

***DOSE AREA PRODUCT DAN
ENTRANCE SURFACE DOSE PADA FLUOROSKOPI***

TESIS

**YULFIATRY YUBHAR
0806421602**



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

***DOSE AREA PRODUCT DAN
ENTRANCE SURFACE DOSE PADA FLUOROSKOPI***

TESIS

**YULFIATRY YUBHAR
0806421602**



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

***DOSE AREA PRODUCT DAN
ENTRANCE SURFACE DOSE PADA FLUOROSKOPI***

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains

**YULFIATRY YUBHAR
0806421602**



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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Yulfiatry Yubhar
NPM : 0806421602
Tanda Tangan :
Tanggal : 22 Desember 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Yulfiatry Yubhar
NPM : 0806421602
Program Studi : Magister Fisika Medis
Judul Tesis : *Dose Area Product* dan *Entrance Surface Dose* pada
Fluoroskopi

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko (.....)

Penguji : Dr. Musaddiq Musbach (.....)

Penguji : Dr. Seruni Udyaningsih Freisleben (.....)

Penguji : Dr. Agung Alfiansyah (.....)

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 22 Desember 2010

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT atas berkat dan rahmat-Nya penulisan tesis ini dapat diselesaikan.

Tesis tentang *dose area product* dan *entrance surface dose* yang pengukurannya dilakukan pada pesawat fluoroskopi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains di Program Studi Magister Fisika Program Kekhususan Fisika Medis Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia .

Penelitian dan penulisan tesis ini tidak mungkin dapat diselesaikan tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak. Karena itu pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. Dr. Djarwani S Soejoko selaku dosen dan pembimbing tesis, atas segala bimbingan, arahan dan segala bantuan mulai dari awal perkuliahan sampai selesainya penulisan tesis ini.
2. Kepala Badan Kepegawaian Daerah Provinsi DKI Jakarta, Kepala Diklat Provinsi DKI Jakarta, Kepala Dinas Kesehatan Provinsi DKI Jakarta untuk kesempatan mendapatkan program tugas belajar sehingga saya dapat menyelesaikan pendidikan ini.
3. Para dosen di Program Kekhususan Fisika Medis untuk semua ilmu yang telah diberikan.
4. Dr.Kardinah, SpRad selaku Ka. Instalasi Radiodiagnostik RSKD dan teman-teman di bagian radiodiagnostik RSKD atas segala bantuan selama pengambilan data.
5. Mas Heru Msi, bu Helfi, bu Dyah, bu Yati, mbak Nunung di bagian PKMR Batan Pasar Jumat, untuk segala diskusi dan bantuannya menyiapkan dan mengevaluasi TLD yang digunakan dalam penelitian ini.
6. Mas Wahyu, Adit dan Agung, suami dan anak-anak saya yang tercinta, terimakasih atas segala dukungan dan banyak sekali pengertian yang diberikan.

7. Alm.Mama dan Alm.Papa, nilai-nilai dan semangat yang dulu ditanamkan merupakan salah satu pendorong dalam menyelesaikan pendidikan ini.
8. Ibu, Bapak, Ni Id, Ni Ta serta kakak-kakak dan adik-adik lainnya, atas segala dukungannya selama ini.
9. Dessy, Deinar, Awi, Iyonk, Edi, Juni, dan teman-teman lain di pasca sarjana fisika medis angkatan 2008 untuk segala kebersamaan dan bantuan selama ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu selama penulis menjalani pendidikan dan menyusun tesis ini.

Di akhir kata saya berdoa semoga Allah SWT membalas segala kebaikan yang telah diberikan pada saya selama ini dan semoga isi tesis ini dapat bermanfaat bagi semua yang membutuhkannya.

Jakarta, 22 Desember 2010

Penulis

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

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Yulfiatry Yubhar
NPM : 0806421602
Program Studi : Magister Fisika Medis
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Tesis

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

Dose Area Product dan Entrance Surface Dose pada Fluoroskopi
berserta 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 memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 22 Desember 2010

Yang menyatakan

(Yulfiatry Yubhar)

ABSTRAK

Nama : Yulfiatry Yubhar
Program Studi : Magister Fisika Medis
Judul :

Dose Area Product dan Entrance Surface Dose pada Fluoroskopi

Telah dilakukan pengukuran Dose area Product dan Dose Area Product Rate menggunakan Dose Area Product Meter (DAP meter), Entrance Surface Dose menggunakan Thermoluminiscense (TLD) pada pemeriksaan fluoroskopi dengan obyek phantom akrilik 10 cm, 15 cm, 20 cm dan 25 cm serta phantom rando dengan fokus pada paru-paru. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan variasi waktu paparan 20 detik, 40 detik, 60 detik, 80 detik, 100 detik dan 120 detik. Untuk phantom akrilik 20 cm dan 25 cm ditambahkan variasi waktu 240 detik. Nilai DAP/mAs yang didapat adalah 0.70, 1.0, 1.4, 1.9 dan 0.83 $\mu\text{Gy}^2/\text{mAs}$ masing-masing untuk phantom akrilik 10, 15, 20, 25 cm dan phantom rando. Nilai ESD/mAs adalah (32.4 ± 2.2) , (35.7 ± 1.5) , (85.7 ± 2.3) , dan (143.5 ± 10.6) dan (67.4 ± 6.6) $\mu\text{Gy}/\text{mAs}$ untuk phantom akrilik 10, 15, 20, 25 dan phantom rando. Rasio antara ESD/mAs dengan DAP/mAs adalah (46.2 ± 3.1) , (35.2 ± 1.3) , (61.0 ± 2.9) , $75.6(\pm 5.4)$, dan (81.0 ± 8.0) untuk phantom akrilik 10, 15, 20, 25 cm dan phantom rando. Nilai *entrance surface dose* dan nilai *dose area product* cenderung mempunyai hubungan yang kuat karena adanya linearitas pada relasi keduanya di setiap variasi ketebalan phantom akrilik dan phantom rando. Nilai *entrance surface dose* akan meningkat seiring dengan pertambahan nilai *dose area product*, tapi dari hubungan diantara keduanya tidak dapat dicari nilai yang pasti, sehingga nilai *dose area product* hanya dapat dipakai untuk memperkirakan dosis *entrance surface* dan untuk memonitor exposure terhadap pasien.

Kata kunci : ESD, DAP, Ketebalan Phantom, Phantom, akrilik, Phantom Rando

ABSTRACT
Dose area Product and Entrance surface Dose
on Fluoroscopy

Dose area Product and Dose Area Product Rate have been determined by Dose Area Product Meter (DAP meter), Entrance Surface Dose by Thermoluminescent dosimeter (TLD) in the fluoroscopy examination of an acrylic phantom 10cm, 15 cm, 20 cm dan 25 cm and rando phantom at lung. Measurement is done by using exposure time variation within 20 ,40, 60 , 80 , 100 and 120 seconds .For acrylic phantom 20 cm and 25 cm in added time variation 240 seconds. The average values of DAP/mAs were 0.70, 1.0, 1.4 and 1.9 $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{mAs}$ for phantom thickness of 10, 15, 20, and 25 cm, and about 0.83 – 0.84 $\mu\text{Gy}\cdot\text{m}^2/\text{mAs}$ for rando phantom. The average values of ESD/mAs were (32.4 \pm 2.2), (35.7 \pm 1.5), (85.7 \pm 2.3), and (143.5 \pm 10.6) and (67.4 \pm 6.6) $\mu\text{Gy} /\text{mAs}$ for phantom thickness 10, 15, 20, 25 and rando phantom. The ratio of ESD/mAs to DAP/mAs varied with phantom thickness were (46.2 \pm 3.1)/ m^2 , (35.2 \pm 1.3)/ m^2 , (61.0 \pm 2.9)/ m^2 , 75.6(\pm 5.4) for phantom thickness of 10 , 15, 20 and 25 cm respectively, and (81.0 \pm 8.0)/ m^2 for rando phantom. The values of entrance surface dose and dose area product have good correlation cause the DAP values correlate linearly with ESD for every phantom thickness and for rando phantom as well. The increase of entrance surface dose values based on the increase of dose area product values, but the relation from both of it can not find the absolute values, so that dose area product is used to estimate entrance surface dose and to monitor the patient exposure.

Keywords : ESD, DAP, Phantom thickness, Acrylic phantom, Rando Phantom

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
1.6 Metode Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Alat Fluoroskopi	6
2.2 Dosis Pasien pada Pemeriksaan Fluoroskopi	8
2.3 Dose Area Product (DAP) meter	10
2.4 Thermoluminiscent Dosimeter	12
BAB 3 METODE PENELITIAN	
3.1 Peralatan	15
3.2 Metode Pengambilan Data	17
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Uji Fungsi Pesawat Fluoroskopi	20
4.2 Data Dose Area Product dan Entrance Surface Dose	22
4.2.a Hubungan DAP terhadap ESD pada berbagai variasi phantom dan waktu paparan	22
4.2.b Hubungan nilai entrance surface dose (ESD) terhadap ketebalan phantom dan waktu paparan	28
4.2.c Hubungan nilai ESD/mAs terhadap variasi tebal phantom dan waktu paparan	30
4.2.d Hubungan nilai <i>dose area product</i> (DAP) terhadap ketebalan phantom serta waktu paparan	32
4.2.e Hubungan nilai DAP/mAs terhadap ketebalan phantom serta waktu paparan	32
4.2.f Hubungan nilai ESD/mAs terhadap DAP/mAs pada berbagai variasi phantom dan waktu paparan	34
4.3 Nilai Exit Dose pada Berbagai Variasi Ketebalan Phantom Akrilik dan Waktu Paparan	38

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	42



DAFTAR GAMBAR

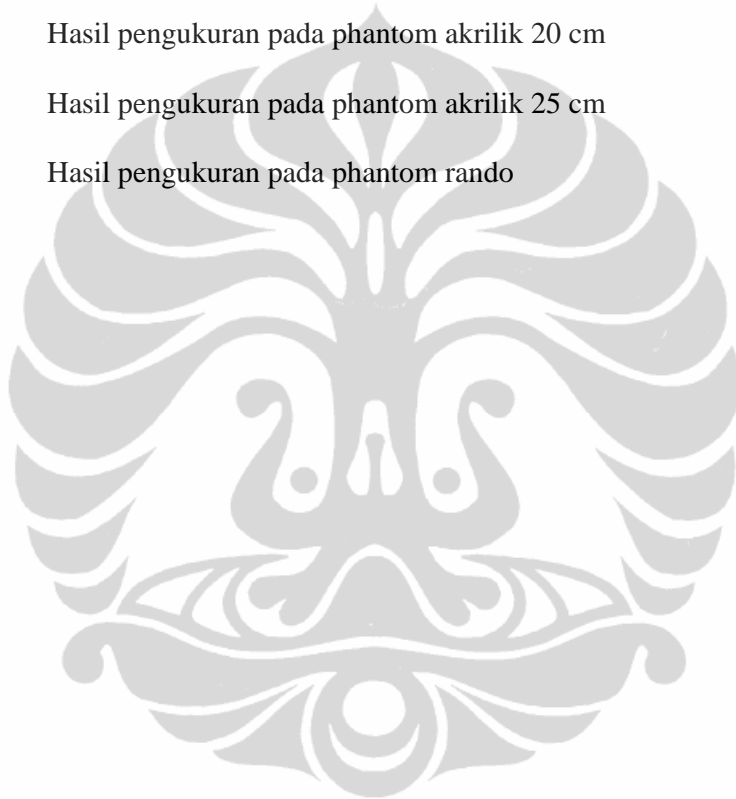
Gambar 2.1	Proses di Image Intensifier	7
Gambar 2.2	Diagram Pengukuran	10
Gambar 2.3	Dose area product meter	11
Gambar 2.4	Ragam Thermoluminiscent Dosimeter (TLD)	12
Gambar 2.5	Proses Thermoluminisensi	13
Gambar 2.6	Kurva glow curve	14
Gambar 3.1	Fluoroskopi Siemens Axiom Iconos R 100	15
Gambar 3.2	DAP meter PTW model Diamentor E2 Tipe 11033	16
Gambar 3.3	TLD chips	17
Gambar 3.4	Phantom rando	17
Gambar 3.5	Skema posisi DAP meter dan TLD	18
Gambar 3.6	Posisi DAP meter dan TLD	19
Gambar 4.1	Grafik nilai HVL (mm Al)	21
Gambar 4.2	Hubungan ESD terhadap DAP pada phantom akrilik 10 cm	23
Gambar 4.3	Hubungan ESD terhadap DAP pada phantom akrilik 15 cm	24
Gambar 4.4	Hubungan ESD terhadap DAP pada phantom akrilik 20 cm	25
Gambar 4.5	Hubungan ESD terhadap DAP pada phantom akrilik 25 cm	26
Gambar 4.6	Hubungan ESD terhadap DAP pada phantom rando	27
Gambar 4.7	Hubungan ESD terhadap DAP pada variasi ketebalan phantom akrilik dan phantom rando	28
Gambar 4.8	Grafik hubungan ESD terhadap waktu paparan	30
Gambar 4.9	Grafik hubungan ESD/mAs terhadap tebal phantom	31
Gambar 4.10	Grafik hubungan DAP/mAs terhadap tebal phantom	33
Gambar 4.11	Hubungan ESD/mAs terhadap DAP/mAs pada semua variasi ketebalan phantom akrilik	35
Gambar 4.12	Hubungan (ESD/mAs)/(DAP/mAs) terhadap tebal phantom	37

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Nilai HVL minimum berdasarkan rekomendasi EPA	21
Tabel 4.2	Nilai hasil pengukuran pada phantom akrilik 10 cm	22
Tabel 4.3	Nilai hasil pengukuran pada phantom akrilik 15 cm	24
Tabel 4.4	Nilai hasil pengukuran pada phantom akrilik 20 cm	25
Tabel 4.5	Nilai hasil pengukuran pada phantom akrilik 25 cm	26
Tabel 4.6	Nilai hasil pengukuran pada phantom rando	27
Tabel 4.7	Nilai ESD (μGy) pada berbagai variasi phantom dan waktu paparan	28
Tabel 4.8	Variasi nilai ESD/mAs ($\mu\text{Gy/mAs}$) pada berbagai variasi phantom dan waktu paparan	30
Tabel 4.9	Nilai DAP (μGym^2) pada berbagai variasi phantom dan waktu paparan	32
Tabel 4.10	Nilai DAP/mAs ($\mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$) pada berbagai variasi phantom dan waktu paparan	32
Tabel 4.11	Nilai $(\text{ESD}/\text{mAs})/(\text{DAP}/\text{mAs})$ pada berbagai variasi waktu paparan dan ketebalan phantom	34
Tabel 4.12	Penyimpangan yang terjadi antara ESD/mAs terukur terhadap ESD/mAs menurut persamaan linear	35
Tabel 4.13	Hubungan $(\text{ESD}/\text{mAs})/(\text{DAP}/\text{mAs})$ terhadap tebal phantom	37
Tabel 4.14	Nilai exit dose/mAs pada berbagai ketebalan phantom dan waktu paparan	38

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Pengukuran akurasi kVp
- Lampiran 2 Hasil pengukuran HVL
- Lampiran 3 Hasil pengukuran pada phantom akrilik 10 cm
- Lampiran 4 Hasil pengukuran pada phantom akrilik 15 cm
- Lampiran 5 Hasil pengukuran pada phantom akrilik 20 cm
- Lampiran 6 Hasil pengukuran pada phantom akrilik 25 cm
- Lampiran 7 Hasil pengukuran pada phantom rando



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejak ditemukannya sinar x pada tahun 1895 oleh Wilhelm C Roentgen, pemanfaatannya di segala bidang makin terus berkembang. Salah satu bidang yang memanfaatkan sinar x adalah bidang kesehatan. Di bidang kesehatan sinar x digunakan untuk diagnostik dan juga terapi. Pemanfaatan di bidang inipun sangat berkembang pesat, salah satunya adalah fluoroskopi yang merupakan satu metoda untuk diagnosa.

Fluoroskopi adalah metode diagnosa dengan menggunakan sinar x yang dapat menampilkan citra secara “real time”, terutama digunakan sebagai pemantau pemeriksaan fungsi organ yang memanfaatkan bahan kontras serta pemeriksaan radiologi interventional. Sistem fluoroskopi modern menggunakan image intensifier yang dihubungkan dengan tv monitor. Image intensifier adalah detektor yang memiliki sensitivitas ribuan kali sensitivitas screen pada film radiografi . Dengan sistem ini semua fungsi organ selama berlangsungnya pemeriksaan dapat diamati langsung melalui tv monitor. Untuk mendapatkan gambaran fungsi secara *real time* dibutuhkan jumlah citra yang tinggi sehingga mengakibatkan dosis yang tinggi juga pada pasien. Sensitivitas image intensifier yang sangat tinggi dapat mengurangi dosis yang diterima pasien.

Saat menjalani pemeriksaan dengan menggunakan fluoroskopi, pasien menerima dosis yang cukup bervariasi. Besarnya dosis yang diterima dipengaruhi oleh besarnya kV (kilovoltage) dan mA(miliampere) yang dipakai, lamanya pemeriksaan, luas lapangan penyinaran, sensitivitas detektor, ketebalan tubuh pasien serta tehnik pengambilan citra oleh dokter .

FDA Public Health Advisory (1994) menyatakan bahwa fluoroskopi dapat mengakibatkan cedera yang serius[1]. Karena itu, mengetahui dosis yang diterima oleh pasien mutlak diperlukan untuk menghindari terjadinya pemberian radiasi yang berlebihan pada pasien.

Dosis pada area berkas radiasi dapat dipantau dengan bilik ionisasi yang hasilnya dinyatakan dengan *dose area product* (DAP), sedangkan dosis pada permukaan tubuh pasien atau *entrance surface dose* (ESD) dapat diukur dengan Thermoluminiscent Dosimeter (TLD).

Dose area product yang biasanya diekspresikan dalam Gycm^2 adalah pengukuran total energi fluence yang mengenai pasien dan relatif terhadap total energi serap pada pasien [5]. Beberapa alat fluoroskopi modern sudah dilengkapi dengan DAP meter sehingga dosis paparan dengan luas lapangan tertentu bisa langsung diketahui. Koichi Chiiset dan kawan-kawan pada riset mereka yang berjudul “*Relationship Between Fluoroscopic Time, Dose-Area Product, Body Weight, and Maximum Radiation Skin Dose in Cardiac Interventional Procedures*”, [15] menyimpulkan bahwa hubungan antara DAP dengan *maximum radiation skin dose* lebih jelas daripada hubungan antara waktu fluoroskopi dengan *maximum radiation skin dose*. R.Raubenheimer dan kawan-kawan pada jurnal yang berjudul “*Do dose area product meter measurement reflect radiation doses absorbed by health care workers?*” [14] menyimpulkan berdasarkan penelitian yang mereka lakukan di Universitas Hospital, Bloemfontein, bahwa *dose area product* mempunyai korelasi yang sangat kuat dengan dosis yang diterima oleh para pekerja, terutama pada bagian tubuh yang tidak ditutup apron serta dipengaruhi juga oleh jarak dan lamanya berada didekat sumber radiasi.

Pengaturan penggunaan fluoroskopi tidak hanya terbatas pada keamanan penggunaan radiasi, tetapi juga mencakup evaluasi dan kontrol kualitas alat, monitoring radiasi pada pasien dan petugas serta peningkatan pengetahuan petugas [1].

Terlihat dari pernyataan diatas bahwa pengaturan penggunaan fluoroskopi tidaklah sederhana sehingga setiap tindakan pemeriksaan dengan menggunakan fluoroskopi harus dilakukan sesuai dengan standar. Namun pada tulisan ini yang akan dibahas hanya masalah monitoring radiasi pada pasien.

1.2. Perumusan Masalah

Selama menjalani pemeriksaan dengan menggunakan fluoroskopi, pasien menerima dosis yang cukup bervariasi. Mengetahui ESD mutlak diperlukan untuk menghindari terjadinya pemberian radiasi yang berlebihan pada pasien. ESD dapat diukur menggunakan TLD model chips. Tetapi menggunakan TLD model chips sering dirasa kurang efektif karena penggunaannya yang harus ditempelkan di tubuh pasien mengakibatkan TLD sering jatuh atau hilang. Selain itu, untuk penggunaan TLD chips dibutuhkan proses tersendiri mulai dari menyiapkan sampai ke pembacaan sehingga seringkali dirasa kurang praktis.

Pada penelitian ini dicoba mencari hubungan antara *dose area product* terhadap *entrance surface dose* untuk melihat kemungkinan dibuatnya estimasi terhadap nilai *entrance surface dose* berdasarkan nilai *dose area product*.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mencari hubungan antara *entrance surface dose* terhadap *dose area product* dengan melakukan pengukuran pada phantom akrilik untuk mensimulasikan abdomen dengan variasi ketebalan antara 10 cm – 25 cm yang setara dengan ketebalan tubuh anak sampai dewasa pada alat fluoroskopi serta phantom rando untuk mensimulasikan paru-paru.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk memperkirakan dosis radiasi yang sampai di permukaan tubuh pasien selama pemeriksaan berdasarkan nilai *dose area product*. Dengan penelitian ini, diharapkan dapat ditarik hubungan antara *dose area product* terhadap *entrance surface dose* yang berguna untuk memperkirakan dosis yang diterima oleh pasien dengan ketebalan tubuh tertentu serta waktu pemeriksaan tertentu. Dengan diketahuinya perkiraan dosis yang diterima oleh pasien, dokter ahli radiologi akan dapat lebih menjaga agar tidak ada pasien yang mendapatkan dosis radiasi yang berlebih saat menjalani pemeriksaan dengan menggunakan fluoroskopi sehingga usaha untuk

mendapatkan kualitas citra yang baik akan diimbangi dengan memperhitungkan radiasi yang diterima oleh pasien.

1.5. Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada pengukuran *dose area product* dan *entrance surface dose* yang dilakukan pada alat fluoroskopi dengan menggunakan DAP meter dan TLD. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan phantom rando untuk simulasi paru-paru, phantom akrilik berdiameter 30 cm x 30 cm untuk simulasi abdomen dengan variasi ketebalan 10 cm, 15 cm, 20 cm, dan 25 cm. Variasi jenis phantom dan variasi ketebalan secara otomatis akan mempengaruhi keluaran kVp dan mA karena penggunaan AEC pada alat fluoroskopi. Selain itu digunakan variasi waktu paparan yaitu 20 detik, 40 detik, 60 detik, 80 detik, 100 detik dan 120 detik. Pada phantom akrilik dengan ketebalan 20 cm dan 25 cm ditambahkan variasi waktu 240 detik.

1.6. Metode Penelitian

Metode penelitian dilakukan dengan 2 cara, yaitu tinjauan pustaka serta eksperimen .

1.7. Sistematika Penulisan

Tesis ini dibagi menjadi 5 bab, sebagai berikut :

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan tentang latar belakang dari penelitian ini, perumusan masalah, tujuan dari penelitian ini, manfaat yang diharapkan dari penelitian, pembatasan masalah, metode penelitian yang dipakai serta sistematika penulisan secara keseluruhan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini penulis mencoba menguraikan tentang dasar teori dari fluoroskopi, dosis pasien pada pemeriksaan fluoroskopi, DAP meter serta TLD.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

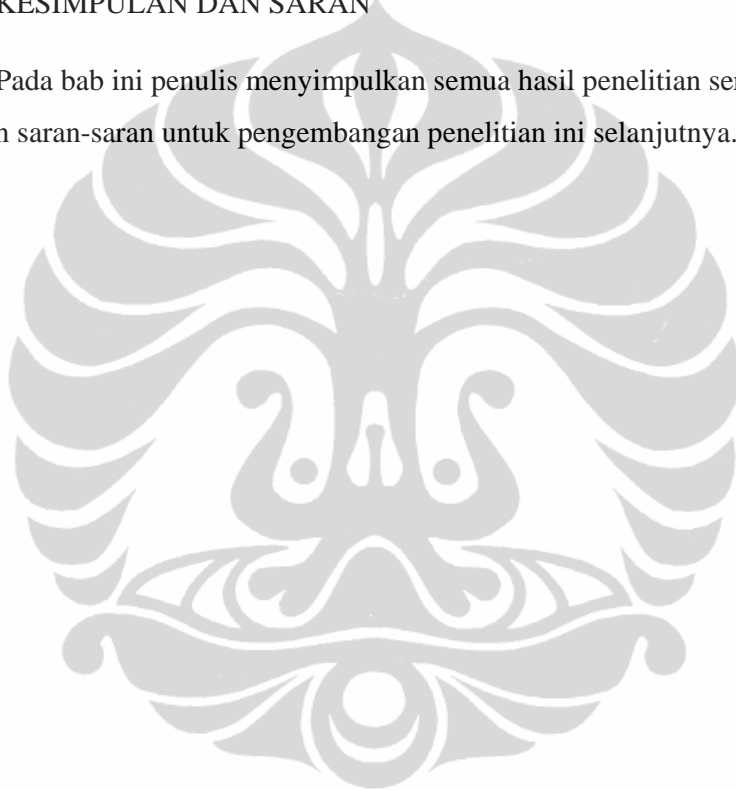
Pada bab ini diuraikan tentang alat dan bahan yang dipakai serta metode eksperimen yang dipakai.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi data-data hasil dari eksperimen beserta pembahasannya.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini penulis menyimpulkan semua hasil penelitian serta memberikan saran-saran untuk pengembangan penelitian ini selanjutnya.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Alat Fluoroskopi

Fluoroskopi adalah prosedur pencitraan yang memungkinkan citra dapat dilihat secara “real time” dengan resolusi yang tinggi[4] . Fluoroskopi menghasilkan citra secara langsung dan kontinyu yang terutama digunakan sebagai penuntun untuk suatu pemeriksaan, mencari sesuatu didalam bagian tubuh atau melakukan observasi terhadap fungsi dinamis [6] .

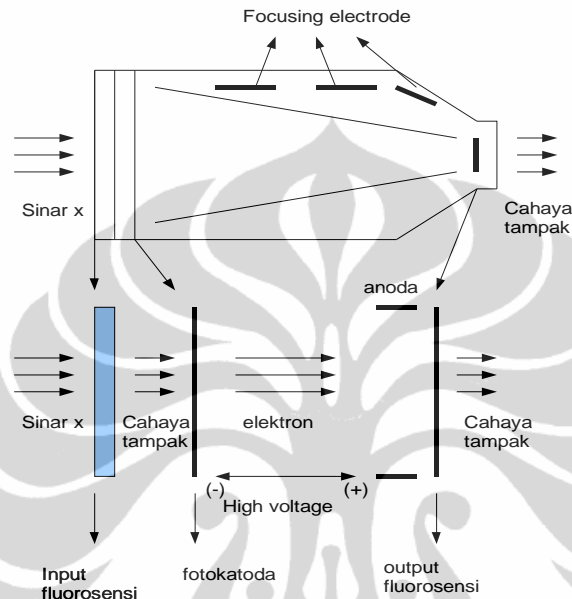
Pertama kali fluoroskopi ditampilkan didalam ruang gelap dan ahli radiologi langsung melihat dari balik layar fluorescent. Reseptor untuk alat fluoroskopi generasi pertama ini adalah berupa *plat screen fluorescent* yang akan menangkap sinar x setelah menembus bagian tubuh pasien[6] .

Sistem fluoroskopi modern menggunakan *image intensifier* yang dihubungkan dengan tv monitor. Image intensifier adalah detektor yang memiliki sensitivitas ribuan kali sensitivitas screen pada film radiografi . Dengan sistem ini semua fungsi organ selama berlangsungnya pemeriksaan dapat diamati langsung melalui tv monitor.

Tabung *image intensifier* atau biasa disebut tabung *intensifier* berupa sebuah botol vakum. Area yang luas dibagian depan tempat masuknya sinar x disebut *input screen* dan area yang kecil dibagian belakang tabung disebut *output screen*.

Input screen pada tabung intensifier ini terdiri dari 2 lapisan, yaitu material fluoresensi seperti CsI sebagai lapisan pertama. Lapisan ini berfungsi untuk menangkap sinar x dan merubahnya menjadi cahaya tampak. Sinar x yang mengenai lapisan ini dapat menghasilkan cahaya tampak yang jumlahnya berkali lipat. Lapisan 2 adalah fotokatoda. Pada lapisan ini cahaya tampak yang sudah terbentuk akan diserap oleh fotokatoda , mengalami proses fotoelektrik dan mengemisikan elektron kedalam tabung. Pada bagian ini, elektron yang terbentuk memiliki energi kinetik yang sangat kecil.

Diantara anoda dan katoda diberikan beda potensial yang relatif tinggi, sehingga elektron yang sudah terbentuk akan dipercepat untuk kemudian menumbuk *output screen*. Selanjutnya *output screen* akan mengkonversi elektron menjadi cahaya tampak.



Gambar 2.1 Proses di Image intensifier (diadaptasi dari *Physical Principles of Medical Imaging, figure 20-3*)

Dibelakang *output screen* diletakkan kamera atau film, yang langsung dihubungkan dengan sistem optik dan TV. TV monitor membutuhkan signal yang relatif konstan untuk menampilkan citra. Hal ini dikontrol oleh *Automatic Brightness Control (ABC)* yang berfungsi mengatur produksi sinar x. Ketika tabung sinar x pada alat fluoroskopi digerakkan dari bagian yang mentransmisikan radiasi yang rendah ke bagian yang mentransmisikan radiasi yang tinggi (contoh : dari organ hati berpindah ke paru-paru), ABC akan mengecilkan *dose rate* dan mencegah timbulnya tampilan yang tidak jelas di citra[1].

Sensitivitas dan paparan radiasi akan berubah mengikuti *field of view (FOV)*. Fluoroskopi lebih sensitif ketika dioperasikan dengan FOV yang

maksimal. Peningkatan FOV akan meningkatkan sensitivitas dan menurunkan paparan radiasi yang dibutuhkan.

2.2 Dosis pasien pada pemeriksaan fluoroskopi

Selama menjalani pemeriksaan dengan menggunakan fluoroskopi, pasien dimungkinkan menerima dosis yang tinggi dan nilainya sangat bervariasi. Dosis yang diterima pasien sangat tergantung pada kasus pasien, ketebalan tubuh pasien, juga pengalaman dokter yang memeriksa, hal ini berkaitan dengan fungsi fluoroskopi sebagai penuntun untuk suatu pemeriksaan, mencari sesuatu didalam bagian tubuh atau melakukan observasi terhadap fungsi dinamis. Dosis radiasi yang diterima pasien selama menjalani pemeriksaan dengan menggunakan fluoroskopi termasuk yang paling tinggi dibandingkan dengan dosis radiasi yang mungkin diterima oleh pasien dari pemeriksaan radiodiagnostik lainnya.

Efek radiasi dapat dibedakan menjadi 2 yaitu efek stokastik dan efek deterministik. Efek deterministik memiliki dosis ambang dan akibat yang ditimbulkan sesuai dengan dosis yang diterima sementara efek stokastik tidak memiliki dosis ambang. Efek stokastik yang bisa terjadi pada pasien misalnya cancerogenesis, efek hereditary (efek terlihat pada keturunan yang lahir dari orang tua yang salah satu atau keduanya mendapatkan radiasi sebelum konsepsi) dan efek pada fetus[17]. Efek yang perlu diwaspadai untuk pemeriksaan dengan menggunakan fluoroskopi adalah efek stokastik yang tidak memiliki dosis ambang.

Maksimal laju paparan yang diijinkan di Amerika oleh *Code of Federal Regulation (CFR)*, dibawah pengawasan *Center for Devices and Radiological Health (CDRH)*, cabang dari *Food and Drug Administration (FDA)*, “*Maximal legal entrance exposure rate*” ke pasien untuk fluoroskopi yang normal adalah 10 R/min. Untuk pemeriksaan fluoroskopi yang sifatnya khusus, *maximum exposure rate* yang diijinkan adalah 20R/min. *Typical entrance exposure rate* untuk citra fluoroskopi 1-2 R/min untuk ketebalan tubuh 10 cm, 3-5R/min untuk ketebalan tubuh rata-rata, serta untuk pasien yang gemuk 8-10R/min”[4]. Dosis yang diterima oleh pasien selama pemeriksaan dengan menggunakan

fluoroskopi sangat bervariasi. Hal ini dipengaruhi oleh variasi kV, mA, waktu pemeriksaan, FOV, ketebalan tubuh pasien, juga teknik pemeriksaan yang dilakukan oleh ahli radiologi. Karena itu diharapkan ahli radiologi dapat menyeimbangkan antara kualitas hasil pemeriksaan dengan dosis radiasi yang diterima oleh pasien selama pemeriksaan.

Dosis radiasi yang dapat dipantau secara *real time* adalah *dose area product* dengan menggunakan *dose area product meter*. Dosis pada pasien berupa *entrance surface dose* dapat dipantau dengan menggunakan *thermoluminiscent dosimeter* (TLD) dan sifatnya tidak *real time*.

Dose area product diartikan sebagai dosis serap diudara pada area berkas sinar x yang tegak lurus dengan pusat berkas dikalikan dengan luas area pada bidang yang sama. Hasil pengukuran dinyatakan dalam Gy \cdot cm² dan radiasi hambur dari pasien tidak diperhitungkan [5]. *Dose area product* diperkirakan proporsional dengan dosis ekuivalen (mSv) sehingga baik digunakan sebagai pengukur dosis untuk monitoring efek stokastik serta dapat juga digunakan untuk memperkirakan dosis kulit walaupun memiliki tingkat kesalahan yang cukup tinggi [16]. Saat ini banyak alat fluoroskopi sudah dilengkapi DAP meter, tapi alat ini tidak dapat memberikan informasi tentang dosis di kulit [18]

Entrance surface dose (ESD) didefinisikan sebagai dosis serap di udara pada titik perpotongan antara berkas sinar x dengan permukaan badan pasien, termasuk *backscatter*[5]. *The Dosimetry Working Party of IPSM* (1992) merekomendasikan pengukuran langsung menggunakan *thermoluminiscent dosimeter* (TLD) [5].

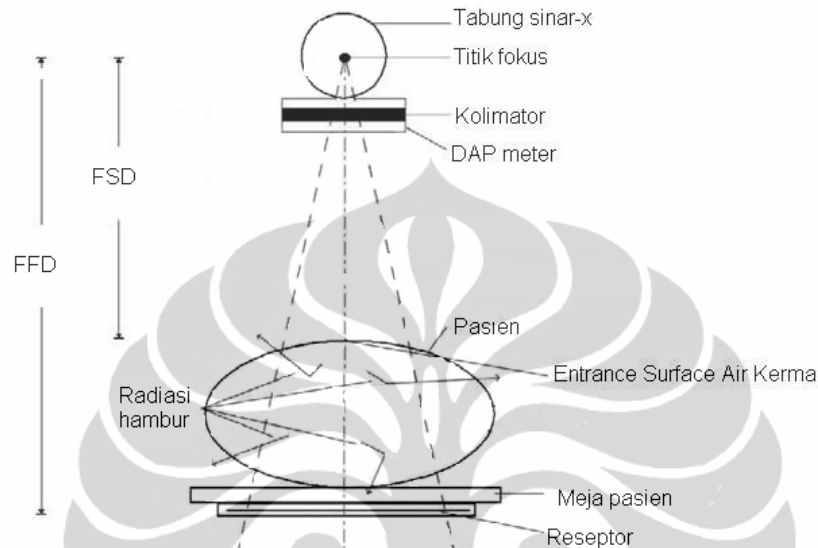
Di dalam TRS 457 terdapat diagram pengukuran dengan pemakaian istilah *entrance surface air kerma* untuk *entrance surface dose* dan *air kerma area product* untuk *dose area product* :

- ***Entrance Surface Air Kerma*** : adalah kerma di udara dari insiden berkas sinar x yang diukur pada *central beam axis* di permukaan badan pasien atau permukaan phantom. Pada *Entrance Surface Air Kerma*, radiasi *backscatter* diperhitungkan.

$$K_e = K_i B \quad (2.1)$$

- **Air Kerma Area Product** : adalah integral dari kerma diudara yang meliputi area berkas sinar x pada bidang yang tegak lurus dengan *beam axis*.

$$P_{KA} = \int_A K(x,y) dx dy \quad (2.2)$$



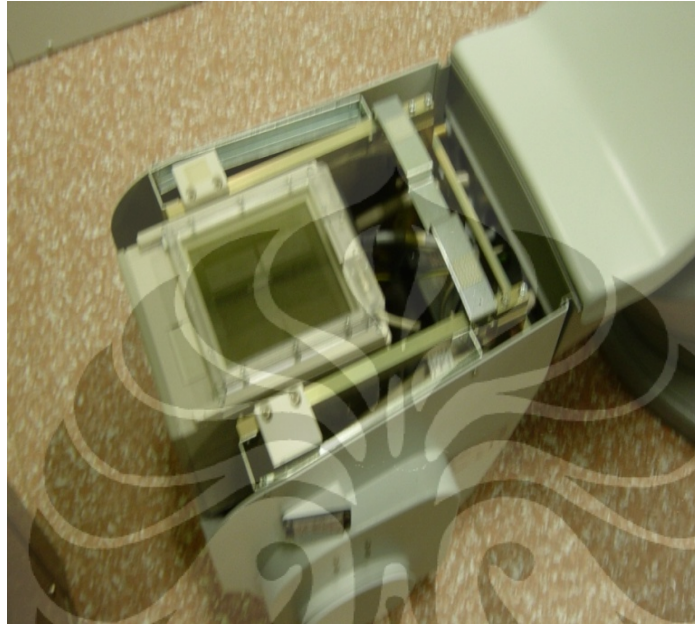
Gambar 2.2 Diagram Pengukuran (diadaptasi dari TRS no.457)

Di dalam *Code of Practice*, direkomendasikan pengukuran *air kerma area product* (P_{KA}) untuk memonitor exposure terhadap pasien selama menjalani pemeriksaan menggunakan fluoroskopi [12].

2.3 Dose Area Product (DAP) meter

DAP meter dapat digunakan untuk mengukur dilokasi pada setiap titik antara tabung sinar x dengan pasien dan hasil pengukurannya tidak dipengaruhi oleh radiasi hambur. Detektor pada DAP meter adalah bilik ionisasi (*ionization chamber*) transparan yang dihubungkan dengan elektrometer yang akan merespon *total charge* yang terkumpul di area chamber. Bilik ionisasi biasanya diletakkan di dekat fokus tabung dimana area berkas sinar x relatif kecil dan

dose rate relatif tinggi. Plat bilik ionisasi yang transparan tidak mengganggu jalannya pemeriksaan sehingga penggunaannya dapat dilakukan sepanjang waktu pemeriksaan dan informasi dapat diberikan secara *real time*.



Gambar 2.3 Dose area product meter

Prinsip kerja dari bilik ionisasi adalah penghitungan jumlah ionisasi yang terjadi dan hasilnya proporsional dengan dosis radiasi.

Bilik ionisasi berupa tabung berisi gas yang dikelilingi oleh dinding luar yang konduktif dan dibagian dalam tabung terdapat elektroda yang bertindak sebagai anoda. Antara katoda dan anoda dipisahkan oleh isolator dan diantara keduanya diberikan beda potensial. Pada saat terkena paparan radiasi, udara akan terionisasi. Elektrometer yang terhubung dengan bilik ionisasi akan menghitung jumlah total *charges* (Q) dari satu tipe, +/- dan Q yang dihasilkan proporsional dengan dosis didalam volume udara.

Exposure (X) adalah jumlah *charges* (+/-) yang diproduksi di dalam gas dengan massa m sebagai hasil dari radiasi, dimana :

$$X = \frac{dQ}{dm} \quad (2.2)$$

Jumlah *charges* yang diproduksi di dalam gas proporsional dengan dosis ($X \sim D_{\text{udara}}$).

Pengukuran dengan menggunakan bilik ionisasi membutuhkan koreksi terhadap temperatur dan tekanan udara untuk menghitung perubahan perubahan massa udara didalam volume tabung. Sebelum digunakan, bilik ionisasi harus ditempatkan dulu didalam ruangan tempat akan dilakukannya pengukuran agar dapat udara yang terdapat di dalam bilik sesuai dengan udara di dalam ruangan.

2.4 Thermoluminiscent Dosimeter

Thermoluminiscent Dosimeter (TLD) yang umum digunakan sebagai dosimeter di radiodiagnostik dan radioterapi memanfaatkan fenomena phosphorisensi didalam penggunaannya. Proses dari phosphorisensi dapat dipercepat dengan menggunakan panas dan juga cahaya. Jika yang digunakan adalah panas, fenomena ini dikenal sebagai thermoluminisensi dan materialnya disebut materi *thermoluminiscent* atau *thermoluminiscent dosimeter (TLD)* pada saat dipakai sebagai dosimetri.

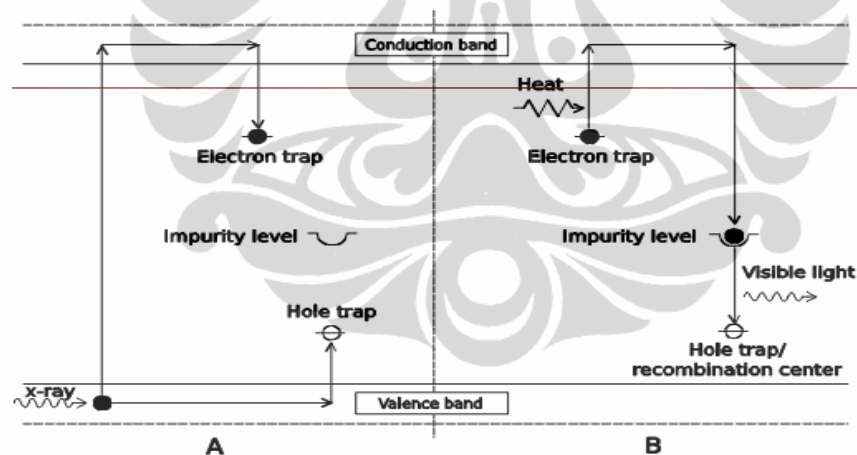
TLD yang dimanfaatkan sebagai dosimetri tersedia dalam berbagai bentuk seperti powder, chips, batang dan lain-lain.



Gambar 2.4 Ragam *thermoluminiscent dosimeter (TLD)*

TLD yang dipakai untuk aplikasi medis biasanya terbuat dari lithium fluoride yang didoping dengan magnesium dan titanium (LiF:Mg,Ti).

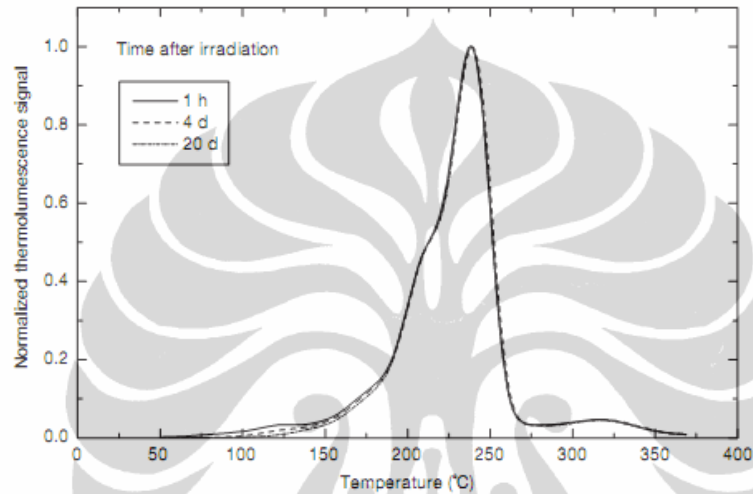
Salah satu jenis TLD yang umum dipakai sebagai pengukur dosis pada pasien seperti *entrance surface dose* adalah TLD chips. Jenis ini biasa dipakai karena ukurannya kecil, sensitivitasnya tinggi serta mempunyai nomor atom yang rendah. TLD chips ini memiliki dimensi sekitar 0.125x0.125x0.035 inci. Bahan dasar yang biasa dipakai adalah LiF karena nomor atom efektifnya (Z_{eff}) mendekati jaringan tubuh manusia[7]. TLD LiF merupakan kristal yang jarak gap antara pita valensi dan pita konduksinya tidak lebar. Kemudian diberi pengotor magnesium dan titanium (Mg;Ti). Dengan tambahan pengotor ini struktur kristal menjadi tidak sempurna sehingga akan timbul jebakan elektron (*electron trap*). Pada saat TLD menerima radiasi, elektron menerima energi dan tereksitasi meloncat ke pita konduksi kemudian akan turun ke jebakan elektron.



Gambar 2.5 Proses thermoluminisensi

Pada proses pembacaannya, TLD dipanaskan sehingga menyebabkan elektron kembali pada keadaan awalnya (*ground state*) sambil memancarkan cahaya. Spektrum intensitas cahaya memiliki puncak yang terjadi pada temperatur T_m yang disebut *glow peak*. Pada kebanyakan material TL ada lebih

dari satu tipe ‘jebakan’. Jebakan-jebakan ini memiliki celah energi yang berbeda-beda, sehingga masing-masing jebakan memiliki temperatur yang berbeda-beda untuk mengosongkan elektron dari jebakan tersebut. Akibatnya semakin banyak pula *glow peak* yang dihasilkan. Kumpulan *glow peak* ini membentuk kurva yang disebut *glow curve* yang dapat diproyeksikan terhadap temperatur maupun waktu seperti pada gambar dibawah.



Gambar 2.6 Kurva glow curve

Foton yang dihasilkan kemudian digandakan dengan *photomultiplier tube* (PMT) dan dikonversi ke dalam sinyal dengan satuan nanocoulomb (nC). Hasil cacahan ini sebanding dengan intensitas radiasi yang dapat dikonversi menjadi dosis.

Beberapa hal yang tidak menguntungkan dari penggunaan TLD adalah karena dibutuhkan waktu dan biaya tersendiri untuk proses TLD serta adanya rentang waktu antara eksposi dengan didaptkannya hasil bacaan.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1 Peralatan

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan phantom akrilik untuk mensimulasikan organ abdomen dengan variasi ketebalan 10, 15, 20 dan 25 cm. Ketebalan phantom disesuaikan dengan ketebalan tubuh anak-anak sampai dengan dewasa. Untuk mensimulasikan organ paru-paru digunakan phantom rando.

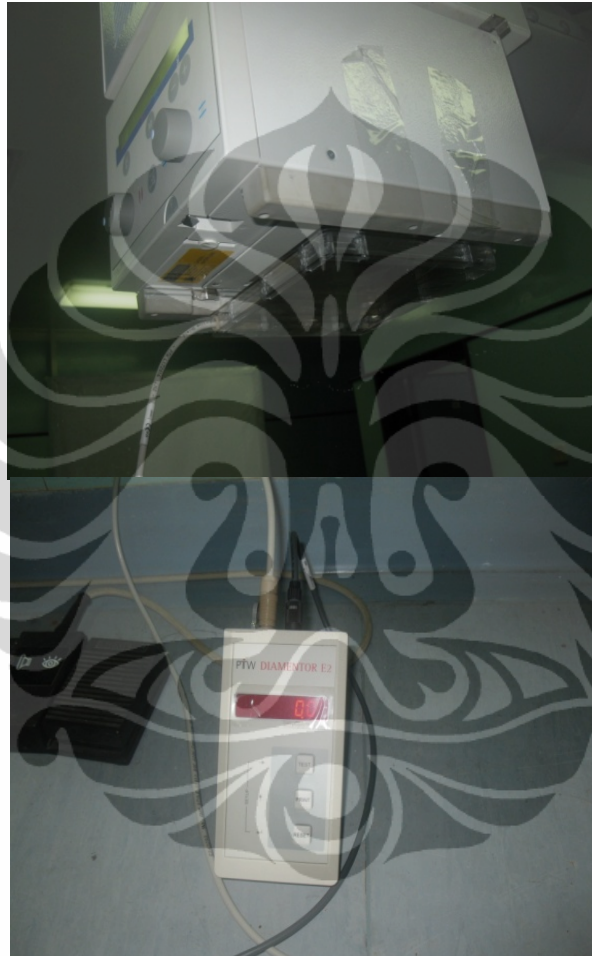
Penelitian dilakukan dengan menggunakan pesawat fluoroskopi milik RS. Kanker Dharmas Jl.Letjen S.Parman Kav.84-86 Jakarta. Pesawat fluoroskopi yang digunakan adalah Siemens Axiom Iconos R100 tipe Optilix 150/30/50HC-100 yang dipasang pada tahun 2006. Pesawat ini mempunyai kondisi maksimum 150 kV dan 800 mA serta memiliki tabung yang terletak di bagian atas tempat tidur pasien dan sistem reseptor (image intensifier).

Program jaminan kualitas pesawat fluoroskopi yang akan digunakan merupakan salah satu tahap preparasi penelitian. Pengukuran pada tahap ini meliputi pengecekan berbagai parameter kualitas sinar x yakni kVp dan *half value layer* (HVL). Apabila hasil pengukuran sesuai dengan standar, antara lain standar *Environment Protection Authority* (EPA), maka penelitian dapat dilanjutkan.



Gambar 3.1 Fluoroskopi Siemens Axiom Iconos R100

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur *dose area product* adalah DAP meter merk PTW model Diamentor E2 Tipe 11033 yang dapat mengukur *dose area product* (μGym^2) dan *dose area product rate* ($\mu\text{Gym}^2/\text{s}$)

**Gambar 3.2** DAP meter PTW model Diamentor E2 Tipe 11033

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur *Entrance Surface Dose* adalah thermoluminiscent dosimeter (TLD) 100 LiF berbentuk chips. TLD dikalibrasi dan dievaluasi oleh bagian dosimetri Pusat Teknologi Keselamatan & Metrologi Radiasi BATAN Lebak Bulus Jakarta.



Gambar 3.3 TLD chips



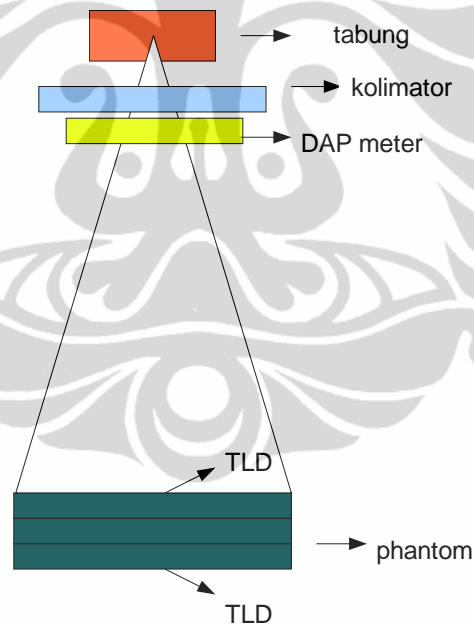
Gambar 3.4 Phantom Rando

3.2 Metode pengambilan data

Saat pengambilan data, pengukuran *dose area product* dan *entrance surface dose* dilakukan secara bersamaan. Bilik ionisasi DAP meter ditempatkan pada diafragma tabung sedangkan TLD chip ditempelkan pada permukaan phantom tempat *entrance* dan *exit* berkas sinar x. Untuk beradaptasi dengan suhu

ruang, minimal 1 jam sebelum digunakan bilik ionisasi diletakkan dalam ruang fluoroskopi. Untuk faktor koreksi terhadap suhu dan tekanan udara disekitarnya, digunakan persamaan : $k_{TP} = \left[\frac{273.2+T}{273.2+T_0} \right] \left[\frac{P_0}{P} \right]$, sesuai dengan Technical Report Sistem (TRS) 457. Referensi tekanan udara dan temperatur yang digunakan adalah $P_0 = 101.2$ kPa dan $T_0 = 20^\circ\text{C}$.

Pengukuran dilakukan dengan variasi ketebalan phantom 10 cm, 15 cm, 20 cm, dan 25 cm. Untuk tiap ketebalan dilakukan variasi waktu fluoroskopi 20 detik, 40 detik, 60 detik, 80 detik, 100 detik dan 120 detik. Simulasi kondisi klinis dilakukan untuk ketebalan 20 dan 25 cm, setelah jeda selama 30 detik dari pengambilan data 120 detik yang pertama diambil data untuk 120 yang kedua yang dilanjutkan dengan 240 detik. Pengambilan data yang demikian dimaksudkan untuk melihat kestabilan dosis yang dihasilkan.



Gambar 3.5 Skema posisi DAP meter dan TLD

Untuk simulasi organ paru-paru digunakan obyek phantom rando dengan variasi waktu yang sama dengan simulasi untuk abdomen, tapi tidak dilakukan

pengukuran dosis yang keluar melalui phantom jadi TLD hanya diletakkan di permukaan phantom.

Dari tiap kali eksposi pada phantom akrilik, diambil data nilai *dose area product* (μGym^2), *dose area product rate* ($\mu\text{Gym}^2/\text{s}$), *entrance surface dose* (μGy) dan dosis yang keluar melalui phantom (μGy). Sedangkan untuk phantom rado, data yang diambil sama dengan phantom akrilik tapi tanpa data dosis radiasi yang keluar dari phantom.



Gambar 3.6 Posisi DAP meter dan TLD

Pesawat fluoroskopi dilengkapi dengan *automatic exposure control* (AEC) yang mengatur kV dan mA sesuai dengan ketebalan obyek. Perubahan kV dan mA merupakan fungsi dari absorpsi obyek yang terdapat diantara tube dan image intensifier, kualitas citra yang diinginkan serta luas lapangan penyinaran yang dipakai[12]. Luas lapangan pada tiap eksposi 20 x 20 cm pada penunjukan kolimator, dengan demikian luas lapangan pada permukaan phantom sesuai dengan ketebalannya. *Focal spot* yang digunakan adalah focal spot besar dan jarak dari fokus ke film (*focus film distance* / FFD) 115 cm.

BAB 4

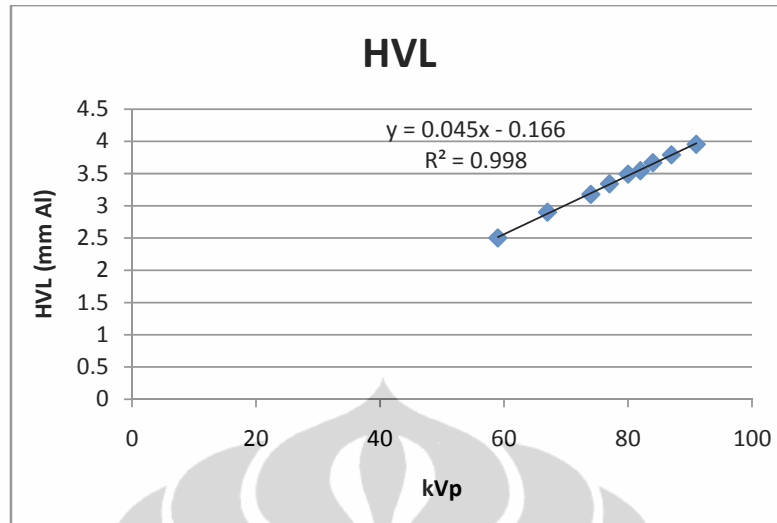
HASIL DAN PEMBAHASAN

Prosedur fluoroskopi memerlukan waktu yang relatif lama sehingga memberikan resiko lebih tinggi dibanding dengan prosedur radiografi lainnya. Tidak semua pesawat fluoroskopi dilengkapi dengan DAP meter sehingga paparan pada pasien tidak dapat diprediksi. Dalam penelitian ini telah dilakukan pengukuran *entrance surface dose* dan *dose area product*. Pesawat fluoroskopi yang digunakan tidak dilengkapi dengan DAP meter sehingga nilai *dose area product* diukur dengan cara menempelkan bilik ionisasi pada kolimator sementara pengukuran *entrance surface dose* dilakukan dengan menggunakan thermoluminiscent dosimeter (TLD) yang ditempelkan pada phantom akrilik dengan ketebalan 10, 15, 20 dan 25 cm serta phantom rando.

4.1. Uji Fungsi Pesawat Fluoroskopi

Uji fungsi pesawat fluoroskopi merupakan salah satu tahap persiapan penelitian. Pengukuran dilakukan khusus untuk mengetahui keakurasian kVp dan nilai HVL. Hasil pengukuran dapat dilihat dalam *lampiran 1* dan *lampiran 2*. Pada *lampiran* tersebut dapat dilihat bahwa kualitas berkas sinar x hasil pengukuran memenuhi persyaratan *environment protection authority* (EPA). Spesifikasi EPA untuk penyimpangan kVp adalah 5%. Penyimpangan kVp yang terbesar pada alat fluoroskopi ini adalah 3.0% terjadi pada kVp 84.

Nilai HVL didapatkan untuk kVp 59, 67, 74, 77, 80, 82, 84, 87 dan 91. Dari tabel pada *lampiran 2* dibuat grafik hubungan antara kVp dan HVL pada gambar 4.1. Hubungan keduanya linear dengan koefisien korelasi 0.998.



Gambar 4.1 Grafik nilai HVL (mmAl)

EPA memberikan rekomendasi untuk nilai HVL minimum seperti tercantum pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Nilai HVL minimum berdasarkan rekomendasi EPA

HVL minimum (rekomendasi)	
kV	HVL
50	1.5
60	1.8
70	2.1
80	2.3
90	2.5
100	2.7
110	3.0
120	3.2
130	3.5
140	3.8
150	4.1

Dengan mengacu pada standar nilai HVL minimum yang direkomendasikan oleh EPA, maka nilai HVL yang didapat sudah memenuhi standar.

4.2 DATA DOSE AREA PRODUCT DAN ENTRANCE SURFACE DOSE

4.2.a Hubungan DAP terhadap ESD pada berbagai variasi phantom dan waktu paparan

Pengukuran nilai DAP dan ESD pada phantom akrilik dengan ketebalan 10cm dilakukan pada jarak antara fokus ke TLD 96 cm. Penunjukan luas lapangan penyinaran pada kolimator 20cm x 20cm sedangkan luas lapangan pada permukaan phantom 17cm x 17cm.

Pada setiap pengukuran menggunakan DAP meter dilakukan koreksi temperatur dan tekanan udara mengikuti persamaan :

$$k_{TP} = \left[\frac{273.2+T}{273.2+T_0} \right] \left[\frac{P_0}{P} \right] \quad (4.1)$$

Tabel 4.2 Nilai hasil pengukuran pada phantom akrilik 10 cm

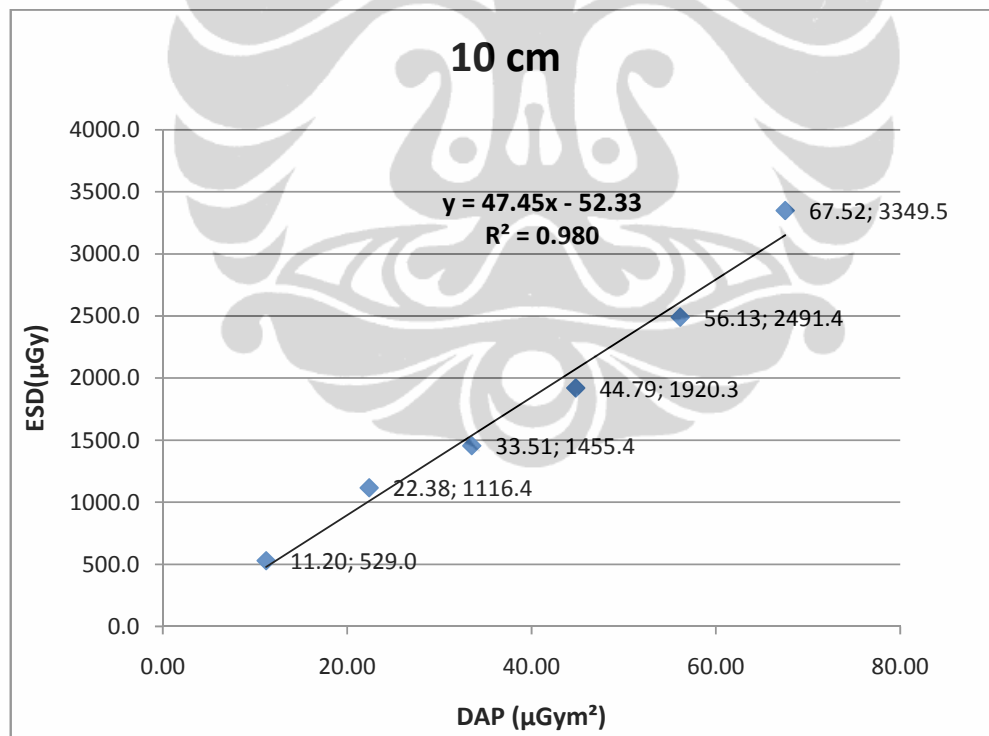
waktu	DAP	DAP RATE	ESD	TLD Exit	DAP/mAs	ESD/mAs	(ESD/mAs)/ (DAP/mAs)
S	μGym^2	$\mu\text{Gym}^2/\text{s}$	(μGy)	(μGy)	$\mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$	$\mu\text{Gy}/\text{mAs}$	
20	(11.2±0.2)	(0.53±0.01)	(529±12)	(153.6±0.0)	0.70	33.06	47.2
40	(22.4±0.3)	(0.53±0.01)	(1116±89)	(264.1±0.0)	0.70	34.89	49.9
60	(33.5±0.1)	(0.53±0.01)	(1455±19)	(365.1±0.0)	0.70	30.32	43.4
80	(44.8±0.2)	(0.53±0.01)	(1920±101)	(446.8±0.0)	0.70	30.00	42.9
100	(56.1±0.6)	(0.53±0.01)	(2491±135)	(568.6±0.0)	0.70	31.14	44.4
120	(67.5±0.9)	(0.53±0.01)	(3350±125)	(711.4±0.0)	0.70	34.89	49.6
						(32.4±2.2)	(46.2±3.1)

Dengan ketebalan phantom 10 cm diperoleh nilai parameter eksposi 59 kVp dan 0.8 mA.

Tampak nilai laju DAP sangat konstan sebesar $(0.53 \pm 0.01) \mu\text{Gym}^2/\text{s}$. Demikian pula untuk nilai DAP/mAs sebesar 0.7. Dilain pihak nilai ESD/mAs bervariasi dengan waktu memiliki kisaran nilai antara 30 sampai 34.89 dengan rata-rata (32.4 ± 2.2) .

Pada hubungan *dose area product* terhadap *entrance surface dose* didapatkan hubungan yang linear dengan $R^2 = 0.980$, serta persamaan garis $y = 47.45x - 52.33$.

Ratio antara ESD/mAs dengan DAP/mAs memiliki nilai yang berfluktuasi dalam rentang 43 sampai 50 dengan rata-rata (46.2 ± 3.1)



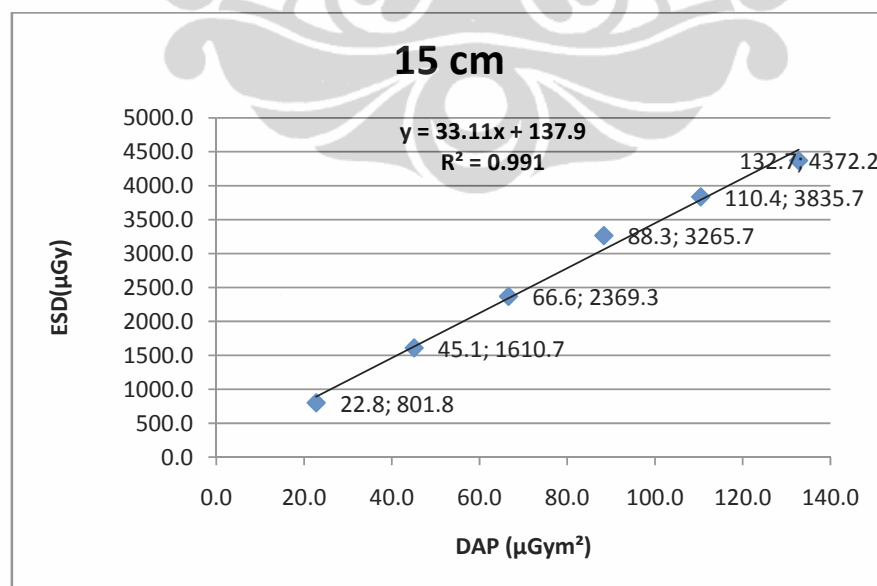
Gambar 4.2 Hubungan ESD terhadap DAP pada phantom akrilik 10 cm

Pada pengukuran dosis yang keluar melalui phantom didapatkan nilai yang linear terhadap dosis yang masuk ke phantom dengan nilai $R^2 = 0.994$.

Dengan cara yang sama dilakukan juga pengukuran dan evaluasi untuk medium phantom 15 cm, 20 cm, 25 cm dan phantom rando. Hasilnya dapat dilihat pada tabel dan grafik dibawah ini serta pada tabel lengkap di lampiran 3 sampai dengan lampiran 7.

Tabel 4.3 Nilai hasil pengukuran pada phantom akrilik 15 cm

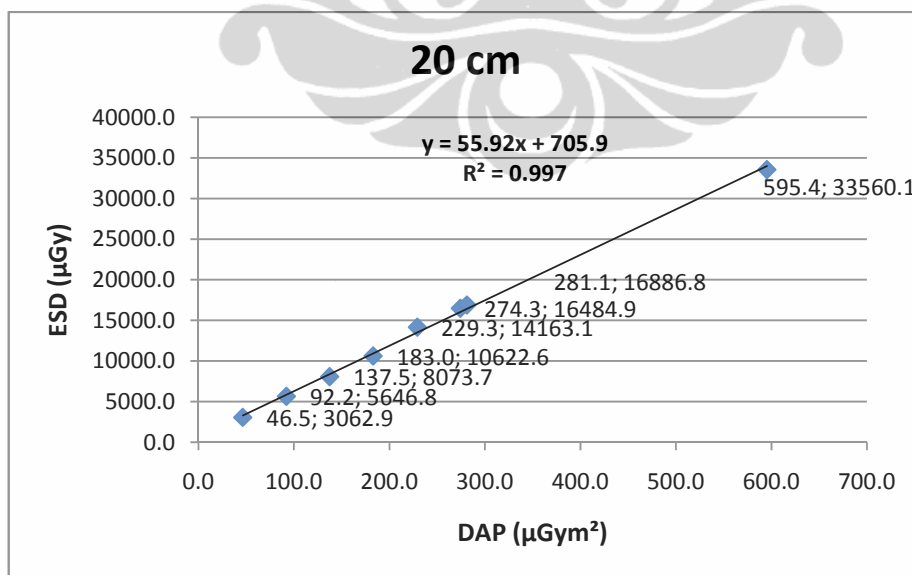
Waktu	DAP	DAP Rate	ESD	TLD exit	DAP/mAs	ESD/mAs	(ESD/mAs)/ (DAP/mAs)
S	μGym^2	$\mu\text{Gym}^2/\text{s}$	μGy	μGy	$\mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$	$\mu\text{Gy}/\text{mAs}$	
20	(22.8±0.1)	(1.1±0.0)	(801.8±0.0)	(87.8±13.4)	1.0	36.4	35.2
40	(45.1±0.2)	(1.1±0.0)	(1610.7±0.1)	(99.9±7.4)	1.0	36.6	35.7
60	(66.6±0.1)	(1.1±0.0)	(2369.3±0.1)	(148.6±8.4)	1.0	35.9	35.6
80	(88.3±0.2)	(1.1±0.0)	(3265.7±0.3)	(185.0±11.5)	1.0	37.1	37.0
100	(110.4±0.6)	(1.1±0.0)	(3835.7±0.2)	(213.9±14.9)	1.0	34.9	34.7
120	(132.7±0.5)	(1.1±0.0)	(4372.2±0.1)	(221.7±37.8)	1.0	33.1	32.9
						(35.7±1.5)	(35.2±1.3)



Gambar 4.3 Hubungan ESD terhadap DAP pada phantom akrilik 15 cm

Tabel 4.4 Nilai hasil pengukuran pada phantom akrilik 20 cm

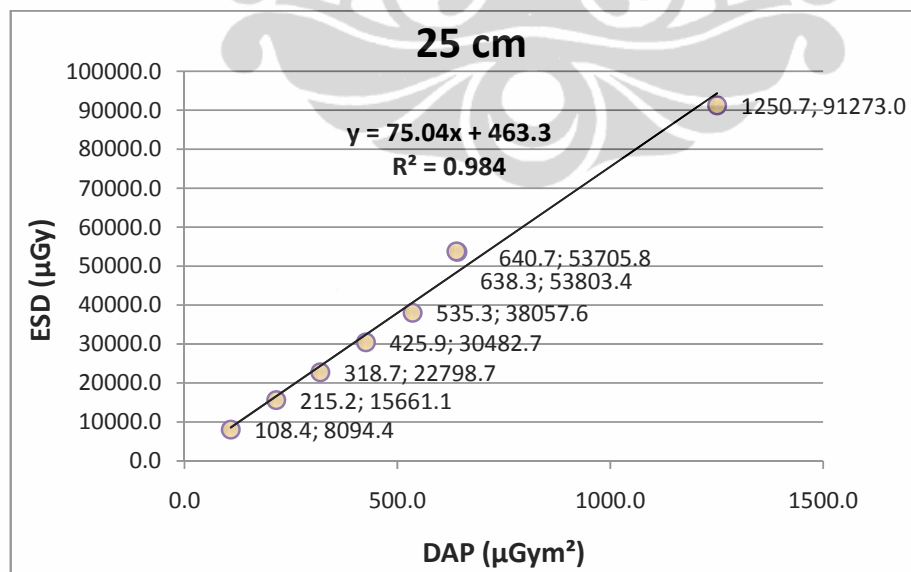
waktu	DAP	DAP RATE	ESD	EXIT DOSE	DAP/mAs	ESD/mAs	(ESD/mAs)/(DAP/mAs)
s	μGym^2	$\mu\text{Gym}^2/\text{s}$	μGy	μGy	$\mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$	$\mu\text{Gy}/\text{mAs}$	$/\text{m}^2$
20	(46.5±0.1)	(2.3±0.0)	(3063±101)	(97.0±41.4)	1.5	95.7	65.9
40	(92.2±0.4)	(2.3±0.0)	(5647±347)	(125.1±16.8)	1.4	88.2	61.3
60	(137.5±0.1)	(2.3±0.0)	(8074±704)	(188.2±28.3)	1.4	84.1	58.7
80	(183.0±0.3)	(2.3±0.0)	(10623±691)	(272.7±71.1)	1.4	83.0	58.0
100	(229.3±0.9)	(2.3±0.0)	(14163±928)	(295.8±19.9)	1.4	88.5	61.8
120	(274.3±0.6)	(2.3±0.0)	(16485±824)	(361.2±30.3)	1.4	85.9	60.1
120	(281.1±5.6)	(2.4±0.0)	(16887±100)		1.4	88.0	61.5
240	(595.4±20.8)	(2.4±0.0)	(33560±693)		1.4	77.7	56.4
						(86.4±5.2)	(60.5±2.9)



Gambar 4.4 Hubungan ESD terhadap DAP pada phantom akrilik 20 cm

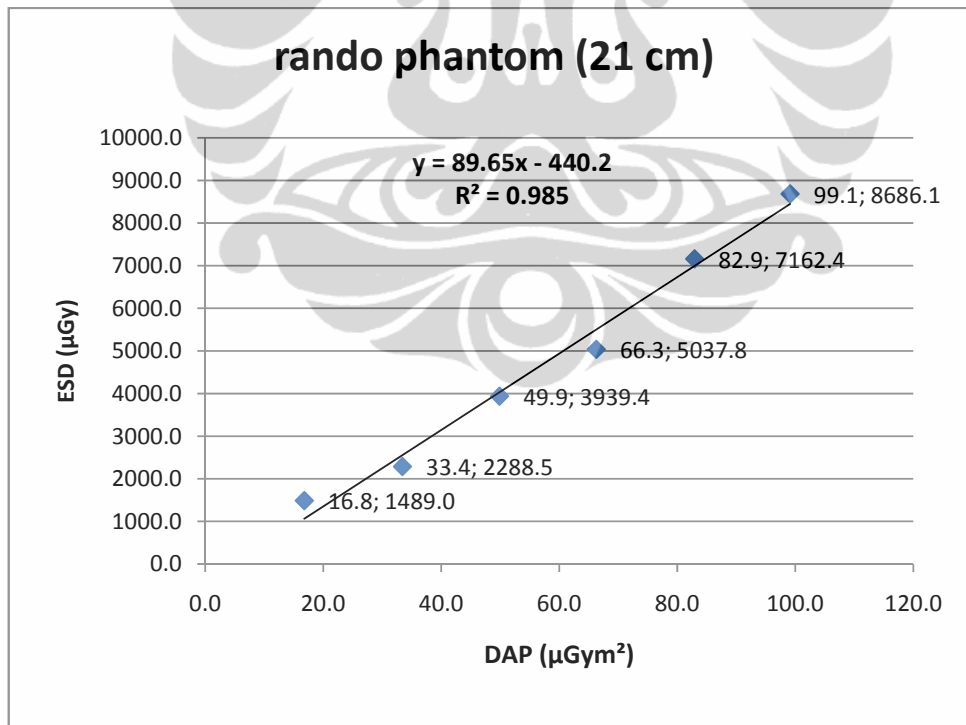
Tabel 4.5 Nilai hasil pengukuran pada phantom akrilik 25 cm

waktu	DAP	DAP rate	ESD	EXIT DOSE	DAP/mAs	ESD/mAs	(ESD/mAs)/ (DAP/mAs)
(s)	μGym^2	$\mu\text{Gym}^2/\text{s}$	μGy	μGy	$\mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$	$\mu\text{Gy}/\text{mAs}$	$/\text{m}^2$
20	(108.4 \pm 2.6)	(5.3 \pm 0.1)	(8094 \pm 778)	(135.7 \pm 10.7)	1.9	144.5	75.1
40	(215.2 \pm 2.3)	(5.3 \pm 0.1)	(15661 \pm 1527)	(191.6 \pm 23.7)	1.9	139.8	73.2
60	(318.8 \pm 0.6)	(5.3 \pm 0.1)	(22799 \pm 2139)	(275.8 \pm 3.5)	1.9	135.7	71.9
80	(425.9 \pm 3.6)	(5.3 \pm 0.1)	(30483 \pm 1827)	(344.0 \pm 11.2)	1.9	136.1	72.0
100	(535.3 \pm 3.7)	(5.3 \pm 0.1)	(38058 \pm 3098)	(355.8 \pm 10.7)	1.9	135.9	71.5
120	(640.7 \pm 7.0)	(5.3 \pm 0.1)	(53706 \pm 1201)	(508.2 \pm 11.2)	1.9	159.8	84.3
120	(638.3 \pm 3.7)	(5.3 \pm 0.1)	(53803 \pm 8328)		1.9	160.1	84.3
240	(1250.7 \pm 13.1)	(5.3 \pm 0.1)	(91273 \pm 2097)		1.9	135.8	73.0
						(143.5 \pm 10.6)	(75.6 \pm 5.4)

**Gambar 4.5** Hubungan ESD terhadap DAP pada phantom akrilik 25 cm

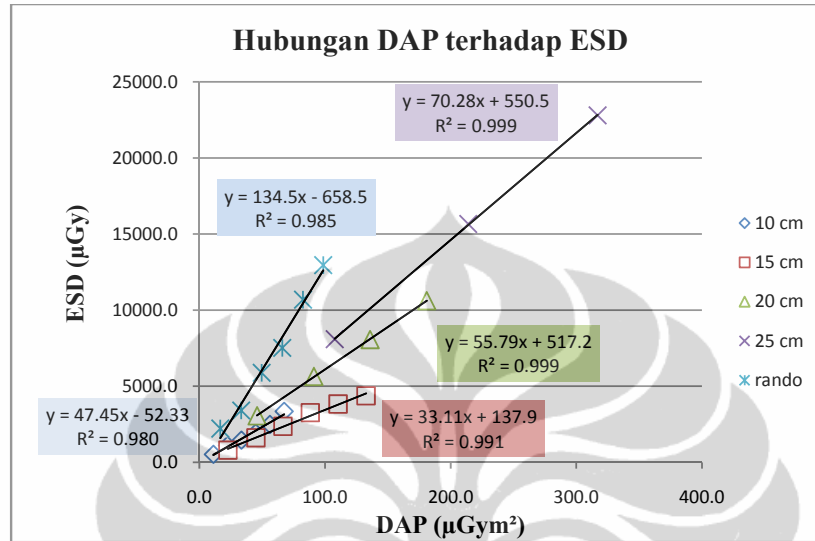
Tabel 4.6 Nilai hasil pengukuran pada phantom rando

TIME	DAP	DAP Rate	ESD	DAP/mAs	ESD/mAs	(ESD/mAs)/ DAP/mAs
(s)	μGym^2	$\mu\text{Gym}^2/\text{s}$	μGy	$\mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$	$\mu\text{Gy}/\text{mAs}$	$/\text{m}^2$
20	(16.8±0.2)	(0.83±0.01)	(1489.0±70.6)	0.84	74.45	88.65
40	(33.4±0.4)	(0.83±0.01)	(2288.5±182.1)	0.84	57.21	68.45
60	(49.9±0.4)	(0.83±0.01)	(3939.4±141.7)	0.83	65.66	78.96
80	(66.3±0.6)	(0.83±0.01)	(5037.8±462.1)	0.83	62.97	76.00
100	(82.9±0.2)	(0.83±0.01)	(7162.4±666.3)	0.83	71.62	86.35
120	(99.1±1.0)	(0.83±0.01)	(8686.1±391.1)	0.83	72.38	87.62
					(67.4±6.6)	(81.0±8.0)



Gambar 4.6 Hubungan ESD terhadap DAP pada phantom rando

Hubungan *dose area product* terhadap *entrance surface dose* pada semua variasi phantom menunjukkan hubungan yang linear seperti terlihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hubungan ESD terhadap DAP pada variasi ketebalan phantom akrilik dan phantom rando

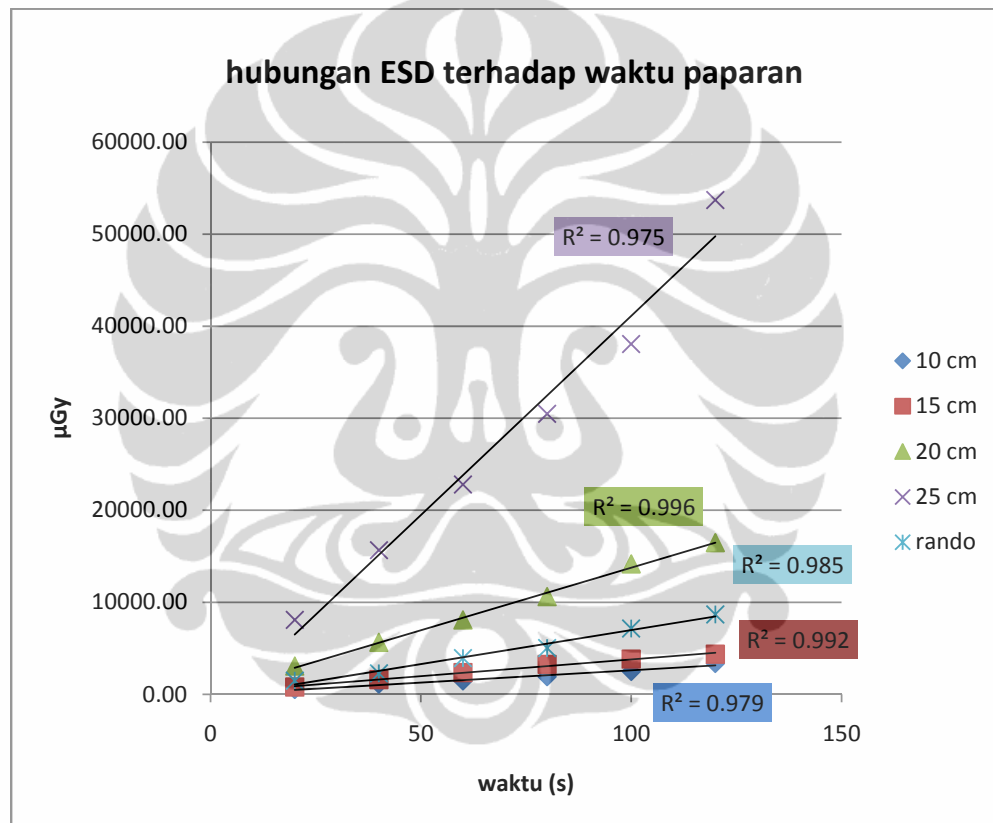
4.2.b Hubungan nilai *entrance surface dose* (ESD) terhadap ketebalan phantom dan waktu paparan

Pada tabel dan grafik dibawah ini dapat dilihat hubungan nilai ESD terhadap ketebalan phantom serta waktu paparan.

Tabel 4.7 Nilai ESD (μGy) pada berbagai variasi phantom dan waktu paparan

	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	Rando (21 cm)
20'	(529.0±12.5)	(801.8±0.0)	(3063±101)	(8094±778)	(1489.0±70.6)
40'	(1116.4±89.0)	(1610.7±0.1)	(5647±347)	(15661±1527)	(2288.5±182.1)
60'	(1455.4±19.4)	(2369.3±0.1)	(8074±704)	(22799±2139)	(3939.4±141.7)
80'	(1920.3±101.4)	(3265.7±0.3)	(10623±691)	(30483±1827)	(5037.8±462.1)
100'	(2491.4±134.7)	(3835.7±0.2)	(14163±928)	(38058±3098)	(7162.4±666.3)
120'	(3349.5±125.0)	(4372.2±0.1)	(16485±824)	(53706±1201)	(8686.1±391.1)
120'			(16887±100)	(53803±8328)	
240'			(33560±693)	(91273±2097)	

Tampak ESD meningkat sesuai dengan peningkatan waktu paparan dan ketebalan phantom. Nilai ESD dari yang terendah sampai yang tertinggi adalah pada ketebalan phantom 10 cm, phantom rando dengan tebal 21 cm, phantom 15 cm, phantom 20 cm dan yang tertinggi phantom 25 cm. Phantom rando yang memiliki ketebalan 21 cm di daerah dada menghasilkan nilai ESD di bawah phantom akrilik 15 cm. Hal ini disebabkan organ yang diambil pada phantom rando adalah paru-paru yang memiliki densitas jaringan lebih rendah daripada akrilik yang mensimulasikan abdomen.



Gambar 4.8 Grafik hubungan ESD terhadap waktu paparan

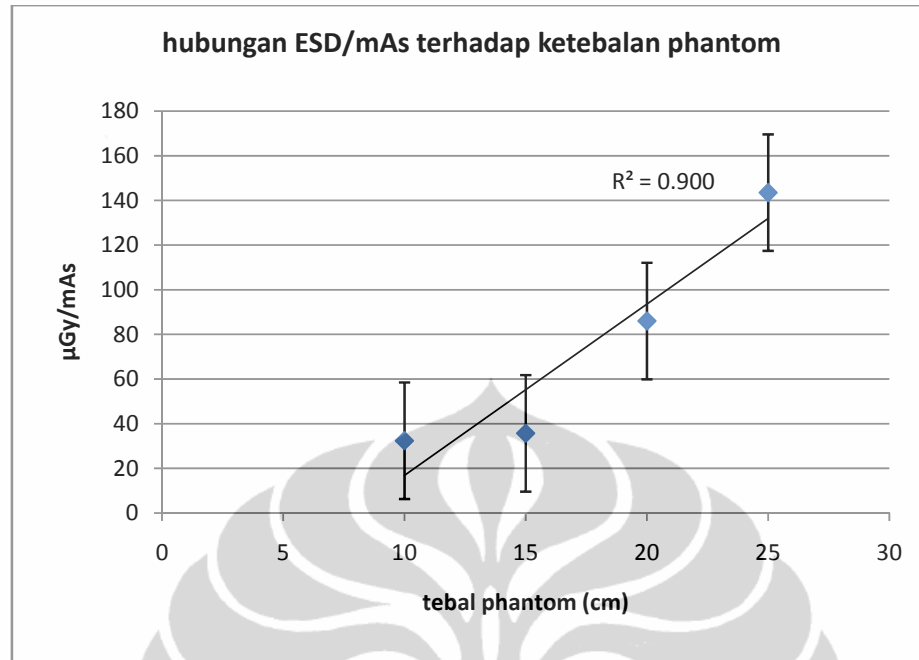
Nilai ESD meningkat pada setiap pertambahan waktu paparan dan diantara keduanya didapatkan hubungan yang linear.

4.2.c Hubungan nilai ESD/mAs terhadap variasi tebal phantom dan waktu paparan

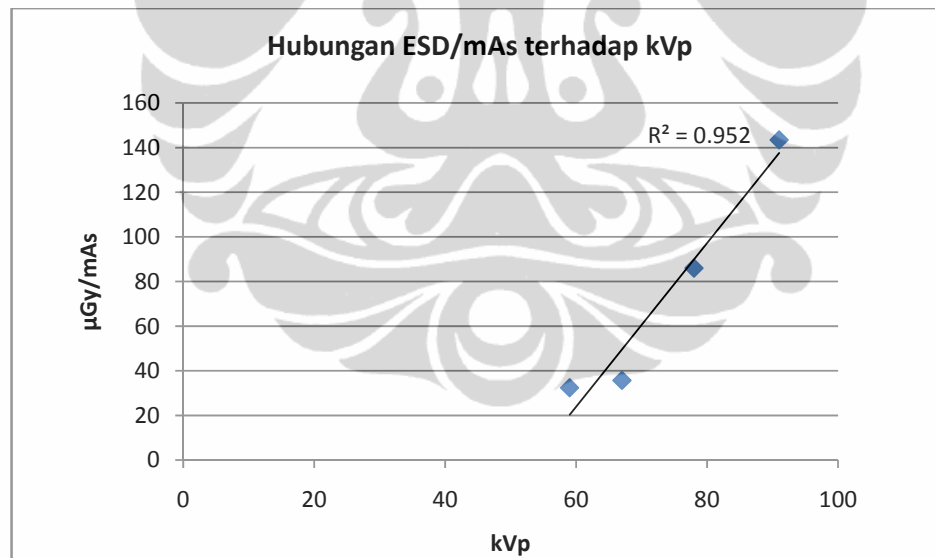
Tabel 4.8 Variasi nilai ESD/mAs ($\mu\text{Gy/mAs}$) pada berbagai variasi phantom dan waktu paparan

waktu	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	Rando (21 cm)
	59 kVp	67 kVp	78 kVp	91 kVp	63 kVp
20'	33.1	36.4	95.7	144.5	74.5
40'	34.9	36.6	88.2	139.8	57.2
60'	30.3	35.9	84.1	135.7	65.7
80'	30.0	37.1	83.0	136.1	63.0
100'	31.1	34.9	88.5	135.9	71.6
120'	34.9	33.1	85.9	159.8	72.4
120'			88.0	160.1	
240'			77.7	135.8	
rata-rata	(32.4 \pm 2.2)	(35.7 \pm 1.5)	(86.4 \pm 5.2)	(143.5 \pm 10.6)	(67.4 \pm 6.6)

Pada hubungan ESD/mAs terhadap waktu paparan didapatkan nilai yang cukup fluktuatif pada setiap perubahan waktu. Nilai pada ketebalan akrilik 25 cm dan phantom rando lebih fluktuatif daripada phantom 10 cm – 20 cm. Hal ini memperlihatkan pengaruh radiasi hambur yang lebih tinggi pada ketebalan phantom yang lebih tinggi. Nilai pada phantom rando juga lebih fluktuatif karena struktur phantom rando yang tidak sehomogen phantom akrilik.



Gambar 4.9 Grafik hubungan ESD/mAs terhadap tebal phantom



Gambar 4.10 Grafik hubungan ESD/mAs terhadap kVp

Pada hubungan ESD/mAs terhadap tebal phantom akrilik dan pada hubungan ESD/mAs terhadap kVp didapatkan hubungan yang cukup linear.

4.2.d. Hubungan nilai *dose area product* (DAP) terhadap ketebalan phantom serta waktu paparan

Pada tabel dibawah ini dibandingkan nilai DAP/mAs terhadap tebal phantom dan phantom rando pada berbagai variasi waktu paparan.

Tabel 4.9 Nilai DAP (μGym^2) pada berbagai variasi phantom dan waktu paparan.

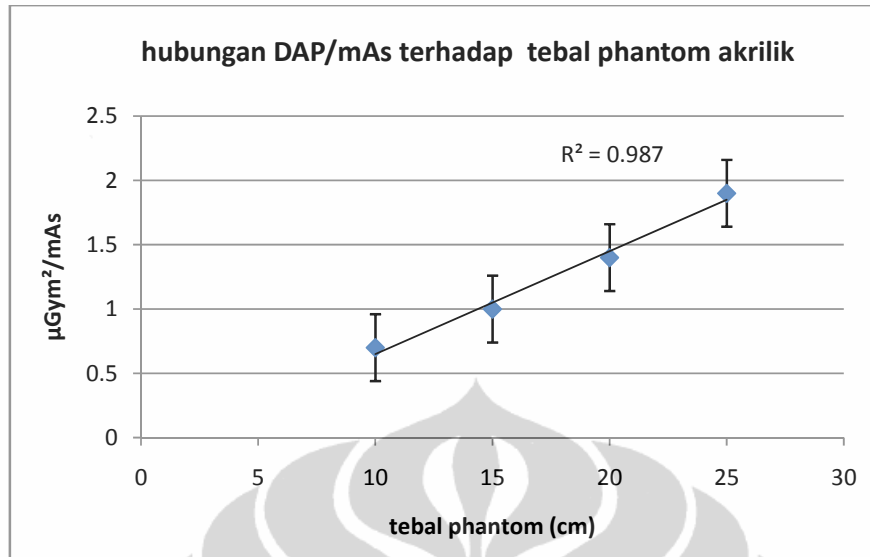
waktu	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	rando
20'	(11.2±0.2)	(22.8±0.1)	(46.5±0.1)	(108.4±2.6)	(16.8±0.2)
40'	(22.4±0.3)	(45.1±0.2)	(92.2±0.4)	(215.2±2.3)	(33.4(±0.4)
60'	(33.5±0.04)	(66.6±0.1)	(137.5±0.1)	(318.8±0.6)	(49.9±0.4)
80'	(44.8±0.2)	(88.3±0.2)	(183.0±0.3)	(425.9±3.6)	(66.3±0.6)
100'	(56.1±0.6)	(110.4±0.6)	(229.3±0.9)	(535.3±3.7)	(82.9±0.2)
120'	(67.5±0.9)	(132.7±0.5)	(274.3±0.6)	(640.7±7.0)	(99.1±1.0)
120'			(297.1±1.8)	(638.3±3.7)	
240'			(595.4±20.8)	(1250.7±13.1)	

Tampak nilai dose area product meningkat sesuai dengan kenaikan ketebalan phantom dan waktu paparan.

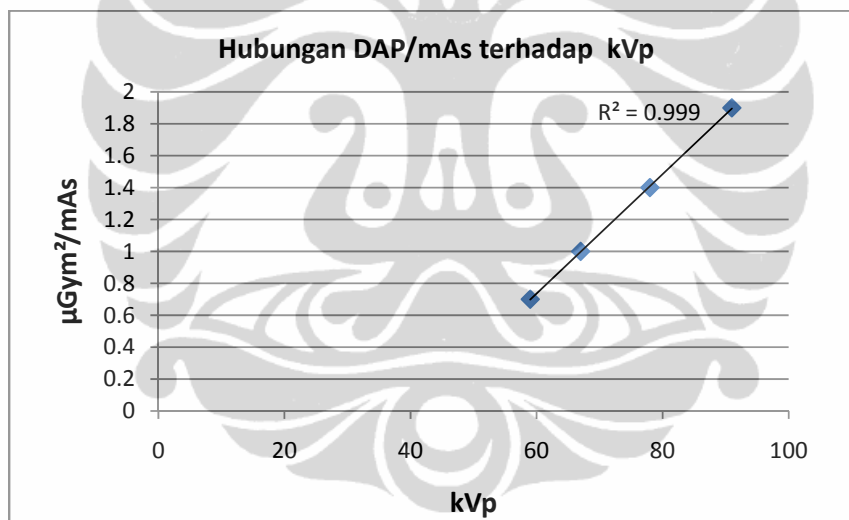
4.2.e Hubungan nilai DAP/mAs terhadap ketebalan phantom serta waktu paparan

Tabel 4.10 Nilai DAP/mAs ($\mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$) pada berbagai variasi phantom dan waktu paparan .

waktu	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	rando
	59kVp	67 kVp	78 kVp	91 kVp	63 kVp
20'	0.70	1.0	1.5	1.9	0.84
40'	0.70	1.0	1.4	1.9	0.84
60'	0.70	1.0	1.4	1.9	0.83
80'	0.70	1.0	1.4	1.9	0.83
100'	0.70	1.0	1.4	1.9	0.83
120'	0.70	1.0	1.4	1.9	0.83
120'			1.4	1.9	
240'			1.4	1.9	



Gambar 4.11 Grafik hubungan DAP/mAs terhadap tebal phantom



Gambar 4.12 Grafik hubungan DAP/mAs terhadap kVp

Nilai DAP/mAs tampak sangat stabil pada tiap variasi waktu paparan sementara antara DAP/mAs terhadap ketebalan phantom dan antara DAP/mAs terhadap kVp menunjukkan hubungan yang linear. Nilai yang stabil ini bisa didapatkan karena tidak adanya pengaruh radiasi hambur terhadap hasil pengukuran *dose area product*. Jadi yang berperan besar pada pengukuran DAP adalah kualitas berkas sinar x.

4.2.f Hubungan nilai ESD/mAs terhadap DAP/mAs pada berbagai variasi phantom dan waktu paparan

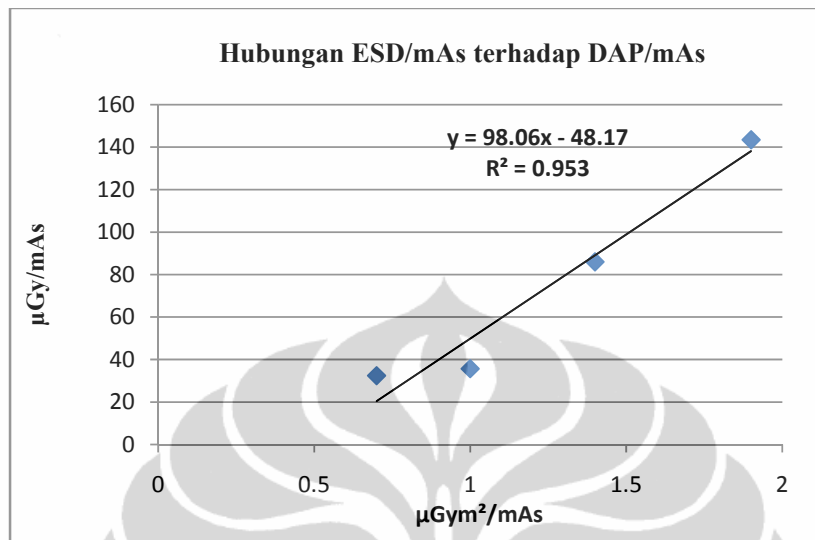
Pada bagian ini dilihat hubungan nilai ESD/mAs terhadap DAP/mAs pada tiap variasi ketebalan phantom akrilik dan phantom rando dengan berbagai variasi waktu paparan.

Tabel 4.11 Nilai (ESD/mAs)/(DAP/mAs) pada berbagai variasi waktu paparan dan ketebalan phantom

waktu	10 cm	15 cm	20 cm	25 cm	Rando (21 cm)
20'	47.2	35.24	65.92	75.09	88.65
40'	49.9	35.71	61.26	73.18	68.45
60'	43.4	35.57	58.73	71.92	78.96
80'	42.9	36.97	58.04	71.97	76.00
100'	44.4	34.74	61.77	71.48	86.35
120'	49.6	32.94	60.09	84.28	87.62
120'			64.0	84.29	
240'			56.37	72.98	
rata-rata	(46.2±3.1)	(35.2±1.3)	(60.8±3.1)	(75.6±5.4)	(81.0±8.0)

Di tabel 4.11 dapat dilihat bahwa rasio antara ESD/mAs dengan DAP/mAs pada variasi waktu paparan cukup berfluktuasi. Pada saat rasio ESD/mAs dengan DAP/mAs dihubungkan dengan ketebalan phantom tidak tampak pola hubungan yang jelas. Pada ketebalan 15 cm didapatkan nilai yang lebih rendah daripada nilai di ketebalan 10 cm.

Selanjutnya dilihat hubungan ESD/mAs terhadap DAP/mAs seperti pada gambar 4.13 dibawah ini.



Gambar 4.13 Hubungan ESD/mAs terhadap DAP/mAs pada semua variasi ketebalan phantom akrilik

Pada hubungan ESD/mAs terhadap DAP/mAs pada gambar 4.13 dihasilkan persamaan linear $y=98.06x - 48.17$. Nilai ESD/mAs hasil pengukuran dibandingkan dengan nilai ESD/mAs mengikuti persamaan linear tersebut dan didapatkan hasil seperti pada tabel 4.12

Tabel 4.12 Penyimpangan yang terjadi antara ESD/mAs terukur terhadap ESD/mAs menurut persamaan linear

Phantom	DAP/mAs	ESD/mAs terukur	Persamaan linear	
	μGym²/mAs	μGy/mAs	μGy/mAs	Δ/terukur
			$y = 98.06x - 48.17$	
10 cm	0.7	32.4	20.5	36.8 %
15 cm	1.0	35.7	49.9	-39.7 %
20 cm	1.4	86.0	89.1	-3.6 %
25 cm	1.9	143.5	138.1	3.7 %
rando	0.8	67.4	30.3	55.1 %

Pada tabel 4.12 dan gambar 4.13 dapat dilihat bahwa kenaikan nilai DAP/mAs akan mengakibatkan kenaikan nilai ESD/mAs tetapi pada hubungan diantara keduanya tidak dapat dicari nilai korelasi yang pasti karena diantara hasil pengukuran dengan hasil penghitungan mengikuti persamaan garis linear didapatkan penyimpangan yang besar.

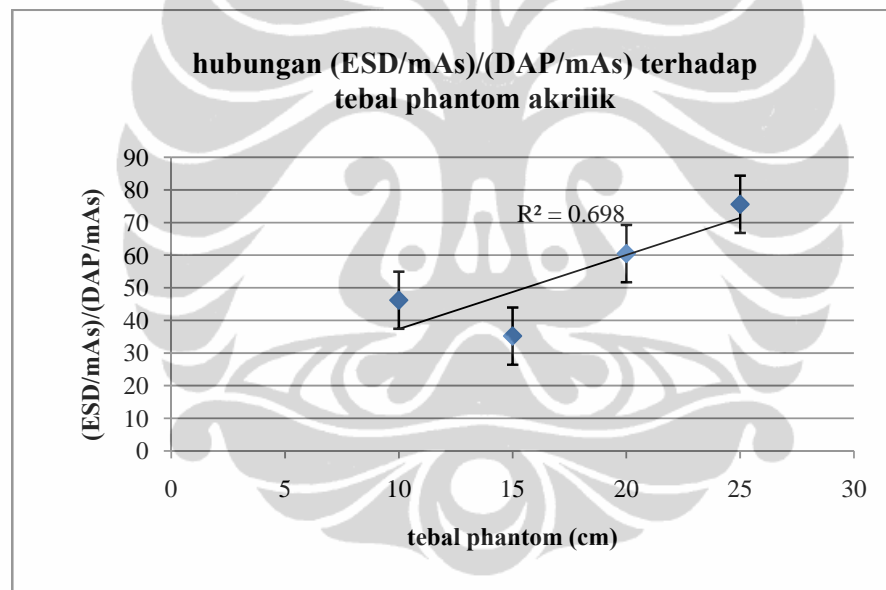
Hasil yang didapatkan ini sesuai dengan referensi yang menyatakan bahwa *dose area product* diperkirakan proporsional dengan dosis ekuivalen (mSv) sehingga baik digunakan sebagai pengukur dosis untuk monitoring efek stokastik serta dapat juga digunakan untuk memperkirakan dosis kulit walaupun memiliki tingkat kesalahan yang cukup tinggi [16]. Pada referensi diatas dikatakan bahwa diantara *dose area product* dengan dosis hanya terdapat hubungan yang proporsional, jadi hanya dapat dipakai untuk “memperkirakan dosis kulit tapi tidak dapat dipakai untuk mendapatkan nilai dosis kulit secara pasti”. Hal ini juga sesuai dengan tulisan Padovani didalam papernya yang berjudul *Dosimetry for Fluoroscopy-basics*. Dalam paper tersebut dinyatakan bahwa didalam *Code of Practice*, pengukuran *air kerma area product* (P_{KA}) direkomendasikan untuk memonitor exposure terhadap pasien selama menjalani pemeriksaan menggunakan fluoroskopi [12].

Pada hasil penelitian ini juga didapatkan hubungan yang menyatakan bahwa pertambahan nilai DAP/mAs akan mengakibatkan pertambahan nilai ESD/mAs, tapi pada hubungan diantara keduanya tidak dapat dicari nilai korelasi yang pasti, sehingga nilai DAP/mAs hanya dapat dipakai untuk memperkirakan dosis dan untuk memonitor exposure terhadap pasien.

Selanjutnya dilihat hubungan linearitas antara (ESD/mAs)/(DAP/mAs) terhadap tebal phantom dan didapatkan hasil seperti pada tabel 4.13 dan gambar 4.14

Tabel 4.13 Hubungan (ESD/mAs)/(DAP/mAs) terhadap tebal phantom

ketebalan	kVp	(ESD/mAs)/(DAP/mAs)
cm		
10	59	(46.2±3.1)
15	67	(35.2±1.3)
20	78	(60.8±3.1)
25	91	(75.6±5.4)
rando	63	(81.0±8.0)



Gambar 4.14 Hubungan (ESD/mAs)/(DAP/mAs) terhadap tebal phantom akrilik

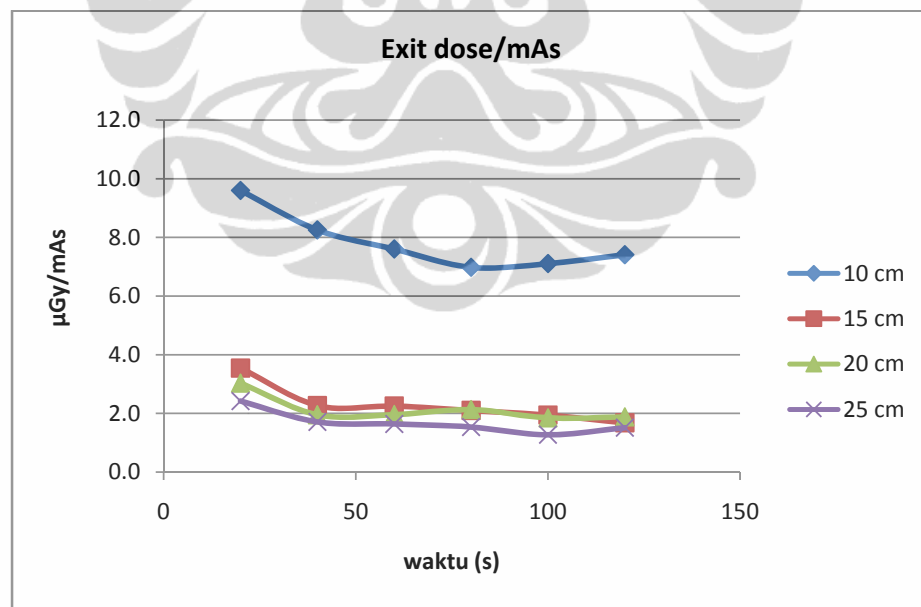
Pada hubungan antara (ESD/mAs)/(DAP/mAs) terhadap ketebalan phantom juga tidak didapatkan hubungan yang linear sehingga diantara kedua parameter tersebut tidak dapat ditarik hubungan dengan nilai yang pasti.

4.3. NILAI *EXIT DOSE* PADA BERBAGAI VARIASI KETEBALAN PHANTOM AKRILIK DAN WAKTU PAPARAN

Intensitas radiasi yang terukur setelah ditransmisikan melalui phantom (*exit dose*) pada pemeriksaan fluoroskopi adalah gambaran intensitas radiasi yang mengenai *image intensifier*. Pada alat fluoroskopi yang dilengkapi dengan AEC, intensitas radiasi yang mengenai *image intensifier* ini harus stabil. Hasil pengukuran exit dose pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 4.14 dan grafik 4.15

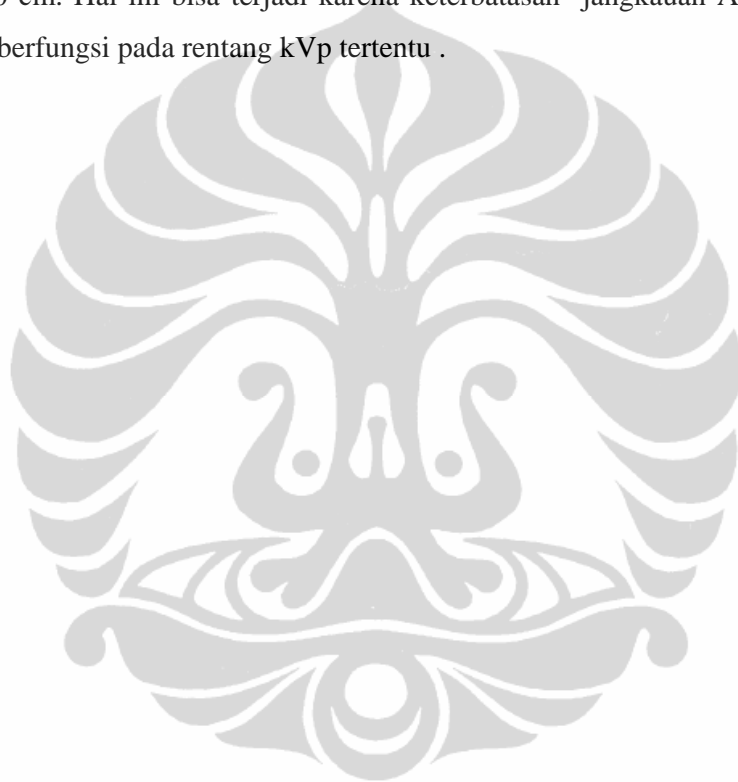
Tabel 4.14 Nilai exit dose/mAs pada berbagai ketebalan phantom dan waktu paparan

Tebal cm	kVp	$\mu\text{Gy}/\text{mAs}$						Rata-rata
		20'	40'	60'	80'	100'	120'	
10	59	9.6	8.3	7.6	7	7.1	7.4	(7.8±1.0)
15	67	3.5	2.3	2.3	2.1	1.9	1.7	(2.3±0.6)
20	78	3	2	2	2.1	1.8	1.9	(2.1±0.5)
25	91	2.4	1.7	1.6	1.5	1.3	1.5	(1.6±0.4)



Gambar 4.15 Nilai exit dose/mAs pada berbagai ketebalan phantom dan waktu paparan

Pada gambar 4.15 dan tabel 4.14 dapat dilihat bahwa nilai exit dose/mAs pada berbagai variasi waktu paparan di ketebalan phantom 15, 20 dan 25cm menghasilkan nilai yang relatif stabil dengan standar deviasi yang kecil. Hal ini menunjukkan bahwa dosis radiasi yang sampai ke image intensifier relatif stabil. Pada ketebalan phantom 10 cm di dapatkan nilai exit dose/mAs yang jauh lebih tinggi daripada nilai yang didapatkan pada ketebalan phantom yang lainnya. Dari sini dapat dilihat bahwa AEC tidak berfungsi secara maksimal pada ketebalan phantom 10 cm. Hal ini bisa terjadi karena keterbatasan jangkauan AEC yang hanya bisa berfungsi pada rentang kVp tertentu .



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah didapatkan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- Nilai *dose area product* tidak dipengaruhi oleh radiasi *backscatter*, tapi sangat dipengaruhi oleh kualitas berkas dari pesawat sinar x
- Pengukuran nilai *entrance surface dose* dengan mempergunakan TLD sangat dipengaruhi oleh ketebalan obyek beserta homogenitas obyek yang menghasilkan radiasi hambur
- Nilai *entrance surface dose* dengan nilai *dose area product* cenderung mempunyai hubungan yang kuat. Ini ditunjukkan oleh linearitas pada relasi keduanya di setiap variasi ketebalan phantom akrilik dan phantom rando. Dari hubungan ini terlihat bahwa kenaikan nilai *dose area product* menyebabkan peningkatan nilai *entrance surface dose*.
- Dari hasil penelitian ini didapatkan hubungan yang menyatakan bahwa pertambahan nilai DAP/mAs akan mengakibatkan pertambahan nilai ESD/mAs, tapi dari hubungan diantara keduanya tidak dapat dicari nilai korelasi yang pasti, sehingga nilai DAP/mAs hanya dapat dipakai untuk memperkirakan dosis ESD/mAs serta untuk memonitor exposure terhadap pasien.
- Nilai *dose area product* tidak dapat dijadikan dasar untuk memperkirakan nilai *entrance surface dose* karena nilai *entrance surface dose* sangat dipengaruhi oleh radiasi hambur.
- Nilai DAP/mAs adalah $0.70 \mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$ untuk phantom 10 cm, $1.0 \mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$ untuk phantom 15 cm, $1.4 \mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$ untuk phantom 20 cm, $1.9 \mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$ untuk phantom 25 cm $\mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$ dan $0.83 \mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$ untuk phantom rando.

- Nilai ESD/mAs adalah (32.4 ± 2.2) $\mu\text{Gy} / \text{mAs}$ untuk phantom 10 cm, (35.7 ± 1.5) $\mu\text{Gy} / \text{mAs}$ untuk phantom 15 cm, (85.7 ± 2.3) $\mu\text{Gy} / \text{mAs}$ untuk phantom 20 cm, dan (143.5 ± 10.6) $\mu\text{Gy} / \text{mAs}$ untuk phantom 25 cm, dan (67.4 ± 6.6) $\mu\text{Gy} / \text{mAs}$ untuk phantom rando.
- Rasio antara ESD/mAs dengan DAP/mAs sedikit berfluktuasi. Nilai yang didapat adalah (46.2 ± 3.1) untuk ketebalan phantom 10 cm, (35.2 ± 1.3) untuk ketebalan phantom 15 cm, (61.0 ± 2.9) untuk ketebalan phantom 20 cm, (75.6 ± 5.4) untuk ketebalan phantom 25 cm, dan (81.0 ± 8.0) untuk phantom rando.

5.2. Saran

Penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan karena segala keterbatasan yang saya miliki. Menyadari hal tersebut saya menyarankan hal sebagai berikut :

Untuk dapat melihat hubungan antara *entrance surface dose* dengan *dose area product* yang lebih akurat, penelitian ini sebaiknya dilanjutkan untuk mencari nilai *back scatter factor* serta dilakukan juga pengukuran langsung pada pasien sehingga dapat dibandingkan hasil pengukuran pada phantom dengan hasil pengukuran pada pasien .

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. American Association of Physicist in Medicine. (1998). *Managing the use of fluroscopy in medical institution*. Report No. 58. Madison, USA: Medical Physics Publishing.
- [2]. American Association of Physicist in Medicine. (2001). *Cardiac catheterization equipment performance*. Report No. 70. Madison-USA: Medical Physics Publishing
- [3]. American Association of Physicist in Medicine. (2002). *Quality control in diagnostic radiology*. Report No. 74. Madison-USA: Medical Physics Publishing
- [4]. Bushberg, J.T., Seibert, J.A., Leidholdt, E.M., & Boone, J.M. (2002). *The essential physics of medical imaging* (second edition ed.). Philadelphia, PA, USA: Lippincott Williams & Wilkins.
- [5]. Dendy, PP & Heaton, B (1999) *Physics for Diagnostic Radiology* (second edition), Medical science series. London : Institute of Physics Publishing.
- [6]. Sprawls Perry, Jr (1995) *Physical Principles of Medical Imaging* (second edition). Wisconsin: Medical physics publishing.
- [7]. Podgorsak, EB (2005) *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. Vienna : International Atomic Energy Agency
- [8]. Johns, Harold Elford & Cunningham, John Robert (1983). *The Physics of Radiology* (fourth edition). USA: Charles C Thomas Publisher.
- [9]. Wolbarst, Anthony B & Zamenhof, Robert G & Hendee, William R (2006) *Advanced in Medical Physics*. Wisconsin : Medical Physics Publishing
- [10]. Technical Report Series no. 457 (2007) *Dosimetry in Diagnostic Radiology : An International Code of Practice*. Vienna : International Atomic Energy Agency
- [11]. Martin, Alan & Harbison, Samuel A (1986). *An Introduction to Radiation Protection* (Third edition). New York: Chapman and Hall.

- [12]. Padovani, Renato, (2009). *Dosimetry for Fluoroscopy-basics*. Paper presented at Joint ICTP-IAEA Advanced school on Dosimetry in Diagnostic Radiology : And its Clinical Implementation, Miramare, Trieste, Italy
- [13]. Toosi, MT Bahreyni & Zare, M Nazery H (2006). *Application of Dose Area Product compared with three other dosimetric quantities used to estimate patient effective dose in diagnostic radiology. Iran.J.Radiat.Res,2006;4(1):21-27*
- [14]. Raubenheimer R, Spangenberg B et al.,(August 2004). “Do dose area product meter measurement reflect radiation doses absorbed by health care workers?” *SA Journal of Radiology, 24-27*
- [15]. Chida Koichi, Saito Haruo et al (2006). Relationship Between Fluoroscopic Time, Dose-Area Product, Body Weight, and Maximum Radiation Skin Dose in Cardiac Interventional Procedures. *American Journal of Roentgenology: 186, March 2006,774 -778*
- [16]. Lunt, Brian (2009, January). *Review of doses in Intervasional Radiology*. Paper presented at Workshop on Quality Assurance in Diagnostic and Interventional Radiolog in Jakarta
- [17]. Faulkner,K (2009, January).*Radiation Effects from Diagnostic and Interventional Radiology*. Paper presented at Workshop on Quality Assurance in Diagnostic and Interventional Radiology in Jakarta
- [18]. Wagner, Louis K (2002, July), *Radiation Dose Management in Interventional Radiology* (AAPM 2002 Summer school proceedings: *Intravascular Brachytherapy Fluoroscopically Guided Interventions*) *Medical physics publishing, 195-218*

Lampiran 1. Pengukuran akurasi kVp

Tabel hasil pengukuran akurasi kVp

Atenuator	kV	kV pengukuran	penyimpangan
cm			%
10	59	60.4	2.4
15	67	68.7	2.5
20	74	75.6	2.2
21	77	78.7	2.2
22	80	81.9	2.4
23	82	84.1	2.6
24	84	86.5	3.0
25	87	89.24	2.6
27	91	93.2	2.4

Lampiran 2. Hasil pengukuran HVL

kV	HVL minimum (rekomendasi EPA)	HVL hasil pengukuran
50	1.5	
59		2.5
60	1.8	
67		2.9
70	2.1	
74		3.2
77		3.3
80	2.3	3.5
82		3.5
84		3.7
87		3.8
90	2.5	
91		4
100	2.7	
110	3.0	
120	3.2	
130	3.5	
140	3.8	
150	4.1	

Lampiran 3. Hasil pengukuran pada phantom akrilik 10 cm

Temperatur : 22.4°C
 Tekanan udara : 100.8 kPA
 FFD : 115 cm
 FSD : 96 cm
 Luas lapangan (II) : 20 cm x 20 cm
 Luas lapangan (meja pemeriksaan) : 19.6 cm x 19.6 cm
 Luas lapangan (permukaan phantom) : 17 cm x 17 cm
 Fk TLD : 0.7385 mGy/nC

PHANTOM	kVp	mA	TIME	DAP	DAP RATE	ESD	TLD Exit	DAP/mAs	ESD/mAs	(ESD/mAs)/ (DAP/mAs)
(cm)			(s)	μGym^2	$\mu\text{Gym}^2/\text{s}$	(μGy)	(μGy)	$\mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$	$\mu\text{Gy}/\text{mAs}$	
10	59	0.8	20	(11.20±0.21)	(0.53±0.01)	(529.0±12.5)	(153.6±0.01)	0.70	33.06	47.2
10	59	0.8	40	(22.38±0.27)	(0.53±0.01)	(1116.4±89.0)	(264.1±0.03)	0.70	34.89	49.9
10	59	0.8	60	(33.51±0.04)	(0.53±0.01)	(1455.4±19.4)	(365.11±0.03)	0.70	30.32	43.4
10	59	0.8	80	(44.79±0.22)	(0.53±0.01)	(1920.3±101.4)	(446.8±0.04)	0.70	30.00	42.9
10	59	0.8	100	(56.13±0.64)	(0.53±0.01)	(2491.4±134.7)	(568.6±0.01)	0.70	31.14	44.4
10	59	0.8	120	(67.52±0.92)	(0.53±0.01)	(3349.5±125.0)	(711.4±0.02)	0.70	34.89	49.6
									(32.4±2.2)	(46.2±3.1)

Lampiran 4. Hasil pengukuran pada phantom akrilik 15 cm

Temperatur : 22 °C
 Tekanan udara : 100.8 kPA
 FFD : 115 cm
 FSD : 91 cm
 Luas lapangan (II) : 20 cm x 20 cm
 Luas lapangan (meja pemeriksaan) : 19.6 cm x 19.6 cm
 Luas lapangan (permukaan phantom) : 16.4 cm x 16.4 cm
 Fk TLD : 0.416 mGy/nC

PHANTOM	kVp	mA	TIME	DAP	DAP RATE	ESD	TLD EXIT	DAP/mAs	ESD/mAs	(ESD/mAs)/(DAP/mAs)
(cm)			(s)	μGym^2	$\mu\text{Gym}^2/\text{s}$	μGy	μGy	$\mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$	$\mu\text{Gy}/\text{mAs}$	
15	67	1.1	20	(22.75±0.11)	(1.11±0.01)	(801.8±0.0)	(87.8±30.2)	1.03	36.4	35.24
15	67	1.1	40	(45.10±0.23)	(1.11±0.01)	(1610.7±0.1)	(99.9±7.4)	1.02	36.6	35.71
15	67	1.1	60	(66.61±0.10)	(1.11±0.01)	(2369.3±0.1)	(148.6±8.4)	1.01	35.9	35.57
15	67	1.1	80	(88.34±0.21)	(1.11±0.01)	(3265.7±0.3)	(185.0±11.5)	1.00	37.1	37.0
15	67	1.1	100	(110.40±0.63)	(1.11±0.01)	(3835.70.23)	(213.9±14.9)	1.00	34.9	34.74
15	67	1.1	120	(132.74±0.53)	(1.11±0.01)	(4372.2±0.1)	(221.7±37.8)	1.01	33.1	32.94
									(35.7±1.5)	(35.2±1.3)

Lampiran 5. Hasil pengukuran pada phantom akrilik 20 cm

Pengukuran ke 1 :

Temperatur : 21.9 °C
 Tekanan udara : 100.9 kPA
 FFD : 115 cm
 FSD : 86 cm
 Luas lapangan (II) : 20 cm x 20 cm
 Luas lapangan (meja pemeriksaan) : 19.6 cm x 19.6 cm
 Luas lapangan (permukaan phantom) : 15.5 cm x 15.5 cm
 Fk TLD : 0.6449 mGy/nC

Pengukuran ke 2 :

Temperatur : 22.9° C
 Tekanan udara : 100.7 kPa
 FFD : 115 cm
 FSD : 86 cm
 Luas lapangan (II) : 20 cm x 20 cm
 Luas lapangan (meja pemeriksaan) : 19.6 cm x 19.6 cm
 Luas lapangan (permukaan phantom) : 15.5 cm x 15.5 cm
 Fk TLD : 0.577 mGy/nC

PHANTOM	kVp	mA	TIME	DAP	DAP RATE	ESD	EXIT DOSE	DAP/mAs	ESD/mAs	(ESD/mAs)/(DAP/mAs)
(cm)			(s)	μGym^2	$\mu\text{Gym}^2/\text{s}$	μGy	μGy	$\mu\text{Gym}^2/\text{mAs}$	$\mu\text{Gy}/\text{mAs}$	
20	78	1.6	20	(46.5±0.1)	(2.3±0.0)	(3063±101)	(97.0±41.4)	1.5	95.7	65.9
20	78	1.6	40	(92.2±0.4)	(2.3±0.0)	(5647±347)	(125.1±16.8)	1.4	88.2	61.3
20	78	1.6	60	(137.5±0.1)	(2.3±0.0)	(8074±704)	(188.2±28.3)	1.4	84.1	58.7
20	78	1.6	80	(183.0±0.3)	(2.3±0.0)	(10623±691)	(272.7±71.1)	1.4	83.0	58.0
20	78	1.6	100	(229.3±0.9)	(2.3±0.0)	(14163±928)	(295.8±19.9)	1.4	88.5	61.8
20	78	1.6	120	(274.3±0.6)	(2.3±0.0)	(16485±824)	(361.2±30.3)	1.4	85.9	60.1
20	78	1.6	120	(281.1±5.6)	(2.3±0.0)	(16887±100)		1.4	87.9	63.9
20	78	1.6	240	(595.4±20.8)	(2.3±0.0)	(33560±693)		1.4	77.7	56.4
									(86.0±5.2)	(60.8±3.1)

Lampiran 6. Hasil pengukuran pada phantom akrilik 25 cm

Pengukuran ke 1 :

Temperatur : 22.4 °C
 Tekanan udara : 100.8 kPa
 FFD : 115 cm
 FSD : 81 cm
 Luas lapangan (II) : 20 cm x 20 cm
 Luas lapangan (meja pemeriksaan) : 19.6 cm x 19.6 cm
 Luas lapangan (permukaan phantom) : 14.4 cm x 14.4 cm
 Fk TLD : 0.7385 mGy/nC

Pengukuran ke 2 :

Temperatur : 22.9° C
 Tekanan udara : 100.7 kPa
 FFD : 115 cm
 FSD : 81 cm
 Luas lapangan (II) : 20 cm x 20 cm
 Luas lapangan (meja pemeriksaan) : 19.6 cm x 19.6 cm
 Luas lapangan (permukaan phantom) : 14.4 cm x 14.4 cm
 Fk TLD : 0.577 mGy/nC

PHANTOM	kVp	mA	TIME	DAP	DAP RATE	ESD	EXIT DOSE	DAP/mAs	ESD/mAs	(ESD/mAs)/(DAP/mAs)
(cm)			(s)	μGym ²	μGym ² /s	μGy	μGy	μGym ² /mAs	μGy/mAs	
25	91	2.8	20	(108.4±2.6)	(5.3±0.1)	(8094±778)	(135.7±10.7)	1.9	144.5	75.1
25	91	2.8	40	(215.2±2.3)	(5.3±0.1)	(15661±1527)	(191.6±23.8)	1.9	139.8	73.2
25	91	2.8	60	(318.8±0.6)	(5.3±0.1)	(22799±2139)	(275.8±3.5)	1.9	135.7	71.9
25	91	2.8	80	(425.9±3.6)	(5.3±0.1)	(30483±1827)	(344.0±11.2)	1.9	136.1	72.0
25	91	2.8	100	(535.3±3.7)	(5.3±0.1)	(38058±3098)	(355.8±10.7)	1.9	135.9	71.5
25	91	2.8	120	(640.7±7.0)	(5.3±0.1)	(53706±1201)	(508.2±11.2)	1.9	159.8	84.3
25	91	2.8	120	(638.3±3.7)	(5.3±0.1)	(53803±8328)		1.9	160.1	84.3
25	91	2.8	240	(1250.7±13.1)	(5.3±0.1)	(91273±2097)		1.9	135.8	73.0
									(143.5±10.6)	(75.6±5.4)

Universitas Indonesia

Lampiran 7. Hasil pengukuran pada phantom rando (paru-paru)

Temperatur : 21.9 °C
 Tekanan udara : 100.9 kPA
 FFD : 115 cm
 FSD : 88 cm
 Luas lapangan (II) : 20 cm x 20 cm
 Luas lapangan (meja pemeriksaan) : 19.6 cm x 19.6 cm
 Luas lapangan (permukaan phantom) : 16 cm x 16 cm
 Fk TLD : 0.6897 mGy/nC

Phantom Rando (cm)	kVp	mA	TIME (s)	DAP (μGym ²)	DAP rate (μGym ² /s)	ESD (μGy)	DAP/mAs (μGym ² /mAs)	ESD/mAs (μGy/mAs)	(ESD/mAs)/(DAP/mAs)
21	63	1	20	(16.8±0.2)	(0.83±0.01)	(1489±71)	0.84	74.45	88.65
21	63	1	40	(33.4±0.4)	(0.83±0.01)	(2289±182)	0.84	57.21	68.45
21	63	1	60	(49.9±0.4)	(0.83±0.01)	(3939±142)	0.83	65.66	78.96
21	63	1	80	(66.3±0.6)	(0.83±0.01)	(5038±462)	0.83	62.97	76.00
21	63	1	100	(82.9±0.2)	(0.83±0.01)	(7162±666)	0.83	71.62	86.35
21	63	1	120	(99.1±1.0)	(0.83±0.01)	(8686±391)	0.83	72.38	87.62
								(67.4±6.6)	(81.0±8.0)