elektron valensi) yang terikat lemah pada atomnya, sehingga menyebabkan elektron keluar dari atom dan foton dihamburkan. Peluang untuk terjadinya compton hampir sama untuk setiap energi, tetapi dominan pada energi menengah antara 200keV- 5 MeV . Interaksi radiasi yang dominan terjadi pada sinar -x 6 MV adalah hamburan Compton seperti pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Hamburan Compton pada atom⁴

Hamburan Compton disebut juga hamburan tidak elastik dan tidak klasik. Sebagian energi foton diberikan kepada elektron sehingga elektron terlepas dari atom. Menurut teori gelombang energi foton yang dipancarkan lebih kecil dari energi foton yang datang sehingga mengakibatkan selisihnya berubah menjadi energi kinetik elektron⁶.

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad (1) \quad (2.1)$$

$$\lambda' - \lambda = h(1 - \cos\theta) / m_e c \quad (2.2)$$

λ' = Panjang gelombang foton hambur

λ = Panjang gelombang foton datang

θ = Sudut hambur

h = Konstanta planck $6,626 \times 10^{-34}$ J.s

m_e = Massa elektron

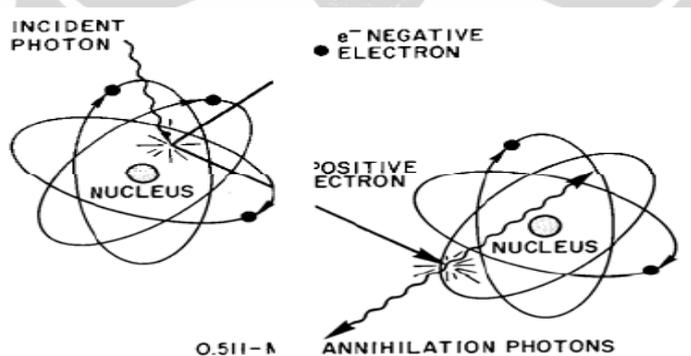
c = Kecepatan cahaya 3×10^8 m/

2.2.2. Efek fotolistrik

Efek fotolistrik terjadi apabila sebuah foton yang berinteraksi dengan elektron yang terikat pada sebuah orbit atom medium. Pada proses ini energi foton $h\nu$ akan digunakan untuk membebaskan ikatan elektron pada atom dan diteruskan untuk energi kinetik elektron yang keluar dari atom tersebut¹.

2.2.3 Produksi Pasangan

Produksi pasangan hanya terjadi ketika energi kinetik sinar-X dan gamma berada pada energi 1.02 MeV. Energi foton yang ditransfer dalam bentuk energi kinetik berupa pasangan elektron dan positron, dengan energi massa diamnya sama dengan 0.511 MeV untuk setiap elektron. Kemudian elektron dan positron akan kehilangan energi kinetiknya melalui proses eksitasi dan proses ionisasi¹.



Gambar 2.4. Ilustrasi produksi pasangan

2.3 Dosis Serap

Pengukuran distribusi dosis pada tubuh pasien hampir tidak mungkin dilakukan pada tubuh pasien secara langsung dengan alasan teknis, keamanan maupun etika. Distribusi dosis hampir seluruhnya diambil dari pengukuran dengan menggunakan fantom (obyek pengganti tubuh) misalnya air yang memiliki volume cukup besar sehingga memberikan radiasi hambur yang cukup atau akrilik.

Air dan jaringan basah menyerap foton dengan cara yang mendekati sama, sehingga air digunakan sebagai fantom yang banyak dipakai dalam

berbagai pengukuran. Untuk menghindari agar alat ukur (bilik ionisasi) tidak basah terkena air maka dibuat pula material fantom padat. Data yang dihasilkan dapat digunakan untuk menghitung dosis dan memprediksi dosis yang sebenarnya dalam tubuh. Penggunaan fantom air atau akrilik untuk mengukur distribusi dosis karena memiliki sifat penyerap dan penghambur radiasi yang hampir seperti otot dan jaringan lunak lainnya yang umumnya kandungannya 80% air dan densitasnya hampir sama dengan densitas air.

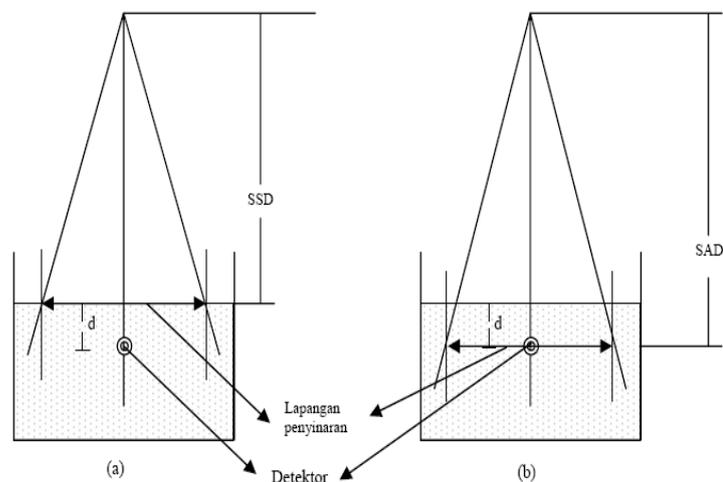
Dosis serap dalam medium didefinisikan sebagai energy yang diserap dalam medium untuk ionisasi dan eksitasi per unit massa dalam medium¹¹. Oleh International Commission of Radiological Unit (ICRU), dosis serap dalam medium dinyatakan dengan :

$$D_{\text{serap}} = \frac{\bar{d}E}{dm} \quad (2.3)$$

dengan satuan Gray (Gy) yang ekuivalen dengan 1 joule (J) per kilogram (kg) massa. Dosis serap merupakan hasil interaksi antara photon dengan electron di dalam medium.

Adapun KERMA (*kinetic Energy Released in the Medium*) didefinisikan sebagai besarnya energy kinetic yang dilepaskan radiasi pengion di dalam materi yang sebagian diserap oleh materi dan sebagian lagi menjadi bremsstrahlung. Kondisi kesetimbangan elektronik terjadi jika dosis serap sama dengan dosis kerma¹.

Salah satu parameter perhitungan dosis serap di titik tumor pada pasien adalah laju dosis serap (dalam cGy/menit) referensi yang terukur pada titik acuan di phantom menggunakan detector *ionisasi chamber* seperti terlihat pada gambar 2.5.

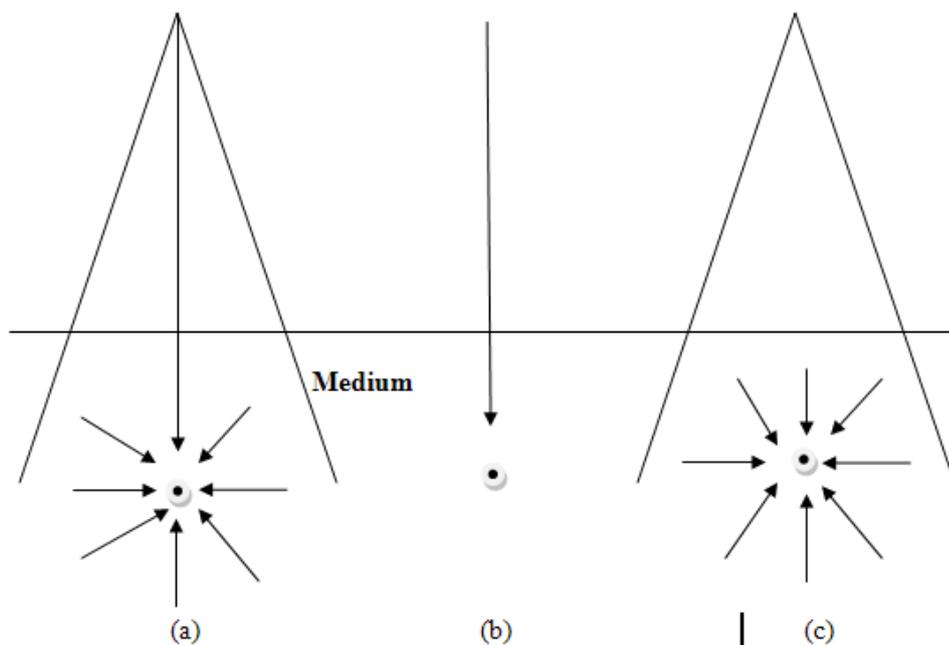


Gambar 2.5 Perhitungan dosis serap pada medium, (a) teknik SSD, (b) teknik SAD

Pada penggunaan teknik SSD (source to Surface Distance), jarak isosenter dihitung dari sumber ke permukaan phantom dan luas lapangan yang kita atur berada dipermukaan phantom. Pada penggunaan teknik SAD (*Source to Axis Distance*), jarak isosenter dihitung dari sumber ke detektor dalam phantom dan luas lapangan yang kita atur berada pada kedalaman detektor⁸. Detektor diletakkan pada sumbu utama berkas radiasi pada kedalaman referensi atau pada kedalaman yang kita inginkan. Setelah dilakukan penyinaran, hasil bacaan pada elektrometer dikoreksi dengan faktor kalibrasi detektor, faktor koreksi suhu dan tekanan medium.

2.3.1 Dosis Primer dan Dosis Hambur

Dosis serap dalam medium terdiri dari 2 komponen, dosis primer dan dosis hambur. Dosis primer sebagai energy yang diberikan pada medium, yang dihasilkan pertama kali antara photon dengan electron per unit massa. Dilain pihak, dosis hambur berasal dari hasil interaksi medium dengan photon hambur bremstrahlung ataupun photon hasil anihilasi. Untuk memisahkan harga dosis primer dan dosis hambur dari dosis total sangat sulit, karena itu digunakan sebuah konsep lain untuk menghitung harga dosis serap primer yang dinyatakan sebagai dosis serap dengan lapangan radiasi nol. Hubungan antara dosis primer dan dosis hambur dalam bentuk dosis total ditunjukkan gambar 2.6



Gambar 2.6 Skema dosis serap, (a) dosis total, (b) dosis primer, (c) dosis hambur.

2.4 Aksesoris Pembentuk Berkas

Melindungi organ kritis didalam lapangan penyinaran adalah salah satu hal penting dalam radioterapi. Membuat bentuk berkas dengan menggunakan aksesoris tidak hanya untuk melindungi organ kritis tetapi juga untuk menghindari bagian organ lain yang tidak perlu mendapat penyinaran pada saat pengobatan, yang masuk didalam lapangan penyinaran. Aksesoris yang digunakan untuk memodifikasi bentuk berkas agar distribusi dosis pada target bisa homogen ada 3 jenis, pertama adalah filter wedge, filter khusus atau blok penyerap yang diletakkan pada lapangan berkas sinar X untuk memodifikasi distribusi dosis, kedua MLC (multileaf collimator) untuk berkas sinar X, terdiri dari sejumlah lembaran blok collimator yang dapat dijalankan secara otomatis dan sudah terpasang dipesawat sinar X⁵. Blok – blok ini tidak tergantung satu sama yang lain, dan digunakan untuk pembentuk lapangan.

Aksesoris pembentuk yang lain adalah blok individual. Blok umumnya terbuat dari Pb atau cerrobend, dengan ketebalan tergantung kualitas sinar X. Transmisi berkas primer melalui ketebalan blok dapat diterima secara klinis,

seharusnya kurang dari 5 %. Untuk memenuhi persyaratan ini ketebalan blok dapat dihitung dengan persamaan berikut :

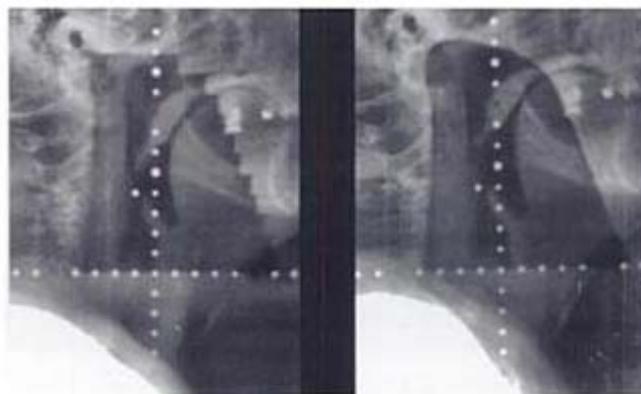
$$\frac{I}{I_0} = 0.05 = e^{-\mu x} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana I dan I₀ adalah intensitas radiasi sebelum dan sesudah melewati blok. μ adalah koefisien atenuasi linear, fraksi terkecil dari intensitas berkas foton yang hilang untuk setiap satuan ketebalan material yang dilaluinya, dalam penelitian ini menggunakan blok cerrobend. Untuk memenuhi persamaan diatas maka ketebalan blok yang biasa digunakan sekitar 4,5 – 5 half value layer (HVL) atau 6.5 cm untuk berkas 6 MV dan 7 cm untuk berkas 10 MV¹⁶. Ketika blok ditempatkan pada beam, maka blok ini akan melindungi organ risk, kondisi ini hanya melindungi sebagian lapangan yang ditutup. Transmisi blok biasanya lebih kecil dari HVLs, hal ini disebabkan adanya hamburan phantom⁸.

Dosis maksimum dibawah blok terdapat pada lapangan yang maksimum, artinya lapangan yang semakin luas akan menghasilkan dosis yang semakin besar, ini juga disebabkan adanya hamburan pada phantom⁸.

Blok berfungsi untuk menutupi bagian atau daerah yang harus dilindungi pada lapangan penyinaran, atau sebagai pembentuk lapangan. Blok diletakkan diatas tray dan disisipkan pada berkas sinar X pada saat penyinaran. Blok merupakan pembentuk berkas sinar X individual. Dalam penelitian ini digunakan blok individual cerrobend dengan ketebalan blok 7 cm untuk berkas sinar-X 6 MV. Blok cerrobend terdiri dari beberapa campuran logam yaitu 50% Bi, Pb 27%, 13% Sn, dan 10% Cd, cerrobend memiliki titik lebur 70 ° C.

Salah satu keuntungan menggunakan blok cerrobend sebagai pelindung organ sehat yaitu, hasil pembentukan lapangan lebih merata dibandingkan MLC, seperti gambar dibawah ini :



Gambar 2.7 Perbandingan dengan MLC (kiri) dan blok Cerrobend (kanan)

2.5 PTW 2D-Array Seven29

2.5.1. Perangkat Keras

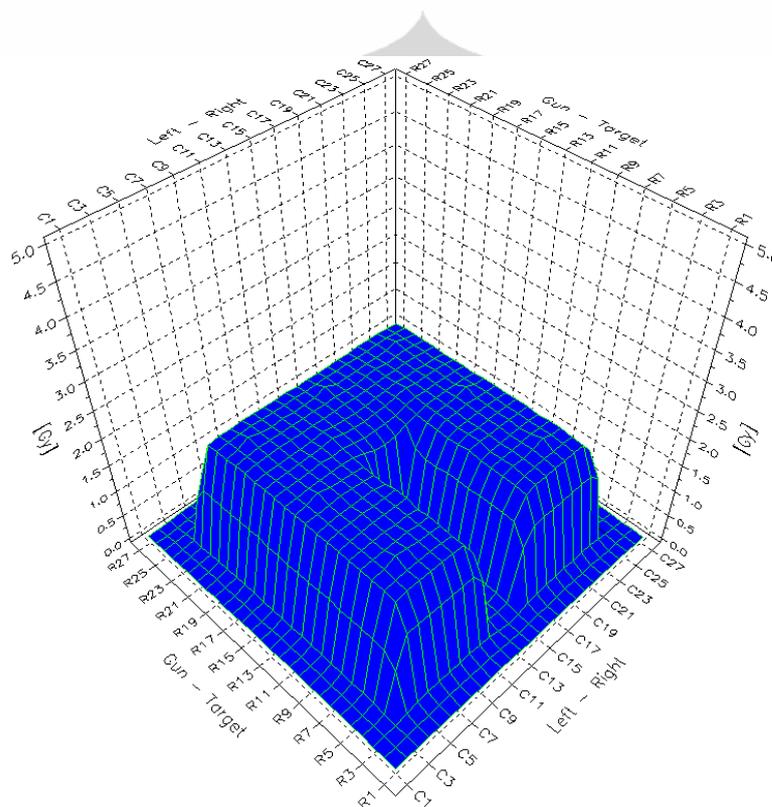
2D array seven29 adalah array dua dimensi ionisasi chamber dengan 729 ionisasi chamber, bilik ionisasi memiliki volume 5 mm pada sebuah grid 10 mm dengan jarak yang sama. Tabel 2.1 menunjukkan parameter teknis dari manual PTW ionisasi chamber 2D-array seven29.

Tabel 2.1 Parameter Perangkat keras ionisasi chamber PTW¹⁷

NO	PARAMETER	KETERANGAN
1.	Nilai terukur	Dosis serap (Gy)
2.	Luaslapangan maksimum	27 cm x 27 cm
3.	Tegangan chamber	400 V
4.	Rentang pengukuran (laju dosis)	500 mGy/menit.....10 Gy/menit (resolusi : 1 mGy/menit)
5.	Linieritas	0.5 %
6.	Kalibrasi ulang	Setelah 2 tahun
7.	Jenis detektor	Kamar ionisai
8.	Titik referensi pengukuran	5 cm

2.5.2. MatrixScan

Perangkat lunak yang digunakan untuk pengukuran adalah matrixScan, MatrixScan diperlukan untuk melakukan pengukuran 2D array. Dalam matrixScan terdapat software verisoft dan multichek. Sebelum pengukuran dimulai dilakukan pemanasan sekitar 10 – 15 menit. Gambar 1 menunjukkan matrixScan selama proses pengukuran¹⁷.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Peralatan

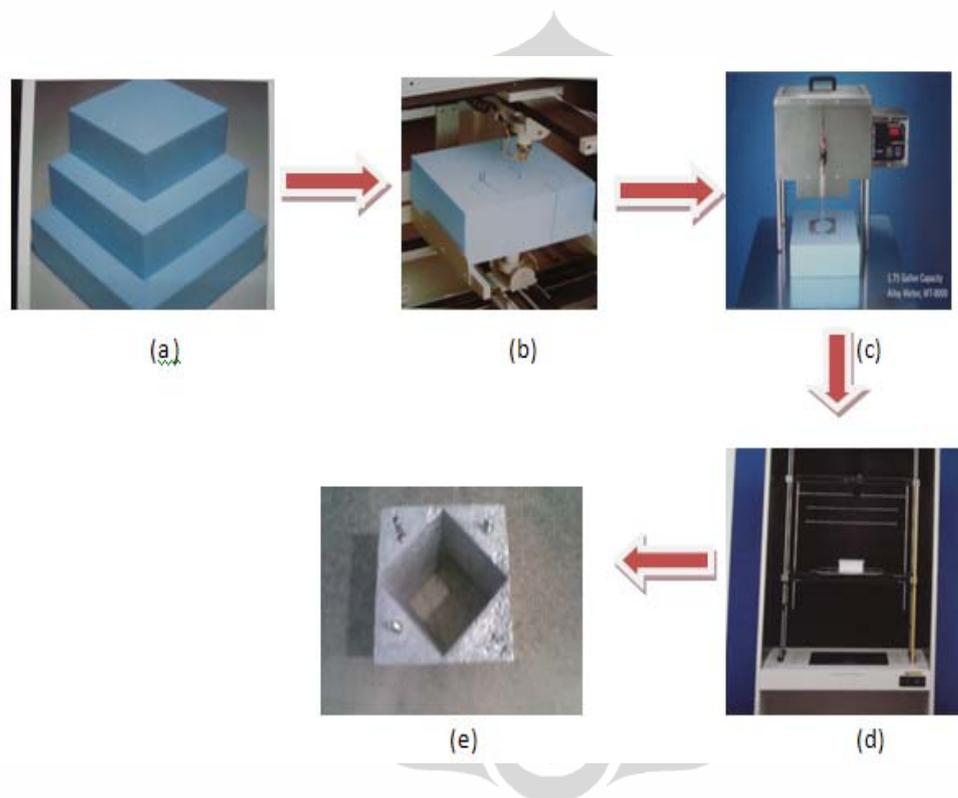
Dalam penelitian ini digunakan pesawat Linear accelerator (LINAC) jenis Siemens Primus 2D di Instalasi Radioterapi Rumah Sakit Pertamina Pusat (RSPP). Thermometer digital untuk mengukur suhu ruangan dan barometer untuk mengukur tekanan udara. Perlengkapan lain yang dipakai dalam pengukuran adalah fantom akrilik berukuran 30 cm x 30 cm dengan ketebalan 1 cm dan 0.5 cm, dan blok individual yang terbuat dari bahan *cerrobend*, untuk proteksi berbagai organ disekitar target tumor, *bloking tray* untuk meletakkan blok individual, *Styrofoam* bahan yang digunakan sebagai negative blok individual, *hot wire cutter* mesin otomatis untuk memotong *Styrofoam* otomatis dikontrol oleh komputer. Pengukuran dosis dilakukan dengan menggunakan PTW 2D Array seven²⁹ seperti gambar berikut :



Gambar 3.1 (a) Sisi belakang interface, (b) PTW 2D array¹⁷

3.2 Metode Penelitian

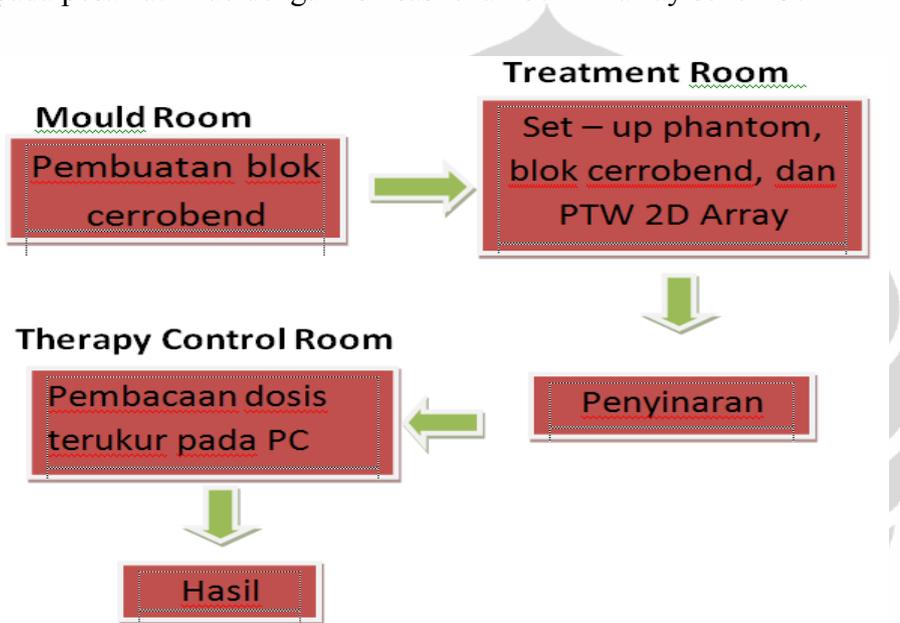
Pembuatan blok cerrobend didahului oleh pembuatan blok negative dari bahan *Styrofoam* yang dikontrol dengan komputer dengan memperhatikan berbagai factor perlakuan klinis seperti SSD, bentuk blok, luas lapangan bentuk dan ukuran blok. Proses pembuatan blok cerrobend dapat dilihat dalam gambar 3.2 dibawah ini :



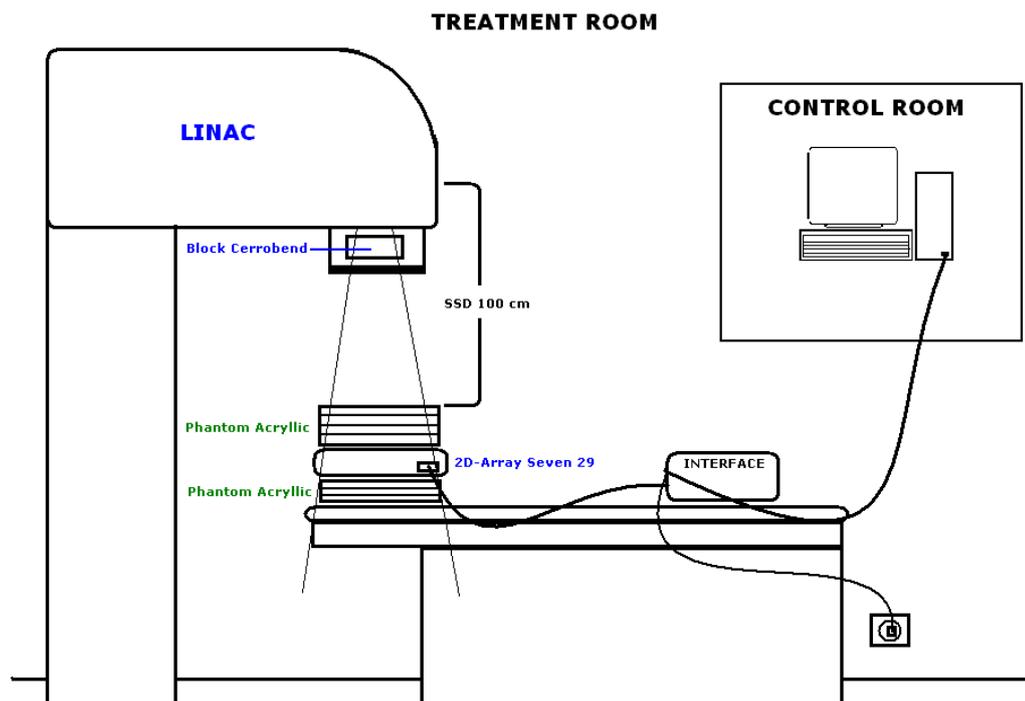
Gambar 3.2. Proses pencetakan block *cerrobend*

Pengukuran dosis serap dengan peasawat Linac dengan modalitas sinar-x 6 MV pada lapangan tidak teratur (*irregular*) dengan SSD = 100 cm. Pengukuran dilakukan dengan fantom akrilik pada lapangan dasar 20 cm x 20 cm. pengukuran dilakukan dengan 3 bentuk blok *cerrobend*. Blok pertama untuk melindungi daerah tenggorokan, lebar blok di variasi dari 1 cm, 2 cm, 3 cm, dengan panjang yang sama 10 cm. pengukuran dilakukan pada kedalaman 2 cm, 2.5 cm, 3 cm, 3.5 cm dan 4 cm. blok kedua melidungi bagian permukaan dengan ukuran 10 cm x 8 cm, dimana dalam penelitian ini pengukuran dilakukan untuk kedalaman 5 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm, 15 cm. blok ketiga, diasumsikan untuk

pengobatan kanker serviks yaitu 4 buah blok cerrobend dengan bentuk segitiga sama sisi, dengan panjang sisi 10 cm. pengukuran dilakukan dengan kedalaman yang sama dengan blok 2 yaitu 5 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm, 15 cm. Dengan Setiap pengukuran dosis ditentukan sesuai dengan dosis 200 MU. Koreksi tekanan udara, suhu ruangan, dan factor koreksi dimasukkan langsung ke dalam system komputasi dosimeter yang mengakibatkan bacaan dosimeter terkoreksi secara otomatis. Gambar 3.4 menunjukkan blok diagram pengukuran transmisi dosis pada pesawat linac dengan ionisasi chamber 2D array seven29.



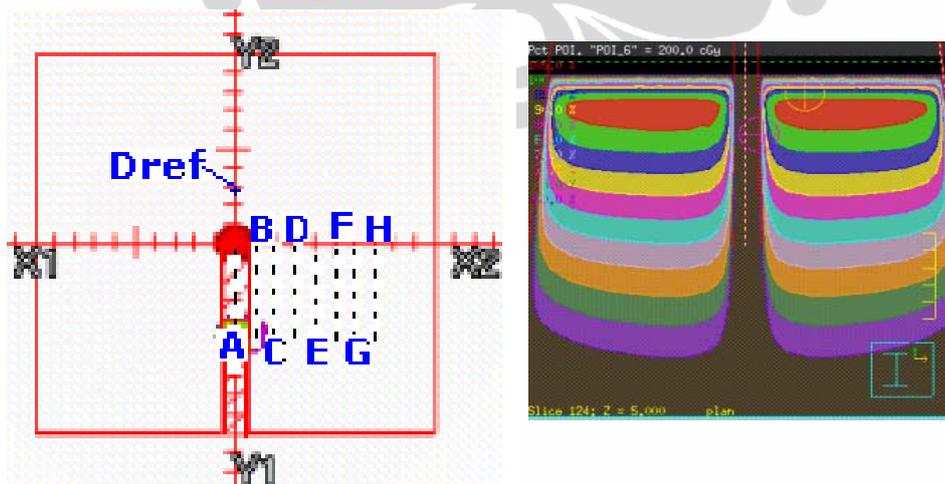
Gambar 3.3 Blok diagram pengukuran persentase dosis transmisi pada pesawat linac dengan ionisasi chamber 2D array seven29



Gambar 3.4 Skema pengukuran di lapangan

Pengukuran dosis masing masing dilakukan pada setiap blok yang telah ditentukan yaitu :

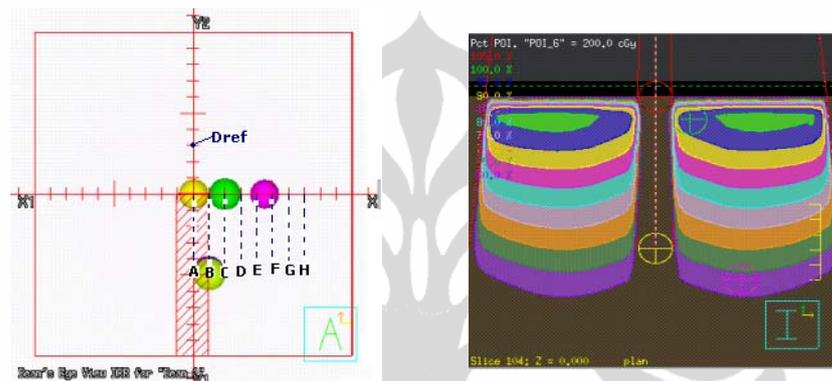
1. Pengukuran dosis dengan ukuran blok 10 cm x 1 cm dengan titik pengukuran seperti gambar berikut :



Gambar 3.5 Skema penutupan blok 10 cm x 1 cm dan penentuan titik pengukuran

Pengukuran dilakukan pada setiap titik yang telah ditentukan, titik A : dosis diukur tepat pada lapangan yang dilindungi dengan blok, titik B, C, D, E, F, G, H : dosis diukur pada lapangan yang tidak dilindungi blok dan Dref adalah dosis referensi. Dosis referensi adalah dosis yang diukur pada lapangan yang tidak dilindungi oleh blok.

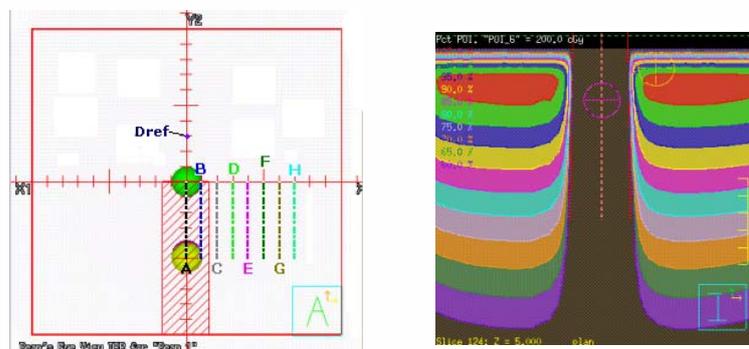
2. Pengukuran dosis dengan ukuran blok 10 cm x 2 cm dengan titik pengukuran seperti gambar berikut :



Gambar 3.6 Skema penutupan blok 10 cm x 2 cm dan penentuan titik pengukuran

Pengukuran dilakukan pada kedalaman 2 cm, 2.5 cm, 3 cm, 3.5 cm, 4 cm pada setiap titik titik A : dosis diukur tepat pada lapangan yang dilindungi dengan blok, titik B : dosis diukur 0.5 cm dari tepi blok, titik C, D, E, F, G, H : dosis diukur pada lapangan yang tidak dilindungi blok dan Dref adalah dosis referensi.

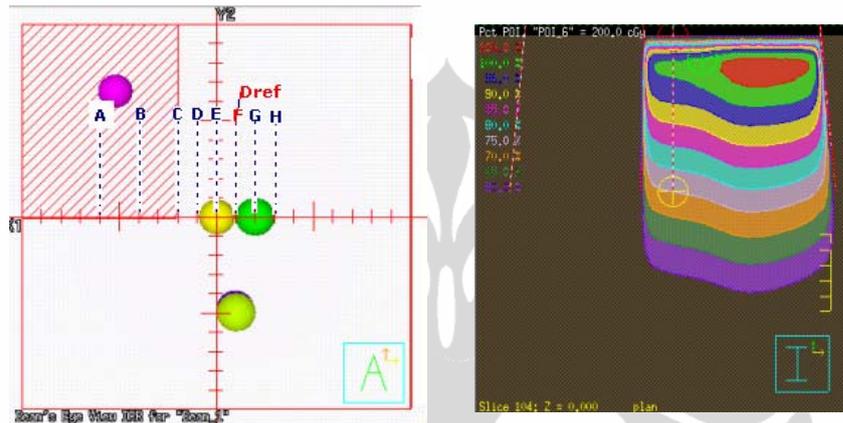
3. Pengukuran dosis dengan ukuran blok 10 cm x 3 cm dengan titik pengukuran seperti gambar berikut



Gambar 3.7 Skema penutupan blok 10 cm x 3 cm

Pengukuran dilakukan pada kedalaman 2 cm, 2.5 cm, 3 cm, 3.5 cm, 4 cm pada setiap titik titik A,B : dosis diukur tepat pada lapangan yang dilindungi dengan blok, titik C, D, E, F, G, H : dosis diukur pada lapangan yang tidak dilindungi blok dan Dref adalah dosis referensi.

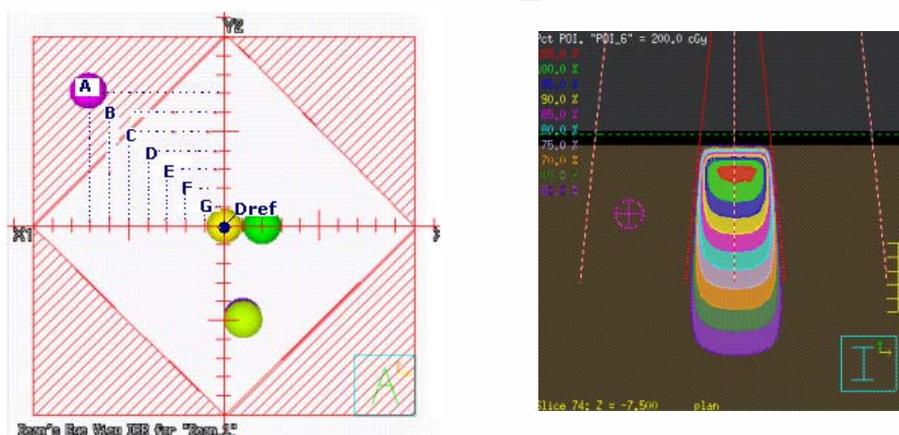
4. Pengukuran dosis dengan blok 10 cm x 8 cm disebut seperti gambar berikut :



Gambar 3.8 Skema penutupan blok 10 cm x 8 cm dan penentuan titik pengukuran

Pengukuran dilakukan pada kedalaman 5 cm, 8 cm, 10 cm, 12 cm, 15cm pada setiap titik. Titik A, B : diukur tepat pada lapangan yang dilindungi dengan blok, titik C : dosis diukur tepat pada lapangan tepi blok, titik D, E, F, G, H : dosis diukur pada lapangan yang tidak dilindungi blok dan Dref adalah dosis referensi.

5. Pengukuran dosis dengan 4 blok segitiga sama sisi seperti gambar berikut



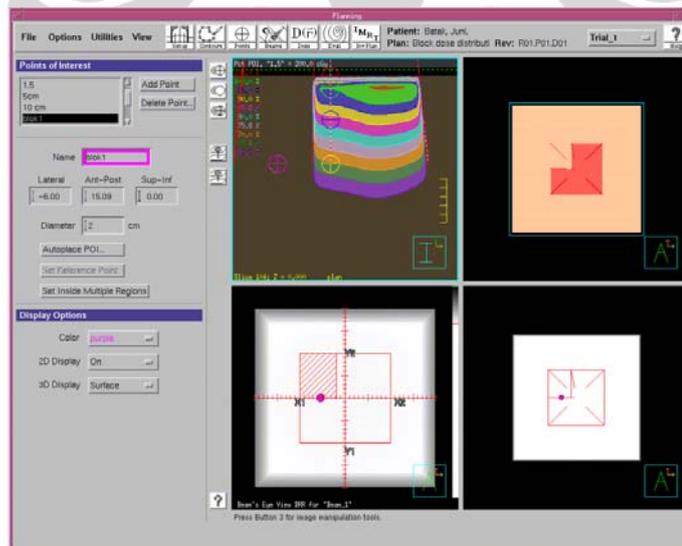
Gambar 3.9 Skema penutupan 4 buah blok segitiga sama sisi dengan sisi 10 cm dan penentuan titik pengukuran.

Pengukuran dilakukan pada titik pengukuran yang telah ditentukan, titik A, B adalah dosis diukur tepat pada lapangan yang dilindungi dengan blok, titik C, D, E, F, G, adalah dosis diukur pada lapangan yang tidak dilindungi blok dan Dref adalah dosis referensi.

3.3 Kalkulasi dosis serap dengan Treatments Planning System (TPS)

Treatment planning system digunakan untuk merekonstruksi volumetrik dari citra CT, setelah direkonstruksi kemudian dilakukan simulasi perlakuan radioterapi dan kalkulasi distribusi dosis.

Semua kondisi pengukuran yang telah dilaksanakan disimulasikan dalam TPS, kemudian distribusi dosis dalam medium dikalkulasi selanjutnya hasil pengukuran dibandingkan dengan kalkulasi TPS. Tampilan pada system computer TPS dapat dilihat gambar 3.10.



Gambar 3.10 Tampilan pada computer TPS Pinnacle

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keberhasilan radioterapi sangat dipengaruhi oleh akurasi pengukuran dan perhitungan dosimetri. Pengukuran transmisi dosis pesawat Linac pada umumnya dilakukan untuk lapangan teratur. Padahal dalam klinis ukuran lapangan yang digunakan dalam terapi tidak teratur, tergantung kepada bentuk dan letak kanker. Disamping itu untuk optimasi dosis terapi sering pula proteksi organ yang dekat dengan kanker perlu dilakukan dengan cara menutup sebagian lapangan yang dekat organ risk, maka perlu dibuat blok yang dapat menyaring pajanan radiasi sehingga lapangan menjadi asimetri dan sesuai dengan kondisi kanker. Penggunaan blok *cerrobend* ini akan berpengaruh dalam perhitungan dosis radiasi yang akan diberikan dalam terapi (perhitungan dosimetri).

Dalam penelitian ini telah dilakukan pengukuran dosis transmisi pada medium akrilik dari 3 bentuk lapangan yang tidak teratur (*iregular*), pengukuran pada lapangan dengan *shielding* blok tipis simulasi untuk proteksi daerah tenggorokan disebut lapangan I. Lapangan dengan *shielding* blok cerrobend yang cukup lebar disebut lapangan II, dan lapangan II adalah simulasi perlakuan serviks dengan 4 buah blok yang berbentuk segitiga. Hasil pengukuran dapat langsung dibaca pada tayangan computer yang dihubungkan dengan PTW 2D Array. Ukuran blok cerrobend ditunjukkan pada tabel 4.1 dibawah ini :

Tabel 4.1 Ukuran shielding blok cerrobend

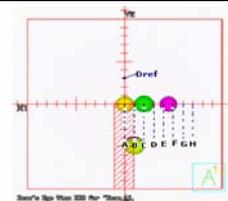
Lapangan	Simulasi	Ukuran blok
Lapangan I	proteksidaerah tenggorokan	10 cm x 1 cm 10 cm x 2 cm 10 cm x 3 cm
Lapangan II	Proteksi organ tertentu	10 cm x 8 cm
Lapangan III	serviks	4 blok segitiga, sisi 10 cm x 10 cm

4.1 Lapangan I

Pada lapangan I ukuran blok relatif kecil terhadap ukuran lapangan dasar, sehingga pengaruh hamburan masih tinggi pada dosis transmisi pada daerah tertutup blok. Hasil pengukuran dan kalkulasi TPS dapat dilihat dalam Tabel 4.2. dan Tabel 4.3 untuk ukuran blok dengan lebar 1 cm. Tabel 4.4 menunjukkan selisih dari data pengukuran dan kalkulasi TPS (Tabel 4.2 dan Tabel 4.3). Dengan cara yang sama dibuat Tabel 4.5 dan 4.6 untuk lebar blok 2 cm dan Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 untuk lebar blok 3 cm.

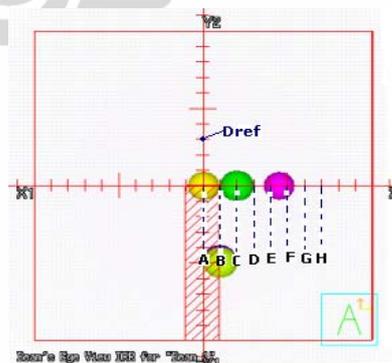
Tabel 4.2 Hasil pengukuran dosis diberbagai titik dan kedalaman dari berkas sinar-x 6 MV pada lapangan tidak teratur (lap. dasar 20 x 20 cm²) dengan lebar shielding 1 cm.

Lebar Blok	Titik Pengukuran	Dosis (cGray) / persentasi transmisi dosis pada kedalaman (cm)				
		2	2.5	3	3.5	4
1 cm	Dref	204.60	199.47	195.33	191.53	187.00
	A	32.67 (16.0)	33.57 (16.8)	34.70 (17.8)	35.73 (18.7)	36.53 (19.5)
	B	181.87 (88.9)	175.83 (88.2)	171.20 (87.6)	167.37 (87.4)	162.80 (87.1)
	C	202.47 (99.0)	197.13 (98.8)	192.60 (98.6)	188.43 (98.4)	183.70 (98.2)
	D	205.33 (100.4)	199.97 (100.3)	195.57 (100.1)	191.40 (99.9)	186.67 (99.8)
	E	206.00 (100.7)	200.83 (100.7)	196.30 (100.5)	192.23 (100.4)	187.43 (100.2)
	F	207.83 (101.6)	201.50 (101)	197.27 (101)	193.87 (101.2)	189.53 (101.4)
	G	206.50 (100.9)	201.20 (100.9)	196.67 (100.7)	192.33 (100.4)	187.73 (100.4)
	H	206.03 (100.7)	200.70 (100.6)	196.07 (100.4)	191.93 (100.2)	187.10 (100.1)



Tabel 4.3 Kalkulasi TPS diberbagai titik dan kedalaman dari berkas sinar-x 6 MV pada lapangan tidak teratur (lap. dasar 20 x 20 cm²) dan lebar shielding 1 cm

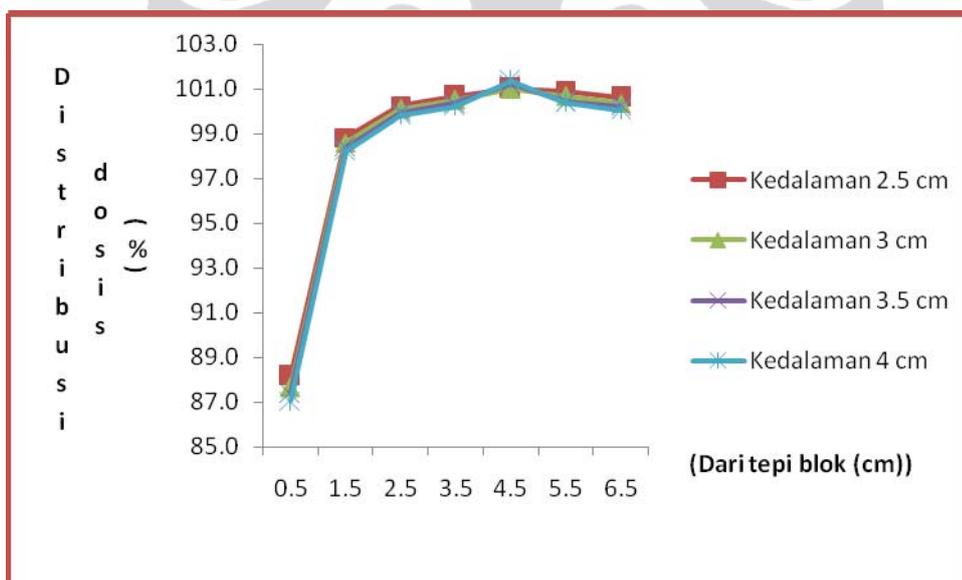
Lebar Blok	Titik Pengukuran	Dosis (cGray) / persentasi transmisi dosis pada kedalaman (cm)				
		2	2.5	3	3.5	4
1 cm	Dref	196.5	194.1	190.3	186.1	184.5
	A	28.09 (14.3)	30 (15.5)	31.3 (16.4)	32.4 (17.4)	33.4 (18.1)
	B	192.2 (97.8)	187.7 (96.7)	183.8 (96.6)	178.8 (95.8)	174.6 (94.6)
	C	199.6 (101.6)	196.6 (101.3)	192.5 (101.2)	188.6 (101.1)	185.5 (100.5)
	D	200.4 (102.0)	197.7 (101.9)	193.5 (101.7)	189.4 (101.5)	186.3 (101.0)
	E	200.5 (102.0)	197.9 (101.0)	193.7 (101.8)	189.6 (101.6)	187 (101.4)
	F	200.4 (102.0)	197.6 (101.8)	193.6 (101.7)	189.6 (101.6)	187.1 (101.4)
	G	200.6 (102.1)	197.8 (101.9)	193.6 (101.7)	189.5 (101.6)	187.1 (101.4)
	H	200.2 (101.9)	197.2 (101.6)	192.9 (101.4)	188.8 (101.2)	187 (101.4)



Tabel 4.4 Selisih hasil pengukuran dan kalkulasi TPS (tabel 4.2 dan tabel 4.3)

Lebar Blok	Titik Pengukuran	Selisih hasil pengukuran dan kalkulasi TPS pada kedalaman (cm)				
		2	2.5	3	3.5	4
1 cm	A	1.67	1.37	1.32	1.32	1.43
	B	-8.92	-8.55	-8.94	-8.44	-5.35
	C	-2.62	-2.46	-2.56	2.69	1.27
	D	-1.63	-1.60	-1.56	-1.57	-0.07
	E	-1.35	-1.27	-1.29	-1.24	-0.26
	F	-0.40	-0.78	-0.74	-0.39	-0.92
	G	-1.16	-1.04	-1.05	-1.14	-0.20
	H	-1.18	-0.98	-0.99	-0.97	-0.33

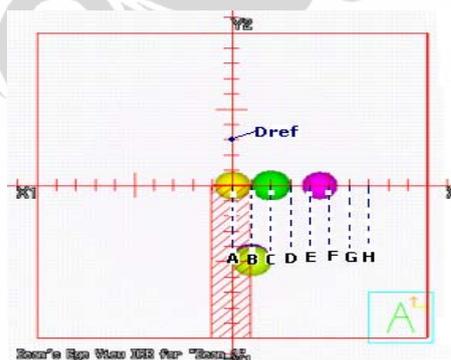
Untuk lebih jelasnya data dalam tabel 4.2 dapat di lihat dalam gambar 4.1.



Gambar 4.1 Persentasi Distribusi dosis sinar -X 6MV lapangan rectangular (ukuran blok 10 cm x 1 cm)

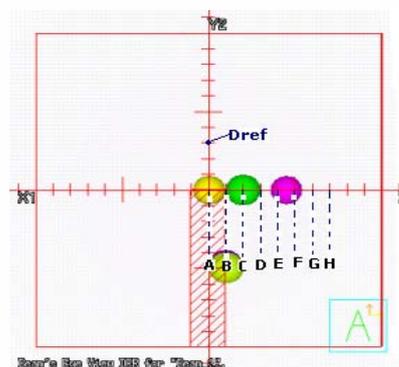
Tabel 4.5 Hasil pengukuran dosis diberbagai titik dan kedalaman dari berkas sinar-x 6 MV pada lapangan tidak teratur (lap. dasar 20 x 20 cm²) dengan lebar shielding blok 2 cm

Lebar Blok	Titik Pengukuran	Dosis (cGray) / persentasi transmisi dosis pada kedalaman (cm)				
		2	2.5	3	3.5	4
2 cm	Dref	202.20	198.47	194.47	189.57	186.13
	A	21.13 (10.5)	22.20 (11.2)	23.20 (11.9)	24.10 (12.7)	25.17 (13.5)
	B	66.97 (33.1)	65.03 (32.8)	63.07 (32.4)	60.97 (32.2)	58.70 (31.5)
	C	197.40 (97.6)	193.07 (97.3)	188.53 (96.9)	183.17 (96.6)	179.23 (96.3)
	D	202.10 (100.0)	198.20 (99.9)	193.87 (99.7)	188.57 (99.5)	184.73 (99.2)
	E	203.67 (100.7)	199.53 (100.5)	195.30 (100.4)	190.03 (100.2)	186.27 (100.1)
	F	203.60 (100.7)	199.53 (100.5)	195.33 (100.4)	190.03 (100.2)	187.00 (100.1)
	G	204.57 (101.2)	200.43 (101.0)	196.17 (100.9)	190.87 (100.7)	186.33 (100.5)
	H	203.90 (100.8)	200.00 (100.8)	195.63 (100.6)	190.27 (100.4)	187.00 (100.2)



Tabel 4.6 Kalkulasi TPS diberbagai titik dan kedalaman dari berkas sinar-x 6 MV pada lapangan tidak teratur (lap. dasar 20 x 20 cm²) dan lebar shielding blok 2 cm

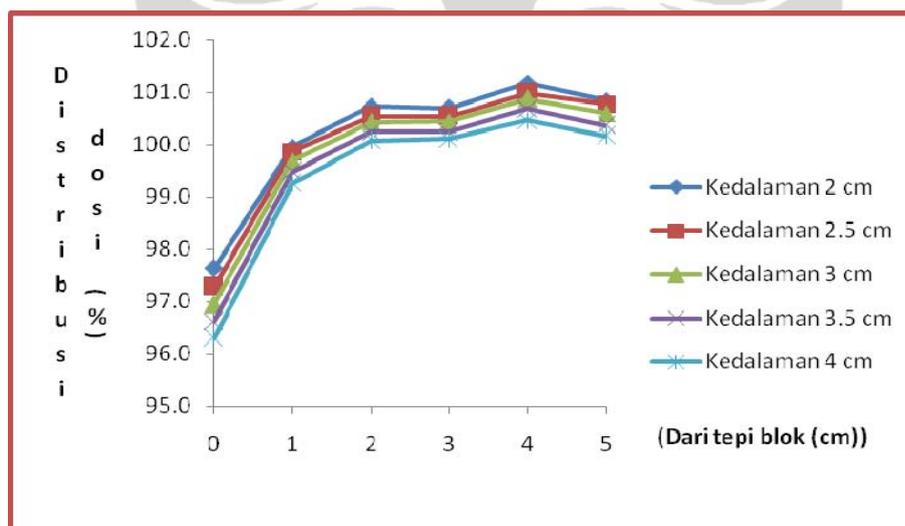
Lebar blok	Titik Pengukuran	Dosis (cGray) / persentasi transmisi dosis pada kedalaman (cm)				
		2	2.5	3	3.5	4
2 cm	Dref	196.7	194.1	190.5	186.8	184.7
	A	17 (8.6)	17.9 (9.2)	18.8 (9.9)	19.8 (10.6)	20.7 (11.2)
	B	112.8 (57.3)	109.7 (56.5)	108.4 (56.9)	107.4 (57.5)	106.2 (57.5)
	C	199.0 (101.2)	195.2 (100.6)	191.1 (100.4)	186.8 (100.0)	182.6 (98.9)
	D	200.2 (101.8)	197.3 (101.6)	193.2 (101.4)	189.5 (101.4)	185.4 (100.4)
	E	200.6 (102.0)	197.8 (101.9)	193.6 (101.6)	189.5 (101.4)	185.4 (100.4)
	F	200.5 (101.9)	197.7 (101.9)	193.7 (101.7)	189.7 (101.6)	185.6 (100.5)
	G	200.6 (102.0)	197.8 (101.9)	193.5 (101.6)	189.3 (101.3)	185.1 (100.2)
	H	200.3 (101.8)	197.3 (101.6)	192.9 (101.3)	188.6 (101.0)	184.5 (99.9)



Tabel 4.7 Selisih hasil pengukuran dan kalkulasi TPS (tabel 4.5 dan tabel 4.6)

Lebar Blok	Titik Pengukuran	Selisih hasil pengukuran dan kalkulasi TPS pada kedalaman (cm)				
		2	2.5	3	3.5	4
2 cm	A	1.81	1.96	2.06	2.11	2.31
	B	-24.23	-23.75	-24.47	-25.33	-25.33
	C	-3.54	-3.29	-3.42	-3.38	-2.57
	D	-1.83	-1.78	-1.73	-1.97	-1.13
	E	-1.26	-1.37	-1.20	-1.20	-0.31
	F	-1.24	-1.32	-1.23	-1.31	-0.38
	G	-0.81	-0.92	-0.70	-0.65	0.25
	H	-0.99	-0.88	-0.66	-0.59	0.27

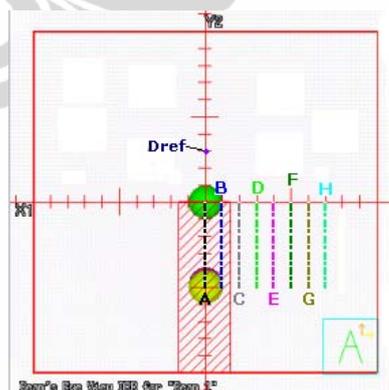
Untuk lebih jelasnya data dalam tabel 4.5 dapat di lihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Persentasi Distribusi dosis sinar -X 6MV lapangan rectangular (ukuran blok 10 cm x 2 cm)

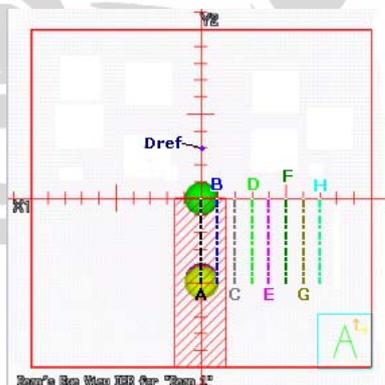
Tabel 4.8 Hasil pengukuran dosis diberbagai titik dan kedalaman dari berkas sinar-x 6 MV pada lapangan tidak teratur (lap. dasar 20 x 20 cm²) dan lebar shielding blok 3 cm

Lebar Blok	Titik Pengukuran	Dosis (cGray) / persentasi transmisi dosis pada kedalaman (cm)				
		2	2.5	3	3.5	4
3 cm	Dref	203.77	199.30	194.27	190.30	186.37
	A	16.8 (8.2)	17.63 (8.8)	18.40 (9.5)	19.13 (10.1)	19.93 (10.7)
	B	19.87 (9.7)	20.50 (10.3)	21.33 (11.0)	22.13 (11.6)	22.83 (12.3)
	C	165.60 (81.3)	160.23 (80.4)	153.93 (79.2)	149.20 (78.4)	144.73 (77.7)
	D	201.53 (98.9)	196.67 (98.7)	191.10 (98.4)	186.57 (98.0)	182.13 (97.7)
	E	204.13 (100.2)	199.43 (100.1)	194.03 (99.9)	189.73 (99.7)	185.23 (99.4)
	F	204.67 (100.4)	200.00 (100.4)	194.73 (100.2)	190.43 (100.1)	186.03 (99.8)
	G	205.87 (101.0)	201.20 (101.0)	195.90 (100.8)	191.50 (100.6)	187.03 (100.4)
	H	205.60 (100.9)	200.90 (100.8)	195.53 (100.7)	191.10 (100.4)	186.60 (100.1)



Tabel 4.9 Kalkulasi TPS diberbagai titik dan kedalaman dari berkas sinar-x 6 MV pada lapangan tidak teratur (lap. dasar 20 x 20 cm²) dan lebar shielding 3cm

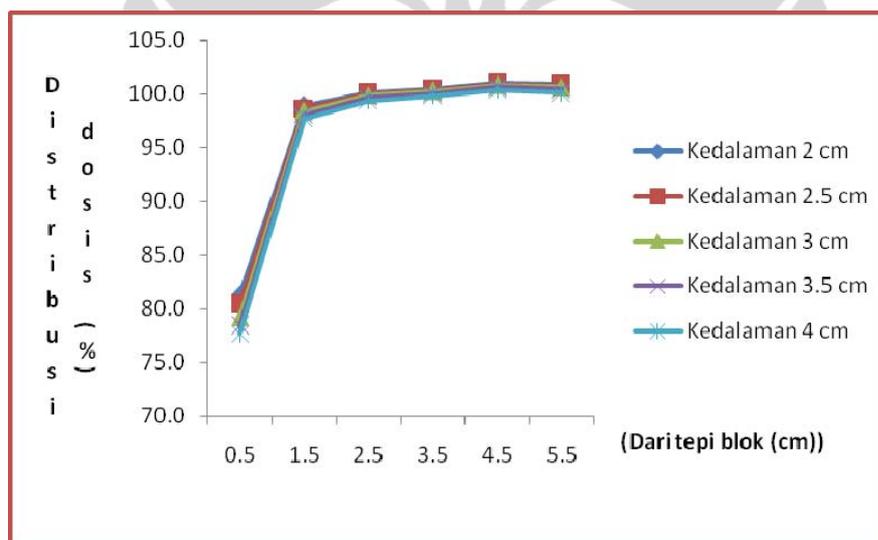
Lebar Blok	Titik Pengukuran	Dosis (cGray) / persentasi transmisi dosis pada kedalaman (cm)				
		2	2.5	3	3.5	4
3 cm	Dref	197.2	194.8	190.8	187	184.9
	A	14.2 (7.2)	14.9 (7.6)	15.6 (8.2)	16.3 (8.7)	17 (9.2)
	B	21.1 (10.7)	21.7 (11.1)	22.1 (11.6)	22.5 (12.0)	23 (12.4)
	C	191.9 (97.3)	186.5 (95.7)	181 (94.9)	175.7 (94.0)	171.9 (93.0)
	D	200.3 (101.6)	197.1 (101.2)	192.8 (101.0)	188.3 (100.7)	184.3 (100.6)
	E	200.7 (101.8)	197.9 (101.6)	193.7 (101.5)	189.9 (101.6)	185.3 (100.2)
	F	200.8 (101.8)	197.9 (101.6)	193.9 (101.6)	189.7 (101.4)	185.6 (100.4)
	G	200.9 (101.9)	198.1 (101.7)	193.8 (101.6)	189.6 (101.4)	185.7 (100.4)
	H	200.6 (101.7)	197.6 (101.4)	193.2 (101.3)	189 (101.1)	184.9 (100.0)



Tabel 4.10 Selisih hasil pengukuran dan kalkulasi TPS (tabel 4.8 dan tabel 4.9)

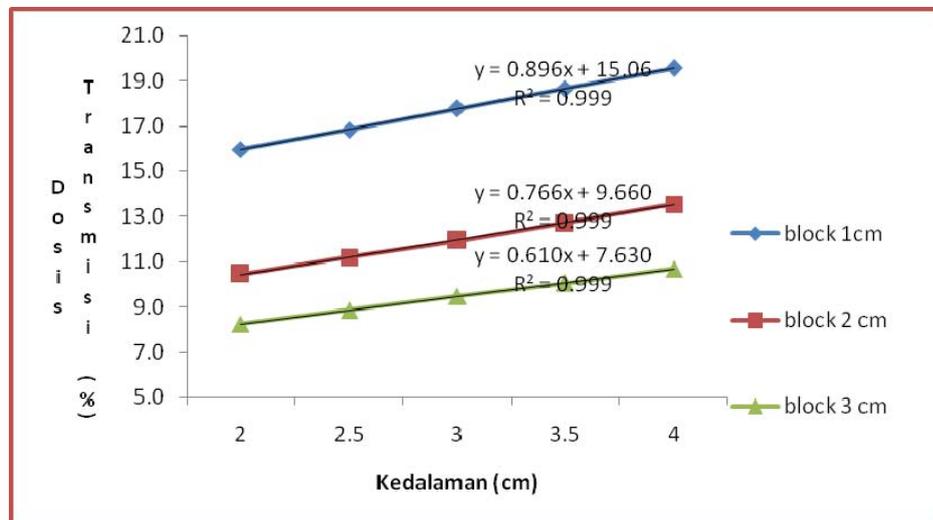
Lebar Blok	Titik Pengukuran	Selisih hasil pengukuran dan kalkulasi TPS pada kedalaman (cm)				
		2	2.5	3	3.5	4
3 cm	A	1.04	1.20	1.30	1.34	1.50
	B	-0.95	-0.85	-0.60	-0.40	-0.19
	C	-16.04	-15.34	-15.63	-15.55	-15.31
	D	-2.67	-2.50	-2.50	-2.66	-1.89
	E	-1.59	-1.52	-1.52	-1.85	-0.82
	F	-1.38	-1.24	-1.24	-1.37	-0.56
	G	-0.85	-0.74	-0.74	-0.76	-0.07
	H	-0.82	-0.63	-0.63	-0.65	0.13

Untuk lebih jelasnya data dalam tabel 4.8 dapat di lihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Persentasi Distribusi dosis sinar -X 6MV lapangan rectangular (ukuran blok 10 cm x 3 cm)

Khusus untuk dosis transmisi pada tengah daerah yang blok sangat berpengaruh dengan lebar blok. Untuk variasi lebar blok lapangan I yaitu 1 cm, 2 cm, 3 cm dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Persentasi dosis transmisi dengan variasi kedalaman dan lebar blok cerrobend ($10 \times 1 \text{ cm}^2$, $10 \times 2 \text{ cm}^2$ and $10 \times 3 \text{ cm}^2$) pada lapangan $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$

Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan blok cerrobend untuk proteksi organ sekitar target tumor sangat berpengaruh dengan lebar blok yang digunakan. Untuk penutupan lapangan I yang divariasikan dari lebar 1 cm, 2 cm dan 3 cm menghasilkan persentasi dosis yang berbeda. Lapangan ini umumnya digunakan untuk penyinaran jaringan supraklavikula untuk memproteksi tenggorokan pada kedalaman 2.5 cm. Dengan pengandaian tenggorokan pada kedalaman 2.5 cm akan menerima dosis transmisi 16.8 %, untuk lebar blok 1 cm, 11.2 %, untuk lebar blok 2 cm dan 8.8 % untuk lebar blok 3 cm. Untuk lebar blok 1 cm dan 2 cm dosis transmisi masih jauh dari yang diharapkan, sedangkan untuk blok yang lebar 3 cm hampir mendekati dari batas dosis transmisi yang diijinkan yaitu dibawah 5 %¹⁶. Dilain pihak daerah diluar blok terutama pada daerah di tepi blok untuk kedalaman 2.5 cm ternyata menerima dosis untuk blok 1 cm 88.2 %, untuk blok 2 cm 32.8 %, untuk blok 3 cm 80.4 %. Penelitian ini penting untuk diketahui oleh oncologist, dalam ICRU Report 62 bahwa distribusi dosis pada target diperbolehkan mempunyai deviasi

+7% dan -5%. Panjang transisi yang didefinisikan mulai dari pinggir blok sampai pencapaian dosis referensi sekitar 2 cm dari tepi blok, dan ternyata tidak bergantung pada lebar blok.

Dosis transmisi hasil kalkulasi TPS menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan hasil pengukuran, ini dapat dilihat dari nilai ratio kalkulasi TPS dan hasil pengukuran masih dibawah 2 %, nilai ini masih diperbolehkan dari batas yang diijinkan dibawah 3 %¹². Tetapi untuk distribusi dosis di luar blok perbedaannya cukup tinggi terutama pada daerah tepat di tepi blok.

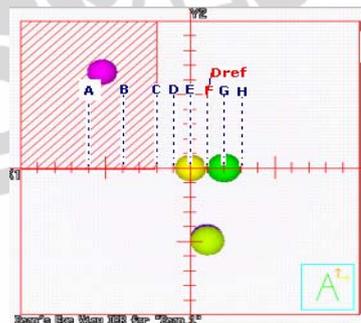
Dosis transmisi pada tengah daerah yang blok bergantung pada kedalaman dan lebar blok. Untuk lebar blok 1 cm dosis transmisi masih cukup tinggi disebabkan karena hamburan dari medium, sedangkan untuk lebar blok 2 cm dosis transmisi semakin berkurang dibandingkan dengan lebar blok 1 cm. Penutupan lapangan dengan lebar blok 3 cm dosis transmisi hampir mendekati dari yang diharapkan yaitu dibawah 5%¹⁸. Dari grafik tersebut diatas untuk blok yang semakin lebar maka dosis transmisi akan semakin menurun, dilain pihak dosis transmisi hampir tidak dipengaruhi kenaikan kedalaman, hal ini dilihat dari nilai linearitas $R^2 = 0.999$ untuk semua lebar blok.

4.2 Lapangan II

Untuk pengukuran lapangan II ukuran blok lebih lebar dibandingkan pengukuran pada lapangan I yaitu 8 cm, sehingga pengaruh hamburan lebih sedikit pada dosis transmisi. Hasil pengukuran dan kalkulasi TPS dapat dilihat dalam Tabel 4.11. dan Tabel 4.12. Tabel 4.13 menunjukkan ratio data dari Tabel 4.11 dan Tabel 4.12.

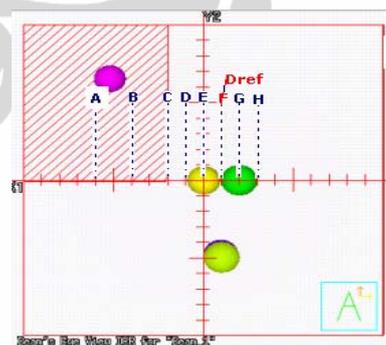
Tabel 4.11 Hasil pengukuran dosis diberbagai titik dan kedalaman dari berkas sinar-x 6 MV pada lapangan tidak teratur (lap. dasar 20 x 20 cm²) dan ukuran blok 10 x 8 cm²

Lebar blok	Titik Pengukuran	Dosis (cGray) / persentasi transmisi dosis pada kedalaman (cm)				
		5	8	10	12	15
8 cm	Dref	179.90	155.73	138.80	125.03	106.17
	A	10.57 (5.9)	11.50 (7.4)	11.87 (8.5)	12.07 (9.7)	12.00 (11.3)
	B	14.20 (7.9)	15.67 (10.1)	16.23 (11.7)	16.43 (13.1)	16.07 (15.1)
	C	102.00 (56.7)	86.83 (55.8)	76.57 (55.2)	67.93 (54.3)	55.57 (52.3)
	D	171.30 (95.2)	146.90 (94.3)	130.47 (94.0)	117.27 (93.8)	99.50 (93.7)
	E	178.37 (99.1)	153.47 (98.5)	136.33 (98.2)	122.80 (98.2)	103.90 (97.9)
	F	179.90 (100.0)	155.73 (100.0)	138.80 (100.0)	125.03 (100.0)	106.17 (100.0)
	G	182.50 (101.4)	157.43 (101.1)	141.23 (101.8)	127.50 (102.0)	108.33 (102.0)
	H	181.87 (101.1)	157.23 (101.0)	140.63 (101.3)	126.70 (101.3)	107.90 (101.6)



Tabel 4.12 Kalkulasi dosis diberbagai titik dan kedalaman dari berkas sinar-x 6 MV pada lapangan tidak teratur (lap. dasar 20 x 20 cm²) dan ukuran blok 10 x 8 cm²

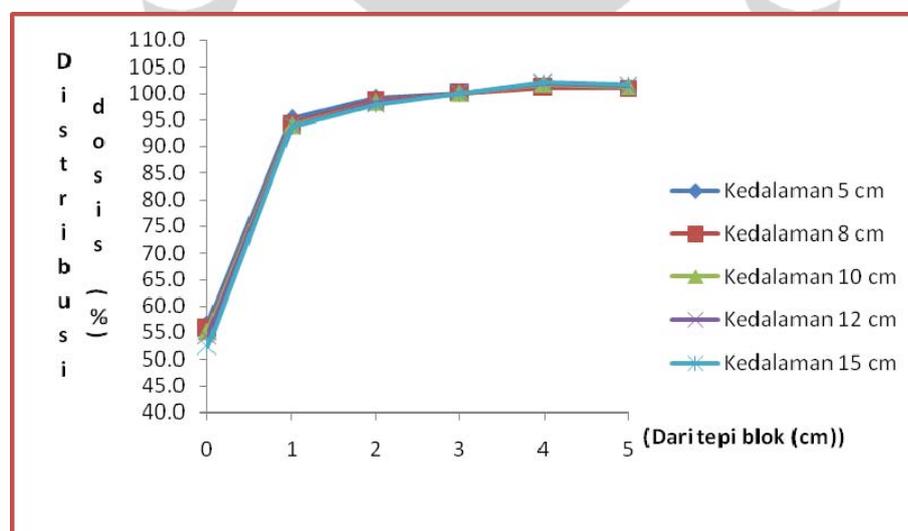
Lebar blok	Titik Pengukuran	Dosis (cGray) / persentasi transmisi dosis pada kedalaman (cm)				
		5	8	10	12	15
8 cm	Dref	169.1	147.5	133.6	121	104.4
	A	11.2 (6.6)	11.8 (8.0)	12 (9.0)	12.2 (10.1)	12 (11.5)
	B	14.9 (8.8)	15 (10.2)	15.1 (11.3)	15.2 (12.6)	14.9 (14.3)
	C	93.4 (55.2)	81 (54.9)	72.2 (54.0)	65 (53.7)	55.8 (53.4)
	D	174.4 (103.1)	150.4 (102.0)	135.6 (101.5)	122.2 (101.0)	104.5 (100.1)
	E	175.4 (103.7)	151.5 (102.7)	136.8 (102.4)	123.5 (102.1)	105.7 (101.2)
	F	175.8 (104.0)	152.2 (103.2)	137.6 (103.0)	124.1 (102.6)	106.3 (101.8)
	G	175.5 (103.8)	152.6 (103.5)	137.9 (103.2)	124.6 (103.0)	106.8 (102.3)
	H	176.6 (104.4)	152.9 (103.7)	138.2 (103.4)	124.8 (103.1)	107 (102.5)



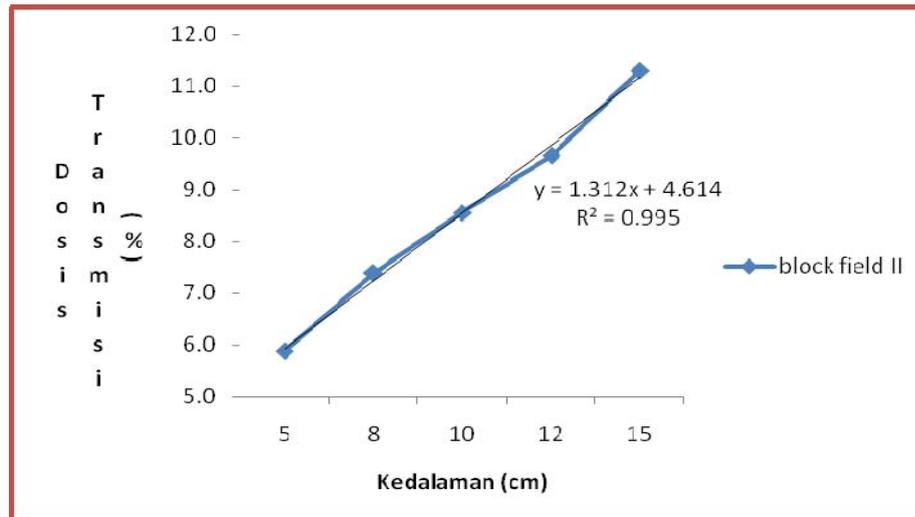
Tabel 4.13 Selisih hasil pengukuran dan kalkulasi TPS (tabel 4.11 dan tabel 4.12)

Lebar blok	Titik Pengukuran	Selisih pengukuran dan kalkulasi TPS pada kedalaman (cm)				
		5	8	10	12	15
8 cm	A	-0.75	-0.62	-0.43	-0.43	-0.19
	B	-0.92	-0.11	0.39	0.58	0.86
	C	1.46	0.84	1.12	0.61	-1.11
	D	-7.91	-7.64	-7.50	-7.20	-6.38
	E	-4.58	-4.17	-4.17	-3.85	-3.38
	F	-3.96	-3.19	-2.99	-2.56	-1.82
	G	-2.34	-2.37	-1.47	-1.00	-0.26
	H	-3.34	-2.70	-2.12	-1.81	-0.86

Untuk lebih jelasnya data dalam tabel 4.13 dapat kita lihat dalam grafik pada gambar 4.5.



Gambar 4.5 Persentasi Distribusi dosis sinar $-X$ 6MV lapangan rectangular (ukuran blok 10 cm x 8 cm)



Gambar 4.6 Persentasi dosis transmisi dengan variasi kedalaman pada lapangan 20 cm x 20cm ditutupi blok cerrobend (10 x 8cm²)

Pengukuran lapangan II dilakukan dengan ukuran blok yang cukup lebar yaitu 10 cm x 8 cm. Lapangan ini umumnya digunakan untuk penyinaran sembarang untuk proteksi organ sehat disekitar target tumor yang cukup lebar. Khusus untuk dosis transmisi pada tengah daerah yang blok lapangan II meningkat secara linear dengan kenaikan kedalaman, hal ini disebabkan adanya hamburan dari medium. Nilai linearitas $Y = 1.3x + 4.6$, dimana x adalah kedalaman dan Y adalah persentasi distribusi dosis, dengan $R^2 = 0.995$. Khusus untuk dosis transmisi yang diterima oleh organ yang diproteksi yaitu 5.9% untuk kedalaman 5 cm, untuk kedalaman 8 cm 7.4%, kedalaman 10 cm 8.5%, kedalaman 12 cm 9.7 % dan kedalaman 15 cm 11.3%. untuk semua kedalaman hampir 2 kali lebih besar dari dosi batas dosis yang diijinkan yaitu dibawah 5 %¹⁸, kecuali untuk kedalaman 5 cm dosis transmisi hampir mendekati dari yang diharapkan.

Panjang daerah transisi dari pinggir blok sampai pencapaian nilai dosis referensi sekitar 1 cm dari tepi blok, dan ternyata tidak bergantung dengan kedalaman. Untuk dosis di tepat tepi blok hampir mendekati dari batas dosis yang diijinkan, yaitu 56.7% untuk kedalaman 5 cm, 55.8% untuk kedalaman 8 cm, 55.2% untuk kedalaman 10 cm, 54.3% untuk kedalaman 12 cm, dan 52.3% untuk

kedalaman 15 cm. Penelitian ini juga sangat penting untuk diketahui oleh oncologist sesuai dengan Report ICRU 62 yang telah disebut diatas.

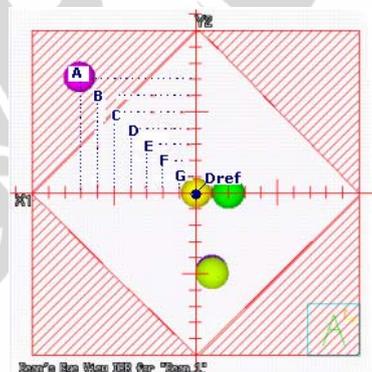
Seperti pada pengukuran lapangan I, pengukuran lapangan II juga menghasilkan nilai kalkulasi TPS dengan hasil pengukuran tidak jauh berbeda, dapat dilihat dari nilai ratio kalkulasi TPS dan hasil pengukuran masih dibawah 2%, nilai ini masih diperbolehkan dari batas maksimum yang diijinkan 3 %¹².

4.3 Lapangan III

Pada pengukuran lapangan III blok yang digunakan 4 buah segita sama sisi dengan sisi 10 cm x 10 cm, karena blok relative lebar sehingga hamburan dari medium berkurang maka dosis transmisi juga berkurang. Pengukuran dosis lapangan untuk lapangan III juga dilakukan di berbagai titik dan kedalaman. Hasil pengukuran dan kalkulasi TPS dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan Tabel 4.15, data selisih hasil pengukuran dan kalkulasi TPS ditunjukkan dalam Tabel 4.16.

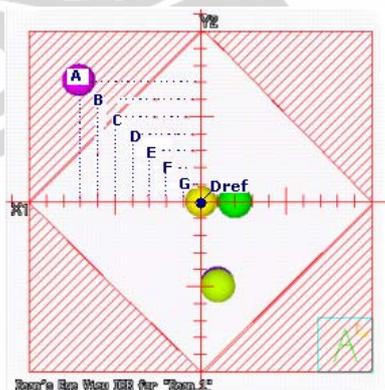
Tabel 4.14 Hasil pengukuran dosis diberbagai titik dan kedalaman dari berkas sinar-x 6 MV pada lapangan tidak teratur (lap. dasar 20 x 20 cm²), 4 blok segitiga sama sisi 10 x 10 cm²

Ukuran blok	Titik Pengukuran	Dosis (cGray) / persentasi transmisi dosis pada kedalaman (cm)				
		5	8	10	12	15
4 segitiga sama sisi	Dref	171.70	149.20	134.77	121.27	108.60
	A	10.60 (6.2)	11.77 (7.9)	12.30 (9.1)	12.53 (10.3)	12.43 (11.4)
	B	15.73 (9.2)	17.90 (12.0)	18.13 (13.5)	18.73 (15.4)	18.40 (16.9)
	C	132.80 (77.3)	132.20 (88.6)	124.60 (92.5)	112.30 (92.6)	100.70 (92.7)
	D	175.27 (102.1)	150.83 (101.1)	135.93 (100.9)	121.97 (100.6)	107.80 (99.3)
	E	182.00 (106.0)	155.50 (1004.2)	139.37 (103.4)	124.37 (102.6)	109.57 (100.9)
	F	176.63 (102.9)	152.57 (102.3)	137.40 (102.0)	123.17 (101.6)	109.80 (101.1)
	G	173.40 (101.0)	149.83 (100.4)	135.23 (100.3)	121.53 (100.2)	108.77 (100.2)



Tabel 4.15 Kalkulasi dosis dalam TPS diberbagai titik dan kedalaman dari berkas sinar-x 6 MV pada lapangan tidak teratur (lap. dasar 20 x 20 cm²), 4 blok segitiga sama sisi 10 x 10 cm²

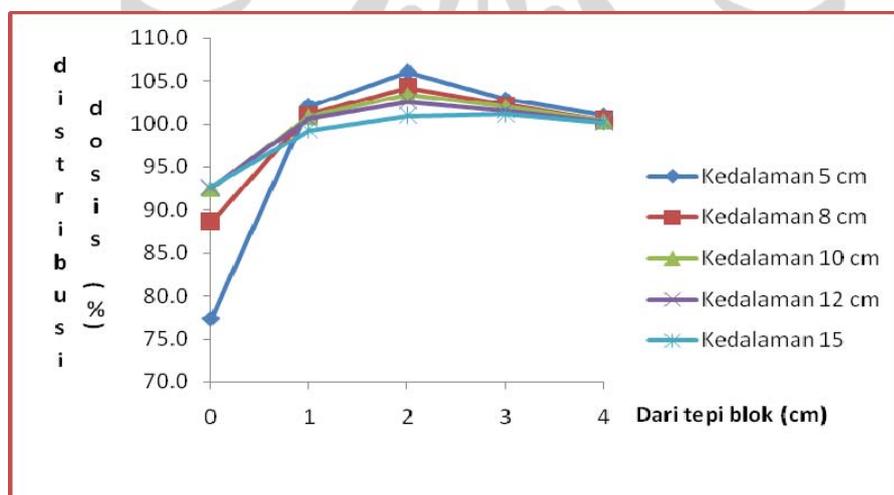
Lebar blok	Titik Pengukuran	Dosis (cGray) / persentasi transmisi dosis pada kedalaman (cm)				
		5	8	10	12	15
4 segitiga sama sisi	Dref	170.8	148.7	134.9	121.7	104.8
	A	10.9 (6.4)	11.6 (7.8)	11.7 (8.7)	11.9 (9.8)	12 (11.5)
	B	14.4 (8.4)	16.5 (11.1)	17.8 (13.2)	18.9 (15.5)	22.5 (21.5)
	C	149.9 (87.8)	139.4 (93.7)	127.7 (94.7)	115.8 (95.2)	99.1 (94.6)
	D	174.4 (102.1)	150 (100.9)	135.2 (100.2)	124.4 (102.2)	103.7 (99.0)
	E	176.3 (103.2)	152.4 (102.5)	137.6 (102.0)	123.8 (101.7)	106.1 (101.2)
	F	175.9 (101.8)	150.8 (101.4)	136.3 (101.0)	122.8 (100.9)	105.5 (100.7)
	G	171.1 (100.2)	148.9 (100.1)	134.9 (100.0)	121.7 (100.0)	104.8 (100.0)



Tabel 4.16 Selisih hasil pengukuran dan kalkulasi TPS (tabel 4.14 dan tabel 4.15)

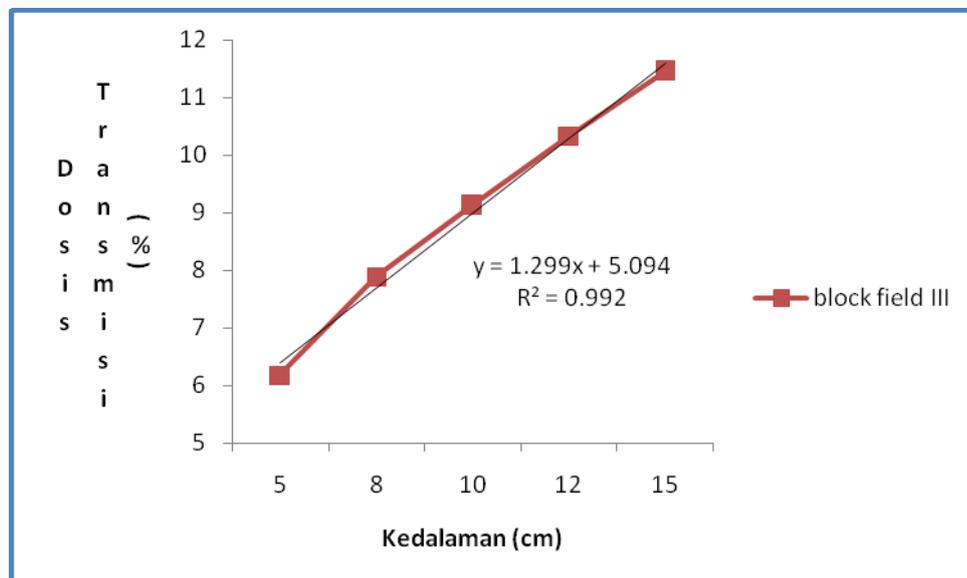
Lebar blok	Titik Pengukuran	Selisih pengukuran dan kalkulasi TPS pada kedalaman (cm)				
		5	8	10	12	15
4 segitiga sama sisi	A	-0.21	0.09	0.45	0.56	0.00
	B	0.73	0.90	0.26	-0.08	-4.53
	C	-10.42	-5.14	-2.21	-2.55	-1.84
	D	-0.03	0.22	0.64	-1.64	0.31
	E	2.78	1.73	1.41	0.83	-0.35
	F	1.06	0.84	0.92	0.66	0.44
	G	0.81	0.29	0.35	0.22	0.15

Untuk lebih jelasnya data dalam tabel 4.16 dapat kita lihat dalam grafik pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Persentasi Distribusi dosis sinar -X 6MV lapangan rectangular (4 buah blok segitiga sama sisi dengan sisi 10 x 10 cm²)

Dosis transmisi berpengaruh dengan kenaikan kedalaman, grafik dibawah ini menunjukkan hubungan persentasi dosis transmisi dengan kedalaman pengukuran.



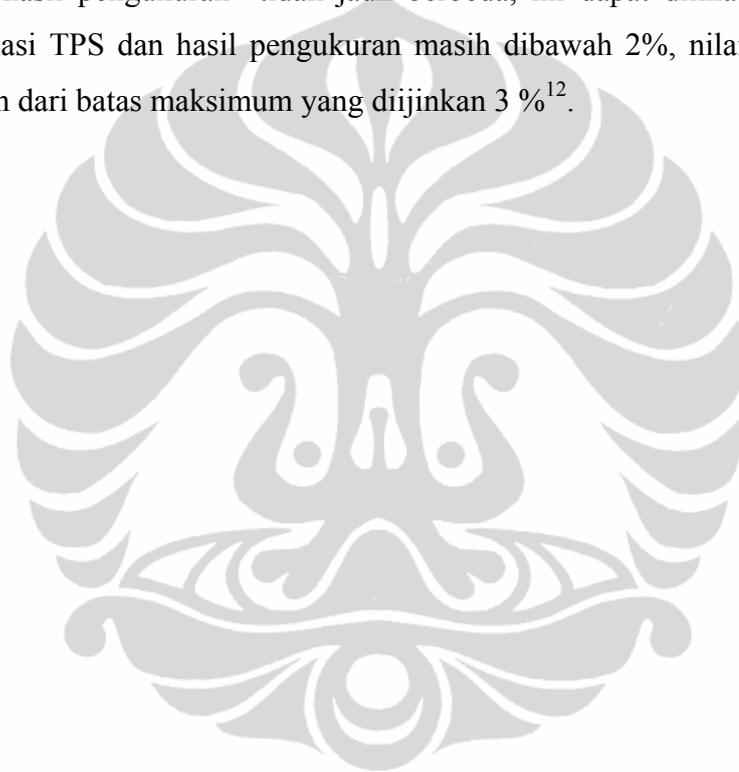
Gambar. 4.8 Persentasi dosis transmisi ditengah lapangan yang dilindungi blok ceerobend variasi kedalaman dengan 4 buah blok segitiga dengan sis 10 cm x 10 cm

Pengukuran dosis pada lapangan III dilakukan dengan 4 buah blok segitiga sama sisi, lapangan ini umumnya digunakan untuk penyinaran serviks untuk memproteksi organ sehat disekitar target tumor. Dosis transmisi akan diterima organ sehat yang diproteksi meningkat secara linear dengan kenaikan kedalaman, disebabkan adanya hamburan dari medium dengan nilai linearitas $Y = 1.3x + 5.1$ dengan $R^2 = 0,992$, dimana x adalah kedalaman dan Y adalah persentasi dosis transmisi. Untuk kedalaman 5 cm dosis transmisi diterima 6.2 %, kedalaman 8 cm (7.2%), kedalaman 10 cm (9.1%), kedalaman 12 cm (10.3%), kedalaman 15 cm 11.4%, nilai ini masih jauh dari yang diharapkan kecuali untuk kedalaman 5 cm hampir mendekati dari batas maksimum yang diijinkan yaitu 5 %¹⁸.

Panjang daerah transisi dari pinggir blok sampai pencapaian nilai dosis referensi sekitar 1 cm dari tepi blok, dan ternyata tidak bergantung dengan kedalaman sama halnya dengan pengukuran pada lapangan I dan II. Untuk dosis

di tepi blok hampir mendekati dari yang diharapkan yaitu 87.8% untuk kedalaman 5 cm, 93.7% untuk kedalaman 8 cm, 94.7% untuk kedalaman 10 cm, 95.2% untuk kedalaman 12 cm, dan 94.6% untuk kedalaman 15 cm. nilai distribusi dosis hampir mendekati batas yang diharapkan bahwa distribusi dosis pada target diperbolehkan mempunyai deviasi +7% dan -5% sesuai dengan Report ICRU 62.

Seperti pada pengukuran lapangan I dan II, transmisi dosis hasil kalkulasi TPS dengan hasil pengukuran tidak jauh berbeda, ini dapat dilihat dari nilai selisih kalkulasi TPS dan hasil pengukuran masih dibawah 2%, nilai ini masih diperbolehkan dari batas maksimum yang diijinkan 3 %¹².



BAB V

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat diambil kesimpulan :

1. Persentase dosis transmisi untuk proteksi organ risk disekitar target tumor bergantung pada lebar blok cerrobend. Bentuk dan ukuran yang optimum blok untuk proteksi daerah yang beresiko antara lain :
 - Untuk blok yang lebarnya 3 cm optimum untuk memproteksi organ yang berukuran 2 cm.
 - Untuk blok lebar 8 cm optimum untuk memproteksi organ yang berukuran 4 cm untuk kedalaman 5 cm.
 - Untuk blok segitiga sama sisi optimum untuk proteksi organ disekitar serviks.
2. Untuk blok cerrobend sempit dibawah 3 cm masih menghasilkan persentasi transmisi dosis lebih dari 10 %.
3. Persentasi dosis transmisi akan menurun dengan kenaikan lebar blok cerrobend dan meningkat dengan kenaikan kedalaman.
4. Persentasi distribusi dosis dari tepi diblok hampir tidak berpengaruh dengan kenaikan kedalaman.
5. Untuk proteksi organ risk dengan blok cerrobend akan menghasilkan daerah transisi (*transition length*), 2 cm untuk lapangan I, dan 1 cm untuk lapangan II, lapangan III.
6. Nilai selisih dosis transmisi hasil kalkulasi TPS dengan hasil pengukuran dibawah 2 %.

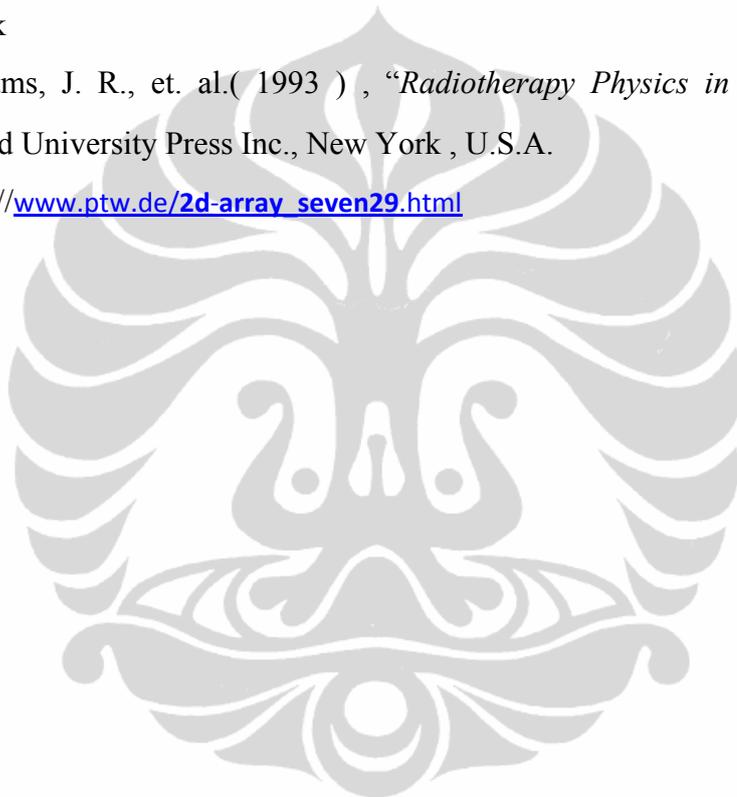
Saran

Untuk penggunaan blok cerrobend dalam klinis harus memperhitungkan lebar blok yang digunakan untuk melindungi *organ risk*, dan daerah transisi.

Daftar Pustaka

- [1] Attix F.H. (1986). “ *Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetri*”, University of Wicosin Medical School, Madison, Wicosin.
- [2] G.Luxton and Melvin.A.A, (1988.) “*Output Factor constituents of a high-energy photon beam*”. *Medical Physics* 15 (1).
- [3] Hall. Eric J, “ *Radiobiology for the Radiologist* ”, 4th ed. J.B Lippincott Company, Philadelphia.
- [4] ICRU Report 62, *Prescribing, Recording and Reporting Photon Beam Therapy (Supplement to ICRU Reports 50)*, The International Commission on Radiation Units and Measurements, 1999.
- [5] Jerrold TB., J Anthony S., Edwin ML., dan John M Boone, (2001). “*The essensial physics of medical imaging*”, Lippincott Williams &Wilkins.
- [6] Johns.H.E, Cunningham, John. R,(1983). “*The Physics of Radiology*”, Charles C Thomas Publisher, Springfield, Illinois, U.S.A.
- [7] Khan.F.M. (1984), “*The Physics of Radiation Therapy*”, Lippincott Williams and Wilkins, Baltimore.
- [8] Kron Thomas, et. Al, (1997). “ *The Physics of Radiaotherapy X-ray and Electrons*”, Medical Physics Publishing, Madison, Wisconsin.
- [9] Medicartel SDN.BHD, (2005). “ *Souercebook Medtec Radiation Oncology Accessories*, Malaysia.
- [10] P. Huang, J. Chu, and B. Bjarngard, (1987)“*The effect of collimator backscatter radiation on photon output of linier accelerators,*” *Medical Physics*. 14, 268.
- [11] Podgorsak, E. B. (2003)“*Review of Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*“, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- [12] Spiridon papatheodorou et al., (1999) “*Dose calculation and verification of intensity modulation generate by dynamic MLC*”.
- [13] S.K.Dwi,(2002) ” *Faktor Hamburan Maksimum Berkas Sinar-X 6 MV and 10 MV*”, *Jurnal Fisika HFI Vol A5 No: 0531*.

- [14] S. Djarwani. (2008), “ buku Panduan Kuliah Radioterapi “, Fisika Medis, Universitas Indonesia
- [15] Sprawls, Perry, *Physical principles of medical imaging second edition*,
- [16] Susworo. R, (2007), “*Dasar – dasar Radioterapi*”, Penerbit Universitas Indonesia. UI Press
- [17] Universitas Indonesia. (2008), “ *pedoman Penulisan Tugas Akhir*” UI, Depok
- [18] Williams, J. R., et. al.(1993) , “*Radiotherapy Physics in Practice*”, Oxford University Press Inc., New York , U.S.A.
- [19] [http : //www.ptw.de/2d-array_seven29.html](http://www.ptw.de/2d-array_seven29.html)



LAMPIRAN 1

Tabel pengukuran pengulangan data yang pertama untuk blok 10 cm x 1 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H	Dref
(cm)	(cGray)								
2	31.2	174.2	199.4	202.2	202.9	202.7	203.6	203.1	201.5
2.5	32.5	170.2	195.4	198.1	199.1	198.7	199.5	199	197.7
3	33.5	164.9	190.2	193	193.8	193.6	194.2	193.7	192.7
3.5	34.5	160.5	185.3	188.1	189.1	188.8	189.4	188.7	188.3
4	35.4	156.3	180.9	183.8	184.6	184.4	185	184.3	184.1

Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang pertama untuk blok 10 cm x 1 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H
(cm)	(%)							
2	15.5	86.5	99.0	100.3	100.7	100.6	101.0	100.8
2.5	16.4	86.1	98.8	100.2	100.7	100.5	100.9	100.7
3	17.4	85.6	98.7	100.2	100.6	100.5	100.8	100.5
3.5	18.3	85.2	98.4	99.9	100.4	100.3	100.6	100.2
4	19.2	84.9	98.3	99.8	100.3	100.2	100.5	100.1

Tabel pengukuran pengulangan data yang ke-I untuk blok 10 cm x 2 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H	Dref
(cm)	(cGray)								
2	20.8	65.8	194.2	200.1	201.6	201.7	202.7	201.4	200.2
2.5	22	63.4	189.6	195.7	197.3	197.4	198.4	198	196.4
3	23	61.2	184.9	191.2	193	193.2	194.1	193.6	192.3
3.5	23.9	59	179.9	186.2	188	188.2	189.1	188.5	187.6
4	24.8	57	175.4	181.9	183.7	183.9	184.7	184.2	183.6

Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang pertama untuk blok 10 cm x 2 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H
(cm)	(%)							
2	10.4	32.9	97.0	100.0	100.7	100.7	101.2	100.6
2.5	11.2	32.3	96.5	99.6	100.5	100.5	101.0	100.8
3	12.0	31.8	96.2	99.4	100.4	100.5	100.9	100.7
3.5	12.7	31.4	95.9	99.3	100.2	100.3	100.8	100.5
4	13.5	31.0	95.5	99.1	100.1	100.2	100.6	100.3

Tabel pengukuran pengulangan data yang ke-I untuk blok 10 cm x 3 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H	Dref
(cm)	(cGray)								
2	16.4	18.7	162.2	197.6	201.1	201.9	203.2	203	200.9
2.5	17.1	19.3	156.5	192.3	196	196.9	198.2	198	196.2
3	17.9	20.2	151.2	188.2	192	193	194.3	194	192.6
3.5	18.6	20.7	146.6	182.5	186.7	187.8	189.1	188.7	187.7
4	19.3	21.4	143	177.6	181.6	182.8	183.9	183.6	183.6

Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang pertama untuk blok 10 cm x 3 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H
(cm)	(%)							
2	8.2	9.3	80.7	98.4	100.1	100.5	101.1	101.0
2.5	8.7	9.8	79.8	98.0	99.9	100.4	101.0	100.9
3	9.3	10.5	78.5	97.7	99.7	100.2	100.9	100.7
3.5	9.9	11.0	78.1	97.2	99.5	100.1	100.7	100.5
4	10.5	11.7	77.9	96.7	98.9	99.6	100.2	100.0

Tabel pengukuran pengulangan data yang ke-I untuk blok 10 cm x 8 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H	Dref
(cm)	(cGray)								
5	10.6	14.2	99.7	167.5	174	175.2	177.8	177.4	168.9
8	11.3	15.4	82.8	140.3	145.8	148.3	150.5	150.3	143.1
10	11.7	15.8	71.9	124.7	129.9	132.3	134.2	134.2	128.5
12	11.7	15.9	63.2	110.9	115.7	117.9	120.2	119.1	115.1
15	11.6	15.6	52.1	93.4	97.3	99.4	101.5	101.2	97.7

Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang pertama untuk blok 10 cm x 8 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H
(cm)	(%)							
5	6.3	8.4	59.0	99.2	103.0	103.7	105.3	105.0
8	7.9	10.8	57.9	98.0	101.9	103.6	105.2	105.0
10	9.1	12.3	56.0	97.0	101.1	103.0	104.4	104.4
12	10.2	13.8	54.9	96.4	100.5	102.4	104.4	103.5
15	11.9	16.0	53.3	95.6	99.6	101.7	103.9	103.6

Tabel pengukuran pengulangan data yang ke-I untuk 4 buah blok segitiga sama sisi dengan sisi 10 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	Dref
(cm)	(cGray)							
5	10.1	15.7	131.3	173	179.1	174	172.3	169.4
8	11.3	17.6	128.6	146.5	150.4	148	145.4	144.8
10	11.9	18.3	120.1	131.1	133.8	132.2	130.3	129.9
12	12.2	18.4	107.8	116.5	118.5	117.7	116.2	116
15	12	18.2	96.2	102.4	103.8	103.9	103.2	103

Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang ke-I untuk 4 buah blok segitiga sama sisi dengan sisi 10 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G
(cm)	(%)						
5	6.0	9.3	77.5	102.1	105.7	102.7	101.7
8	7.8	12.2	88.8	101.2	103.9	102.2	100.4
10	9.2	14.1	92.5	100.9	103.0	101.8	100.3
12	10.5	15.9	92.9	100.4	102.2	101.5	100.2
15	11.7	17.7	93.4	99.4	100.8	100.9	100.2

LAMPIRAN 2

Tabel pengukuran pengulangan data yang ke – II untuk blok 10 cm x 1 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H	Dref
(cm)	(cGray)								
2	32.5	177.3	200.1	203.5	204.3	204	204.9	204.6	202.6
2.5	33.6	171.1	195.7	199	200	199.8	200.6	200.2	198.4
3	34.6	166.4	191.2	194.7	195.6	195.4	196.2	195.6	194.4
3.5	35.5	162	186.3	189.8	190.8	190.7	190.8	190.8	189.9
4	36.1	156.6	180.8	184.2	185.1	185.1	185.7	185	184.6

Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang ke-II untuk blok 10 cm x 1cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H
(cm)	(%)							
2	16.0	87.5	98.8	100.4	100.8	100.7	101.1	101.0
2.5	16.9	86.2	98.6	100.3	100.8	100.7	101.1	100.9
3	17.8	85.6	98.4	100.2	100.6	100.5	100.9	100.6
3.5	18.7	85.3	98.1	99.9	100.5	100.4	100.5	100.5
4	19.6	84.8	97.9	99.8	100.3	100.3	100.6	100.2

Tabel pengukuran pengulangan data yang ke- II untuk blok 10 cm x 2 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H	Dref
(cm)	(cGray)								
2	21.2	66.8	196.7	201.1	203.4	203.4	204.5	204.2	201.9
2.5	22.1	65	191.6	197	198.6	198.7	199.6	199.2	197.5
3	23.1	62.9	186.8	192.4	193.9	194.1	195	194.5	193
3.5	23.8	60.5	179.5	185.2	186.7	186.8	187.7	187.1	186.3
4	24.9	58.1	176	181.8	183.5	183.7	184.4	183.9	183.4

Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang ke-II untuk blok 10 cm x 2cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H
(cm)	(%)							
2	10.5	33.1	97.4	99.6	100.7	100.7	101.3	101.1
2.5	11.2	32.9	97.0	99.7	100.6	100.6	101.1	100.9
3	12.0	32.6	96.8	99.7	100.5	100.6	101.0	100.8
3.5	12.8	32.5	96.3	99.4	100.2	100.3	100.8	100.4
4	13.6	31.7	96.0	99.1	100.1	100.2	100.5	100.3

Tabel pengukuran pengulangan data yang ke – II untuk blok 10 cm x 3 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H	Dref
(cm)	(cGray)								
2	16.6	20.5	163.8	199.4	202.1	202.7	204	203.8	201.9
2.5	17.4	21.1	157	193.2	196.1	196.7	198	197.8	195.8
3	18.2	21.9	151.9	189.4	192.5	193.2	194.4	194.1	192.4
3.5	19	22.5	147.9	184.9	188.1	188.9	190	189.7	188.5
4	19.7	23.2	142.3	180.3	183.6	184.5	185.6	185.2	184.3

Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang ke-II untuk blok 10 cm x 3cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H
(cm)	(%)							
2	8.2	10.2	81.1	98.8	100.1	100.4	101.0	100.9
2.5	8.9	10.8	80.2	98.7	100.2	100.5	101.1	101.0
3	9.5	11.4	79.0	98.4	100.1	100.4	101.0	100.9
3.5	10.1	11.9	78.5	98.1	99.8	100.2	100.8	100.6
4	10.7	12.6	77.2	97.8	99.6	100.1	100.7	100.5

Tabel pengukuran pengulangan data yang ke – II untuk blok 10 cm x 8 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H	Dref
(cm)	(cGray)								
5	10.3	13.7	99	166.1	172.7	174.9	176.9	176.9	167.4
8	11.3	15.1	84.2	142.6	149.9	151.7	151.6	153	144.3
10	11.5	15.6	73.8	124.5	129.9	132.4	134.9	134.7	128.7
12	11.7	15.8	65	111.7	116.6	119	121.5	121.3	116.3
15	11.5	15.4	52.7	93.4	97.5	99.7	102.1	101.8	98.1

Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang ke-II untuk blok 10 cm x 8 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H
(cm)	(%)							
5	6.2	8.2	59.1	99.2	103.2	104.5	105.7	105.7
8	7.8	10.5	58.4	98.8	103.9	105.1	105.1	106.0
10	8.9	12.1	57.3	96.7	100.9	102.9	104.8	104.7
12	10.1	13.6	55.9	96.0	100.3	102.3	104.5	104.3
15	11.7	15.7	53.7	95.2	99.4	101.6	104.1	103.8

Tabel pengukuran pengulangan data yang ke-II untuk 4 buah blok segitiga sama sisi dengan sisi 10 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	Dref
(cm)	(cGray)							
5	11.2	15.7	132.3	173	179.5	174	170	169
8	12.5	17.6	130.2	148	152	149	146.3	145.6
10	13.2	18.3	122	132.7	135.6	133.7	131.4	130.9
12	13.4	18.4	109.3	118.2	120	118.8	117.1	116.8
15	13.4	18.2	103.2	108.9	110.1	111.3	110.1	110

Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang ke-II 4 buah blok segitiga sama sisi dengan sisi 10 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G
(cm)	(%)						
5	6.6	9.3	78.3	102.4	106.2	103.0	100.6
8	8.6	12.1	89.4	101.6	104.4	102.3	100.5
10	10.1	14.0	93.2	101.4	103.6	102.1	100.4
12	11.5	15.8	93.6	101.2	102.7	101.7	100.3
15	12.2	16.5	93.8	99.0	100.1	101.2	100.1

LAMPIRAN 3

Tabel pengukuran pengulangan data yang ke – III untuk blok 10 cm x 1 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H	Dref
(cm)	(cGray)								
2	34.3	194.1	207.9	210.3	210.8	210.4	211	210.4	209.7
2.5	34.6	186.2	200.3	202.8	203.4	202.9	203.5	202.9	202.3
3	36	182.3	196.4	199	199.5	199.1	199.6	198.9	198.9
3.5	37.2	179.6	193.7	196.3	196.8	196.4	196.8	196.3	196.4
4	38.1	175.5	189.4	192	192.6	192.1	192.5	192	192.3

Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang ke-III untuk blok 10 cm x 1cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H
(cm)	(%)							
2	16.4	92.6	99.1	100.3	100.5	100.3	100.6	100.3
2.5	17.1	92.0	99.0	100.2	100.5	100.3	100.6	100.3
3	18.1	91.7	98.7	100.1	100.3	100.1	100.4	100.0
3.5	18.9	91.4	98.6	99.9	100.2	100.0	100.2	99.9
4	19.8	91.3	98.5	99.8	100.2	99.9	100.1	99.8

Tabel pengukuran pengulangan data yang ke – III untuk blok 10 cm x 2 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H	Dref
(cm)	(cGray)								
2	21.4	68.3	201.3	205.1	206	205.7	206.5	206.1	204.5
2.5	22.5	66.7	198	201.9	202.7	202.5	203.3	202.8	201.5
3	23.5	65.1	193.9	198	199	198.7	199.4	198.8	198.1
3.5	24.6	63.4	190.1	194.3	195.4	195.1	195.8	195.2	194.8
4	25.8	61	186.3	190.5	191.6	191.4	191.9	191.2	191.4

Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang ke-III untuk blok 10 cm x 2cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H
(cm)	(%)							
2	10.5	33.4	98.4	100.3	100.7	100.6	101.0	100.8
2.5	11.2	33.1	98.3	100.2	100.6	100.5	100.9	100.6
3	11.9	32.9	97.9	99.9	100.5	100.3	100.7	100.4
3.5	12.6	32.5	97.6	99.7	100.3	100.2	100.5	100.2
4	13.5	31.9	97.3	99.5	100.1	100.0	100.3	99.9

Tabel pengukuran pengulangan data yang ke – III untuk blok 10 cm x 3 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H	Dref
(cm)	(cGray)								
2	17.4	20.4	170.8	207.6	209.2	209.4	210.4	210	208.5
2.5	18.4	21.1	167.2	204.5	206.2	206.4	207.4	206.9	205.9
3	19.1	21.9	158.7	195.7	197.6	198	199	198.5	197.8
3.5	19.8	23.2	153.1	192.3	194.4	194.6	195.4	194.9	194.7
4	20.8	23.9	148.9	188.5	190.5	190.8	191.6	191	191.2

Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang ke-III untuk blok 10 cm x 3cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H
(cm)	(%)							
2	8.3	9.8	81.9	99.6	100.3	100.4	100.9	100.7
2.5	8.9	10.2	81.2	99.3	100.1	100.2	100.7	100.5
3	9.7	11.1	80.2	98.9	99.9	100.1	100.6	100.4
3.5	10.2	11.9	78.6	98.8	99.8	99.9	100.4	100.1
4	10.9	12.5	77.9	98.6	99.6	99.8	100.2	99.9

Tabel pengukuran pengulangan data yang ke – III untuk blok 10 cm x 8cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H	Dref
(cm)	(cGray)								
5	10.8	14.7	107.3	180.3	188.4	189.6	192.8	191.3	183.6
8	11.9	16.5	93.5	157.8	164.7	167.2	170.2	168.4	162.6
10	12.4	17.3	84	142.2	149.2	151.7	154.6	153	148.2
12	12.8	17.6	75.6	129.2	136.1	138.2	140.8	139.7	135.7
15	12.9	17.2	61.9	111.7	116.9	119.4	121.4	120.7	117.6

Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang ke-III untuk blok 10 cm x 8cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	H
(cm)	(%)							
5	5.9	8.0	58.4	98.2	102.6	103.3	105.0	104.2
8	7.3	10.1	57.5	97.0	101.3	102.8	104.7	103.6
10	8.4	11.7	56.7	96.0	100.7	102.4	104.3	103.2
12	9.4	13.0	55.7	95.2	100.3	101.8	103.8	102.9
15	11.0	14.6	52.6	95.0	99.4	101.5	103.2	102.6

Tabel pengukuran pengulangan data yang ke-III untuk 4 buah blok segitiga sama sisi dengan sisi 10 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G	Dref
(cm)	(cGray)							
5	10.5	15.8	134.8	179.8	187.4	181.9	177.9	176.7
8	11.5	18.5	137.8	158	164.1	160.7	157.8	157.2
10	11.8	17.8	131.7	144	148.7	146.3	144	143.5
12	12	19.4	119.8	131.2	134.6	133	131.3	131
15	11.9	18.8	102.7	112.1	114.8	114.2	113	112.8

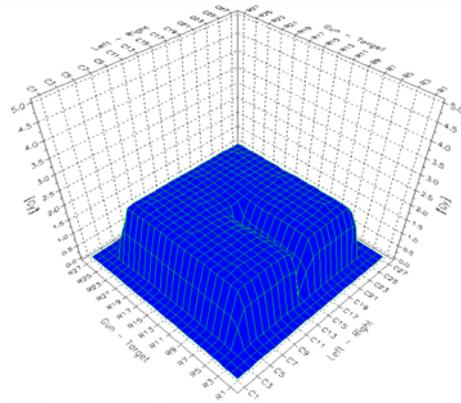
Tabel persentasi dosis Transmisi pengulangan data yang ke-III untuk 4 buah blok segitiga sama sisi dengan sisi 10 cm

Kedalaman	A	B	C	D	E	F	G
(cm)	(%)						
5	5.9	8.9	76.3	101.8	106.1	102.9	100.7
8	7.3	11.8	87.7	100.5	104.4	102.2	100.4
10	8.2	12.4	91.8	100.3	103.6	102.0	100.3
12	9.2	14.8	91.5	100.2	102.7	101.5	100.2
15	10.5	16.7	91.0	99.4	101.8	101.2	100.2

LAMPIRAN 4



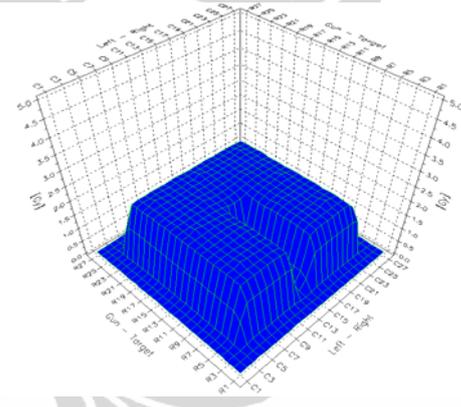
Gambar blok cerrobend dengan ukuran 10 cm x 1 cm



Gambar Tampilan matrixScan selama Proses pengukuran



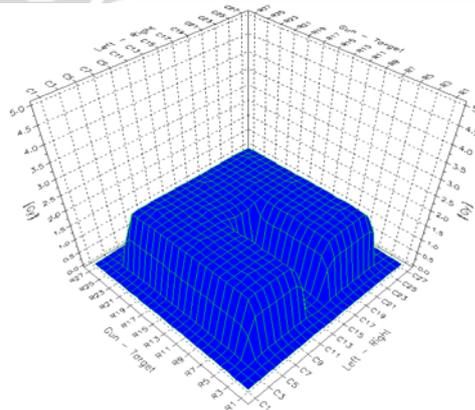
Gambar blok cerrobend dengan ukuran 10 cm x 2 cm



Gambar Tampilan matrixScan



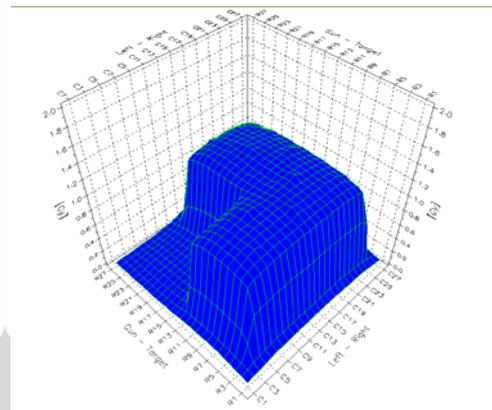
Gambar blok cerrobend dengan ukuran 10 cm x 3 cm



Gambar Tampilan matrixScan



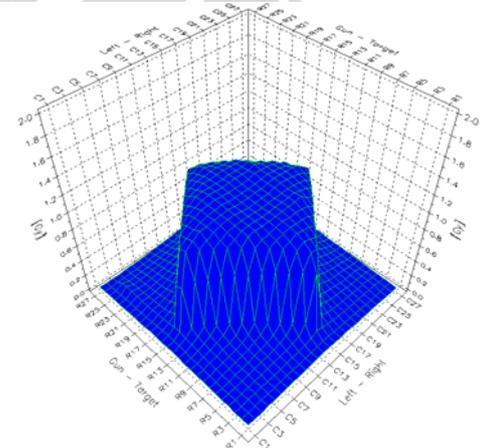
Gambar blok cerrobend dengan ukuran 10 cm x 8 cm



Gambar Tampilan matrixScan

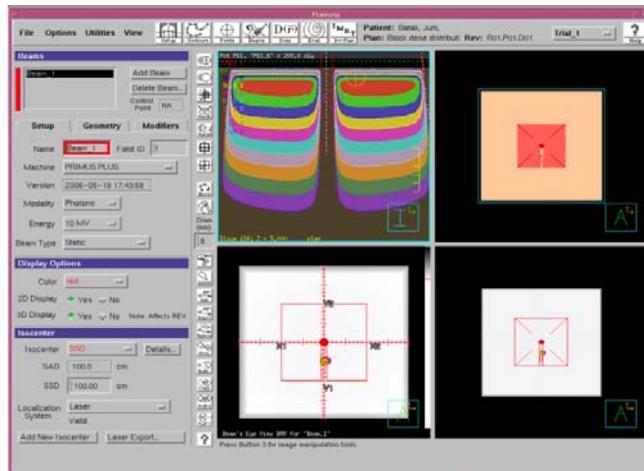


Gambar blok cerrobend dengan ukuran 4 buah segitiga sama sisi dengan sisi 10 cm

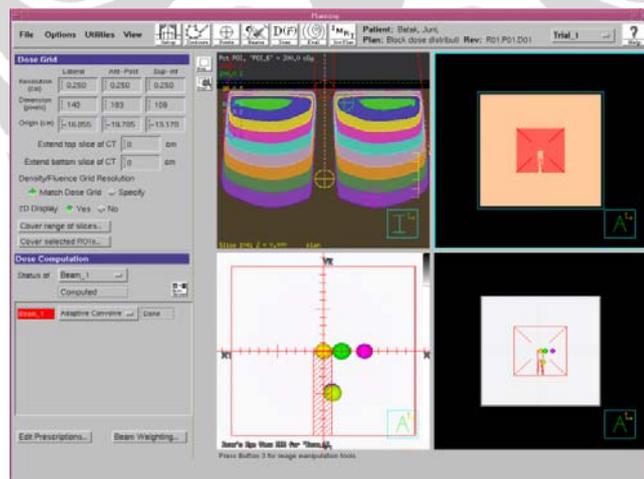


Gambar Tampilan matrixScan

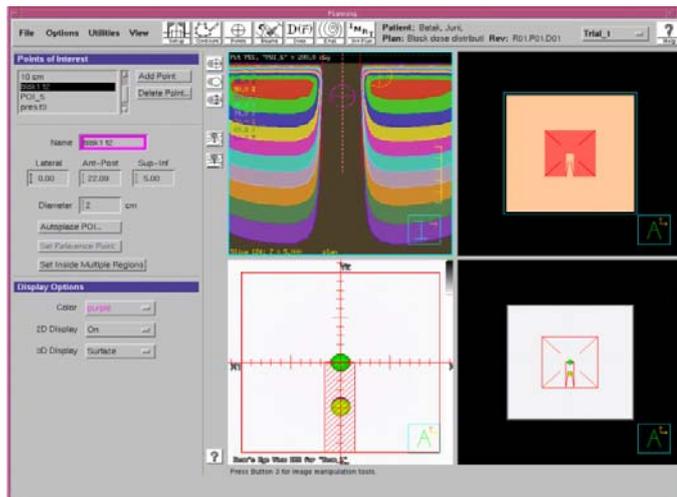
LAMPIRAN 5



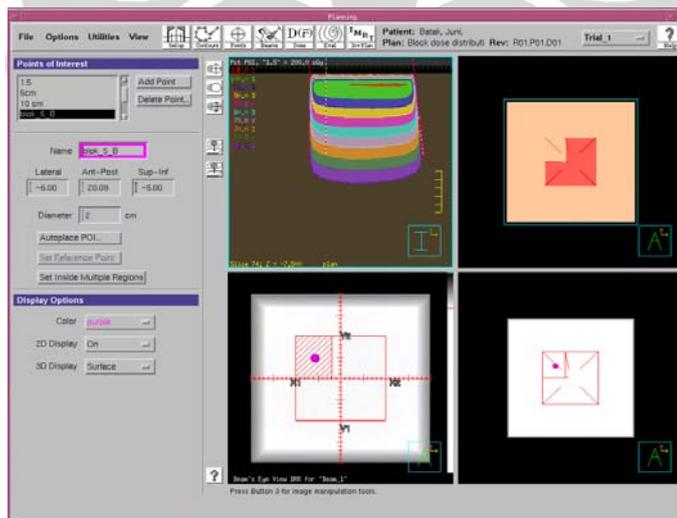
Gambar tampilan pada PC dengan perhitungan TPS Pinnacle ukuran blok 10 cm x 1 cm



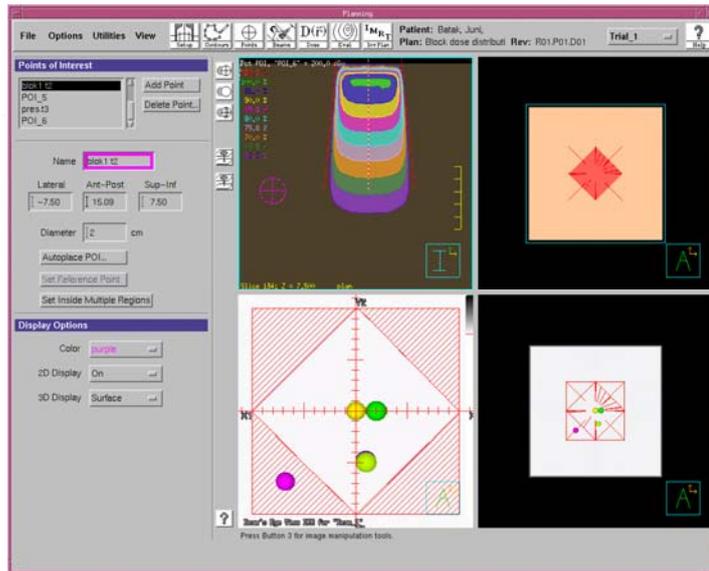
Gambar tampilan pada PC dengan perhitungan TPS Pinnacle ukuran blok 10 cm x 2 cm



Gambar tampilan pada PC dengan perhitungan TPS Pinnacle ukuran blok 10 cm x 3 cm



Gambar tampilan pada PC dengan perhitungan TPS Pinnacle ukuran blok 10 cm x 8 cm



Gambar tampilan pada PC dengan perhitungan TPS Pinnacle untuk 4 buah blok segitiga sama sisi dengan sisi 10 cm