



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENGGUNAAN KV TINGGI PADA PEMERIKSAAN  
THORAK ANAK TERHADAP KUALITAS GAMBAR DAN DOSIS  
RADIASI**

**SKRIPSI S1**

**DATU EUPHRAT ADHI PRADANA**

**0806364901**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**PROGRAM FISIKA**

**DEPOK**

**Juni 2011**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH PENGGUNAAN KV TINGGI PADA PEMERIKSAAN  
THORAK ANAK TERHADAP KUALITAS GAMBAR DAN DOSIS  
RADIASI**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains**

**DATU EUPHRAT ADHI PRADANA**

**0806364901**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**PROGRAM STUDI FISIKA**

**DEPOK**

**JUNI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

**Nama : Datu Euphrat Adhi Pradana**

**NPM : 0806364901**

**Tanda Tangan :**

**Tanggal : 13 Juni 2011**



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Datu Euphrat Adhi Pradana  
NPM : 0806364901  
Program Studi : S1 Fisika, Peminatan Fisika Medis dan Biofisika  
Judul Skripsi : Pengaruh Penggunaan kV Tinggi Pada Pemeriksaan  
Thorak Anak Terhadap Kualitas Gambar Dan  
Dosis

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : **Dwi Seno Kuncoro, M.Si** (.....)

Pembimbing II : **Heru Prasetyo, M.Si** (.....)

Penguji I : **Dr. Seruni U. Freisleben** (.....)

Penguji II : **Kristina Tri Wigati, M.Si** (.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Juni 2011

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

---

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

Nama : Datu Euphrat Adhi Paradana  
NPM : 0806364901  
Program Studi : S1 Fisika Ekstensi  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis : Skripsi

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 :

**Pengaruh Penggunaan kV Tinggi Pada Pemeriksaan Thorak Anak Terhadap Kualitas Gambar Dan Dosis**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada Tanggal : 13 Juni 2011

Yang menyatakan

(Datu Euphrat Adhi Paradana)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena atas bimbingan, petunjuk, rahmat dan karuniaNya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam semoga selau tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW, sebagai suri tauladan umat manusia. Banyak pelajaran hidup dan pengalaman yang telah dirasakan penulis karena memang itulah proses yang harus dilalui. Sebuah proses yang menghantarkan penulis untuk merampungkan suatu kewajiban dari sebuah amanah bagi kehidupan selanjutnya, sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan pengerjaan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Science Jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Pada kesempatan ini ijin penulis untuk menyampaikan rasa terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu selama masa penyelesaian skripsi dengan judul **“Pengaruh Penggunaan kV Tinggi Pada Pemeriksaan Thorak Anak Terhadap Kualitas Gambar Dan Dosis”**.

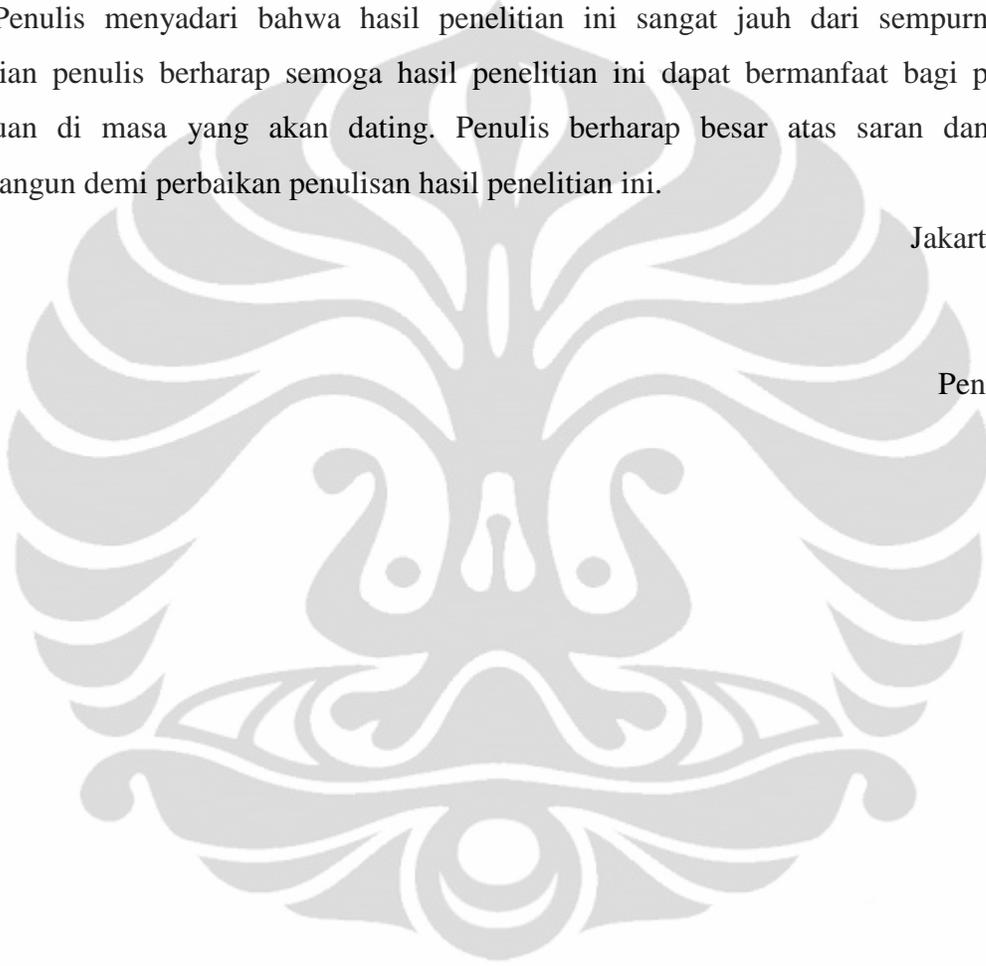
1. Allah SWT yang telah memberikan hidayah-Nya kepada penulis.
2. Ibu dan papa atas dorongan moral serta doa yang tak pernah putus, sesungguhnya untuk kalianlah semua ini anakmu lakukan.
3. Ety Murtiningsih yang telah dengan sabar mendampingi penulis selama ini, untuk Datu M Cordova maafkan papa karena selama menjalani kuliah kebersamaan kita menjadi berkurang.
4. Bapak Heru, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu, memberikan saran, masukan, juga menjadi teman diskusi yang baik dalam pengerjaan dan penulisan skripsi ini
5. Bapak Dwi Seno Kuncoro, M.Si selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran, masukan dan arahan dalam penulisan skripsi ini.
6. Ibu Dr Seruni U. Freisleben selaku dosen penguji 1 yang telah menyempatkan waktu untuk berdiskusi dan memberikan masukan serta arahan untuk perbaikan skripsi ini.
7. Ibu Kristina Tri Wigati, M.Si selaku dosen penguji 2 yang telah menyempatkan waktu untuk berdiskusi dan memberikan masukan serta arahan untuk perbaikan skripsi ini.
8. Ibu Diah, ibu helvi dan seluruh karyawan PTKMR Batan yang telah membantu dalam proses pengerjaan penelitian.

9. Rekan-rekan mahasiswa program S1 ekstensi kekhususan fisika medis FMIPA UI angkatan 2008 terima kasih atas semua kebersamaan dan kerjasamanya.
10. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu, yang telah membantu terlaksananya penelitian ini.

Penulis menyadari bahwa hasil penelitian ini sangat jauh dari sempurna. Walaupun demikian penulis berharap semoga hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan keilmuan di masa yang akan datang. Penulis berharap besar atas saran dan kritik yang membangun demi perbaikan penulisan hasil penelitian ini.

Jakarta, Juni 2011

Penulis



**LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI  
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

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

Nama : Datu Euphrat Adhi Pradana  
NPM : 0806364901  
Program Studi : Medis  
Departemen : Fisika  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis Karya : Skripsi

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 :

Pengaruh Penggunaan kV Tinggi Pada Pemeriksaan Thorak Anak  
Terhadap Kualitas Gambar Dan Dosis.

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal 22 Juni 2011  
Yang menyatakan

(Datu Euphrat Adhi Pradana)

## ABSTRAK

Nama, : Datu Euphrat Adhi Pradana.  
Program Studi : S1 Fisika Ekstensi  
Judul : Pengaruh Penggunaan kV Tinggi Pada Pemeriksaan Thorak Anak Terhadap Kualitas Gambar Dan Dosis

Kualitas gambar dan dosis sangat dipengaruhi oleh kualitas radiasi sehingga perlu dilakukan studi pengaruh teknik kV tinggi pada pemeriksaan thorak anak. Pengaruh kualitas radiasi terhadap gambar dapat diketahui melalui densitas film hasil penyinaran objek stepwedge. Pengaruh penggunaan kV tinggi terhadap dosis dilakukan dengan menganalisa incident air kerma dan entrance surface dose (ESD) pada dua pesawat radiografi. Nilai incident air kerma diperoleh dari hasil pengukuran pada jarak 100 cm pada berbagai variasi tegangan tabung (kV) dan beban tabung (mAs), dan nilai ESD diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan TLD yang diletakan pada pertengahan dada pasien. Dari penelitian ini diperoleh bahwa penggunaan teknik kV tinggi akan menyebabkan kontras gambar menurun bila dibandingkan dengan teknik kV standar, Akan tetapi gambaran bronkus paru akan terlihat lebih banyak dibanding penggunaan teknik kV standar. Pada penggunaan teknik kV tinggi nilai incident air kerma berkurang sekitar 57,975% - 61,007% untuk pesawat Trophy dan sekitar 36,492% - 40,197% untuk pesawat Siemens. Penggunaan teknik kV tinggi menurunkan dosis terimaan pasien, dengan tetap menghasilkan diagnosa optimal dari gambaran radiografi thorak anak.

Kata kunci : kV tinggi, kontras, incident air kerma, entrance surface dose.

## ABSTRACT

Nama, : Datu Euphrat Adhi Pradana.  
Program Studi : S1 Fisika Ekstensi  
Judul : The effect of high kV technique on pediatric thorak examination to image quality and dose

Image quality and dose influence by radiation quality, so it necessary to study about effect of high kV technique application on pediatric examination. The effect of radiation quality on image can be study from optical density on film produced by exposed object stepwedge. The dose do to high kV technique analyzed by incident air kerma and entrance surface dose on two general X-Ray machine. Incident air kerma obtain from measurement at 100 cm variation tube voltage (kV) and loading (mAs), and ESD obtain from measurement TLD on patient. From this study it found that high kV technique could reduced contrast againt standar kV technique, on the other hand more bronchus can be seen clearly againt standar kV technique. On high kV technique, incident air kerma reduced approximately 57.975 %- 61.007 % for trophy machine and approximately 36.492% - 40.197 for Siemens machine. High kV technique reduced pasient dose, while still producing an optimal diagnosis of thoracic radiographs of children

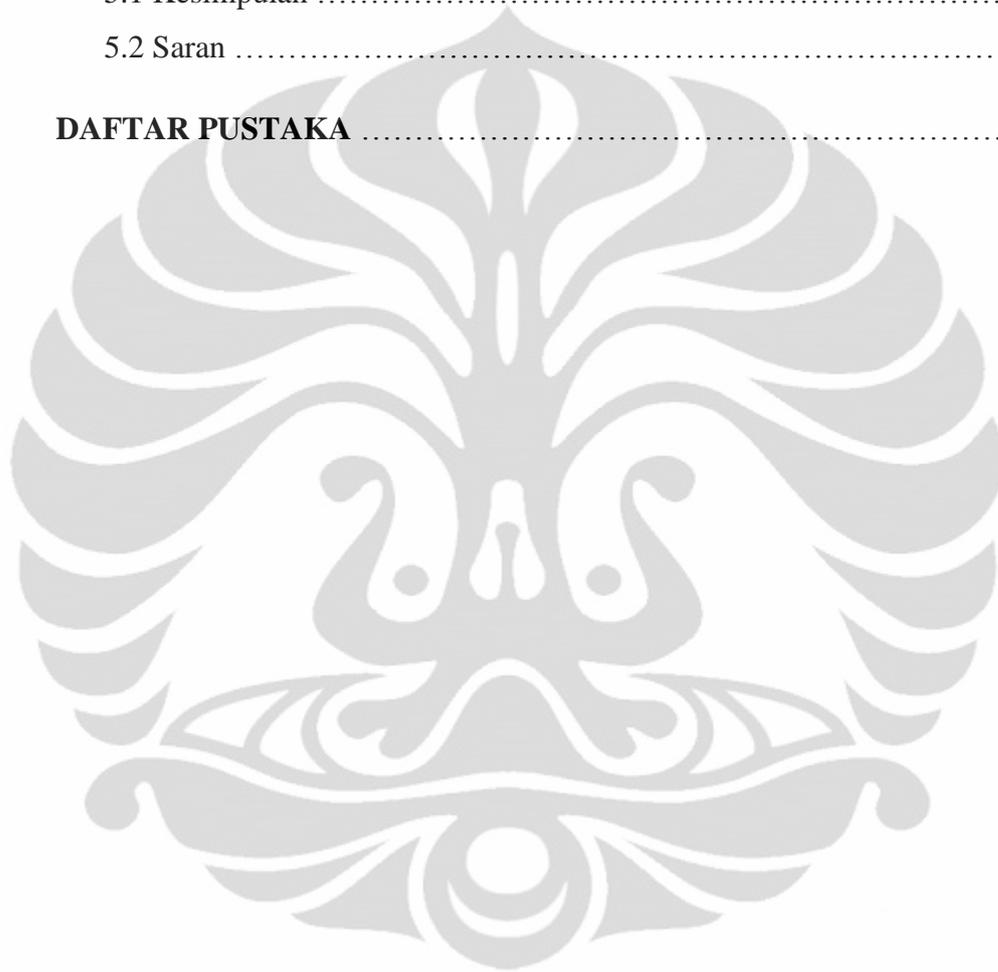
Keyword : high kV, contrast, incident air kerma, entrance surface dose

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH</b> .....	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>vii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Pembatasan Masalah .....	3
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Anatomi Fisiologo Thorak .....	5
2.2 Sinar-X .....	7
2.2.1 Terbentuknya Sinar-X .....	7
2.2.2 Faktor Yang Berpengaruh Pada Produksi Sinar-X .....	8
2.3 Teknik kV Tinggi .....	9
2.4 Densitas dan Kontras .....	10

2.5 Interaksi Sinar-X dengan Materi .....	10
2.5.1 Efek Fotolistrik .....	11
2.5.2 Hamburan Compton .....	13
2.6 TLD (termoluminesensi dosimeter) .....	14
2.7 Dasar Perhitungan yang digunakan .....	16
2.7.1 Kerma .....	16
2.7.2 Incident Air Kerma (Kerma) .....	16
2.7.3 Entrance surface dose (ESD) .....	16
2.8 Gambaran Radiografi Thorak (Dada) Anak .....	17
2.8.1 Thorak AP .....	17
2.8.2 Thorak Lateral .....	18
<b>3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>19</b>
3.1 Peralatan .....	19
3.1.1 Pesawat Radiografi .....	21
3.1.2 Densitometer dan Stepwedge .....	22
3.2 Metode .....	23
3.2.1 Penentuan Nilai Penyinaran kV Tinggi .....	23
3.2.2 Mendapatkan Perbandingan Kontras .....	24
3.2.3 Penentuan Nilai Incident Air Kerma) .....	26
3.2.4 Penentuan Nilai ESD .....	27
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>29</b>
4.1 Hasil Uji Kesesuaian Pesawat Radiografi.....	29
4.1.1 Reprodusibilitas .....	29
4.1.2 Akurasi Tegangan Tabung.....	30
4.1.3 Akurasi Waktu Penyinaran .....	32
4.1.4 Linieritas Dosis Radiasi .....	33
4.2 Parameter Penyinaran kV Tinggi .....	34
4.3 Perbandingan Kontras dengan Menggunakan Stepwedge .....	35
4.4 Perbandingan Incident Air Kerma .....	45
4.1 Parameter Linieritas Dosis Terhadap mAs .....	45
4.4.2 Parameter nilai keluaran (output) terhadap tegangan (kV) .....	47

4.4.3 Pengukuran dan Perbandingan Nilai Incident Air Kerma .....	50
4.5 Perbandingan Entrance surface dose ( ESD) .....	53
4.6 Perbandingan Kontras Pada Rontgen Thorak Anak .....	58
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>63</b>
5.1 Kesimpulan .....	63
5.2 Saran .....	64
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>65</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rongga Thorak .....	5
Gambar 2.2 Gambaran radiografi thorak .....	6
Gambar 2.3 Interaksi elektron dengan inti atom .....	7
Gambar 2.4 Interaksi fotolistrik .....	11
Gambar 2.5 Cofesien atenuasi linier dalam $\text{cm}^{-1}$ untuk soft tissue dan tulang .....	12
Gambar 2.6 Interaksi Compton .....	13
Gambar 2.7 Interaksi efek fotolistrik dengan Compton .....	14
Gambar 2.8 Proses terjadinya peristiwa termoluminesensi .....	15
Gambar 3.1 (a) Kontrol panel Pesawat Trophy, (b) Pesawat trophy.....	20
Gambar 3.2 a) Pesawat Siemens (b) Kontrol panel pesawat siemens.....	21
Gambar 3.3 Stepwedge .....	22
Gambar 3.4 Penyinaran film dengan menggunakan stepwedge.....	25
Gambar 3.5 Skema pengukuran incident air kerma.....	26
Gambar 3.6 Pemeriksaan thorak anak dengan TLD didada .....	28
Gambar 4.1 Grafik ketepatan waktu penyinaran pada pesawat trophy.....	32
Gambar 4.2 Perbedaan densitas film radiografi yang terbentuk oleh stepwedge....	37
Gambar 4.3 Grafik film yang disinari dengan pesawat trophy.. ..	38
Gambar 4.4 Grafik film yang disinari dengan pesawat trophy .....	40
Gambar 4.6 Grafik film yang disinari dengan pesawat siemens.....	42
Gambar 4.7 Grafik film yang disinari dengan pesawat siemens.....	43
Gambar 4.8 Grafik mAs terhadap dosis pesawat trophy.....	46

Gambar 4.9 Grafik mAs terhadap dosis pesawat Siemens.....	47
Gambar 4.10 Grafik tegangan terhadap nilai keluaran (output) pesawat trophy.....	48
Gambar 4.11 Grafik tegangan terhadap nilai keluaran ( output ) pesawat Siemens...	50
Gambar 4.12 Grafik perbandingan tegangan terhadap dosis pada pesawat trophy	52
Gambar 4.13 Grafik perbandingan tegangan terhadap dosis pada pesawat Siemen.	54
Gambar 4.14 Grafik ESD hasil pemeriksaan menggunakan pesawat trophy.....	56
Gambar 4.15 Grafik ESD hasil pemeriksaan menggunakan pesawat siemens.....	57
Gambar 4.16 (a) hasil rontgen kV standar .....	59
Gambar 4.17 (b) Hasil rontgen kV tinggi .....	60
Gambar 4.18 Ilustrasi kenaikan tegangan dengan nilai atenuasi jaringan .....	61

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter penyinaran pemeriksaan thorak anak.....	23
Tabel 4.1 Uji reproduksibilitas pesawat trophy .....	29
Tabel 4.2 Uji reproduksibilitas pesawat Siemens .....	30
Tabel 4.3 ketepatan tegangan tabung pada pesawat trophy .....	31
Tabel 4.4 ketepatan tegangan tabung pada pesawat siemens.....	31
Tabel 4.5 Linieritas dosis radiasi pada pesawat trophy.....	33
Tabel 4.6 Linieritas keluaran radiasi pada pesawat Siemens .....	33
Tabel 4.7 Parameter kV standard dan kV tinggi pemeriksaan thorak anak .....	35
Tabel 4.8 Nilai densitas dengan stepwedge pada pesawat trophy .....	39
Tabel 4.9 Linieritas dosis terhadap mAs pada pesawat trophy .....	45
Tabel 4.10 Linieritas dosis terhadap mAs pada pesawat trophy.....	46
Tabel 4.11 Nilai keluaran (output ) terhadap tegangan pada pesawat trophy.....	48
Tabel 4.12 Nilai keluaran (output ) terhadap tegangan pada pesawat Siemens.....	49



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang Masalah**

Pemeriksaan thorak foto atau dikenal dengan pemeriksaan rontgen dada, merupakan prosedur pemeriksaan dengan menggunakan sinar-x atau sinar rontgen dengan frekwensi terbanyak dilakukan di instalasi radiologi. Hal ini dimungkinkan karena dari rontgen dada atau rontgen thorak dapat digunakan untuk melihat keadaan umum pasien, mendiagnosa penyakit didaerah paru, kebutuhan sebelum operasi dan lain-lain.

Anak adalah seseorang yang belum berusia 18 (delapan belas) tahun, termasuk anak yang masih dalam kandungan. Dibandingkan orang dewasa anak memiliki kesempatan hidup yang lebih lama dan tubuhnya sedang dalam proses tumbuh kembang, sehingga menjadikannya lebih sensitif terhadap radiasi. Sehingga resiko anak terkena kanker akibat paparan radiasi akan meningkat menjadi menjadi 2 sampai 3 kali lebih besar dibandingkan orang dewasa.

Pada saat dilakukannya prosedur pemeriksaan dada atau foto thorak pada anak, perlu diperhatikan hal-hal yang meliputi dihasilkannya gambaran thorak dengan kualitas maksimal, sehingga mampu menegaskan diagnosa pasien anak dengan baik, dengan dosis radiasi sekecil mungkin yang diterima oleh anak.

High kV atau kV tinggi adalah teknik pemeriksaan menggunakan variasi nilai penyinaran berupa nilai tegangan (kV/kilo volt) yang lebih tinggi dengan kompensasi menurunkan nilai arus dan waktu (mAS/ miliampere second). Pada prakteknya penggunaan kV tinggi lebih banyak digunakan untuk pemeriksaan thorak maupun abdomen orang dewasa, sementara pada pasien anak jarang sekali digunakan. Penggunaan kV tinggi pada pasien anak memiliki kelebihan, yaitu didapatkan waktu pemeriksaan yang lebih singkat dan dosis radiasi yang diterima menjadi lebih kecil.

Incident air kerma adalah kerma di udara yang berasal dari penyinaran sinar-x yang diukur dipusat sinar pada pertengahan posisi pasien ataupun pantom. Hanya memperhitungkan radiasi yang terjadi pada pasien, tanpa memperhitungkan faktor hambur (back scatter faktor).

Entrance surface dose (ESD) adalah kerma di udara yang berasal dari penyinaran sinar-x yang diukur dipusat sinar pada pertengahan posisi pasien ataupun pantom. Dengan memperhitungkan radiasi yang terjadi pada pasien dengan memperhitungkan faktor hambur (back scatter factor).

nilai Entrance surface dose (ESD) berbanding terbalik dengan kV yang digunakan, semakin tinggi kV maka semakin rendah nilai Entrance surface dose (ESD), semakin rendah kV maka semakin tinggi nilai Entrance surface dose (ESD) yang dihasilkan. Penggunaan kV tinggi pada pemeriksaan thorak anak akan menurunkan nilai Entrance surface dose (ESD), yang akan berdampak pada semakin rendahnya dosis yang diterima olah anak.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Permasalahan yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Berapakah parameter penyinaran berupa nilai kV dan mAS pada pemeriksaan thorak anak dengan kV tinggi, yang didapat dari parameter penyinaran kV standar yang biasa dilakukan untuk foto thorak anak.
2. Bagaimana pengaruh penggunaan kV tinggi terhadap hasil kualitas gambar yang meliputi kontras dan densitas, dibandingkan dengan penggunaan kV standar
3. Bagaimana nilai Incident air kerma pada pemeriksaan foto thorak anak pada penggunaan teknik penyinaran kV standar dibandingkan dengan penggunaan teknik penyinaran kV tinggi.
4. Bagaimana nilai Entrance surface dose (ESD) pada pemeriksaan foto thorak anak pada penggunaan kV standar dibandingkan dengan penggunaan kV tinggi.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

1. Didapatkannya kajian kualitas gambaran berupa densitas dan kontras dari penggunaan kV tinggi pada foto rontgen thorak anak.
2. Menganalisa nilai Incident air kerma dan Entrance surface dose (ESD) pada pemeriksaan thorak anak, baik pada penggunaan kV standar maupun kV tinggi.

## 1.4 Manfaat Penelitian

### 1. Manfaat teoritis

Secara teoritis penelitian ini diharapkan memberikan sumbangan dalam pembelajaran fisika medis, terutama pada pengembangan pemahaman konsep kV tinggi, pengukuran Incident air kerma dan Entrance surface dose (ESD) pada pemeriksaan thorak anak.

### 2. Manfaat Praktis

- a. Bagi rumah sakit, penelitian ini diharapkan akan memberikan gambaran mengenai kV tinggi, didaptkannya parameter penyinaran kV tinggi yang digunakan pada pemeriksaan thorak anak, dan menjadi bahan pertimbangan untuk mengganti parameter penyinaran yang biasa diberikan pada pemeriksaan thorak anak dengan parameter penyinaran kV tinggi
- b. Bagi Fakultas, penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi penggunaan kV tinggi, bagaimana mengubah parameter penyinaran kV standar menjadi parameter penyinaran kV tinggi, pengukuran Incident air kerma, Entrance surface dose (ESD), dan pengaruh kV tinggi terhadap densitas dan kontras.
- c. Bagi mahasiswa, penelitian ini diharapkan dapat membantu memahami tentang penyinaran kV tinggi dan keuntungan yang didapat ketika kita memilih menggunakan kV tinggi untuk diterapkan pada pemeriksaan thorak anak.
- d. Bagi peneliti, penelitian ini berguna mendapatkan parameter penyinaran kV tinggi pada pemeriksaan thorak anak, untuk mengetahui pengaruh penggunaan penyinaran kV tinggi terhadap Incident air kerma dan Entrance surface dose (ESD). Mendapatkan kajian mengenai kualitas gambaran baik dari densitas maupun kontras yang dihasilkan dengan menggunakan kV tinggi pada pemeriksaan thorak anak. Yang pada akhirnya kV tinggi akan dimanfaatkan dan diterapkan pada pemeriksaan thorak anak ditempat bekerja menggantikan penggunaan kV standar pada pemeriksaan thorak anak seperti yang masih digunakan selama ini

## 1.5. Pembatasan Masalah

Dalam pembuatan karya tulis ini, pengumpulan data dan pembahasan permasalahan dibatasi pada pasien anak dengan rentang umur 1 tahun, dengan pertimbangan diharapkan pada anak usia lebih dari 1 tahun, kontras gambaran

foto thorak yang dihasilkan pada penggunaan kV tinggi, masih cukup baik untuk memperlihatkan gambaran bronkus paru



## **BAB II**

### **TINJAUAN TEORI**

#### **2.1 Anatomi fisiologi Thorak**

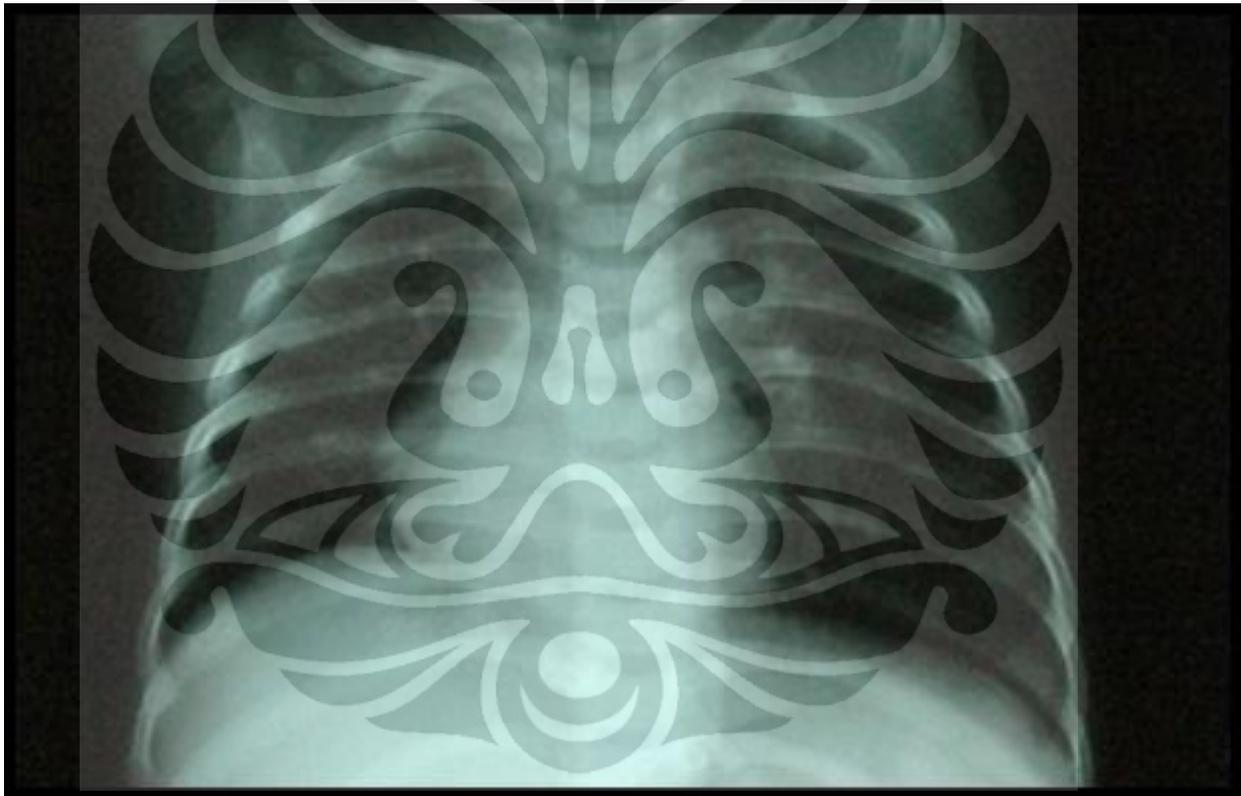
Thorak atau rongga dada adalah rongga berbentuk kerucut, dimana pada sisi bawah lebih lebar dari sisi atas, dan bagian belakang lebih panjang dari bagian depan. Thorak pada bagian belakang terbentuk dari dua belas vertebra thorakalis (tulang belakang torakal), pada bagian depan oleh tulang sternum, pada sisi samping terbentuk dari 12 belas pasang iga, yang melingkari badan mulai dari belakang dari tulang belakang torakal sampai tulang sternum dibagian depan. Batas bawahnya terdapat diafragma.



[Sumber : Sobota] “Telah diolah kembali”

Gambar 2.1. Rongga thorak

Pada thorak kanan dan kiri terdapat paru-paru beserta pembungkus pleuranya, pleura membungkus setiap lobus paru, dan membentuk batas lateral pada mediastinum. Paru-paru adalah organ yang berbentuk kerucut dengan apex (puncak) berada diatas dan muncul sedikit lebih tinggi dari tulang clavikula didalam dasar leher. Fungsi paru-paru adalah sebagai tempat dimana terjadinya pertukaran gas oksigen dan karbon dioksida. Pada rongga thorak juga berisi mediastinum yang berisi jantung, pembuluh darah besar, oesafagus, duktus torasika, aorta descendens, vena kava superior, saraf fagus, frenikus dan sejumlah besar kelenjar limfe.



Gambar 2.2. Gambaran radiografi thorak

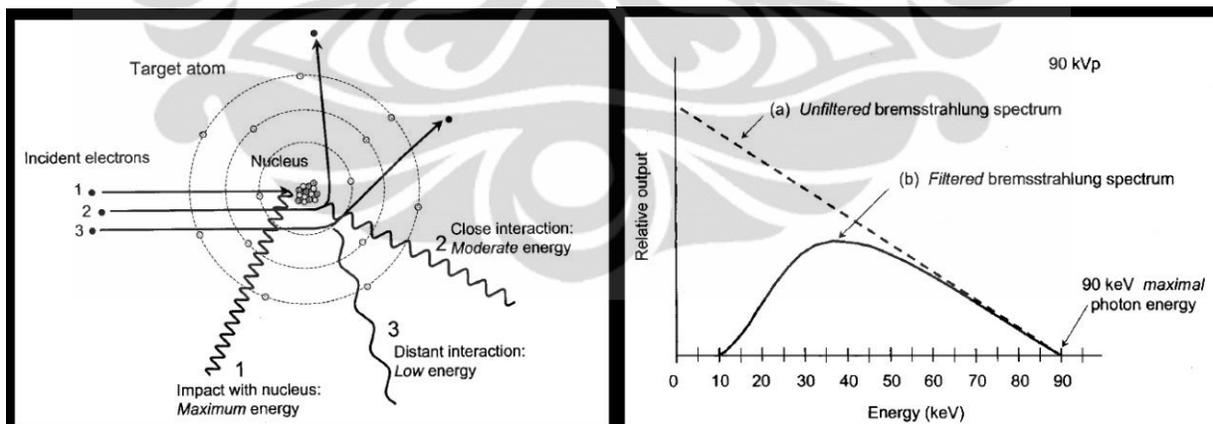
Dari gambaran radiografi, rongga thorak memiliki kontras gambaran yang cukup tinggi, dikarenakan perbedaan materi penyusun ataupun perbedaan nomor atom masing-masing penyusun organ di thorak. Pada paru-paru yang kaya akan oksigen dan karbon dioksida akan memberikan gambaran radiopaque (densitas tinggi/hitam), sedangkan pada daerah mediastinum akan memberikan gambaran radiolucant (densitas rendah/putih)

## 2.2 Sinar-x

### 2.2.1 Terbentuknya sinar-x

Sinar-x terbentuk dari elektron berenergi kinetik tinggi yang berinteraksi dengan materi, dan merubah energi kinetiknya menjadi radiasi elektromagnet. Pada tabung sinar-x sumber elektron berasal dari katoda yang terbentuk dari kawat filament tungsten, filament tungsten kemudian diberikan tegangan atau beda potensial, menghasilkan arus yang memanaskan filamen dan mengeluarkan elektron melalui proses yang disebut emisi termionik.

Kemudian pada katoda yang bermuatan negatif penghasil elektron dan anoda yang bermuatan positif yang merupakan target elektron diberikan tegangan atau beda potensial yang besar. Elektron bergerak pada tabung vakum dengan energi kinetik yang tinggi sebanding dengan beda potensial menuju inti atom pada anoda. Gaya coulomb menyebabkan elektron mengalami pengurangan kecepatan, perubahan arah gerak dan kehilangan energinya. Dari hal ini terbentuk sinar-x bremsstrahlung dengan energi sebanding dengan energi kinetik elektron yang hilang, semakin besar energi elektron yang hilang semakin besar energi sinar-x dihasilkan, sehingga spektrum sinar-x bremsstrahlung berbentuk spektrum kontinyu.



[ Sumber : Busberg. 2002]

Gambar 2.3. (a) interaksi elektron dengan inti atom, (b) spectrum sinar-x bremsstrahlung

### 2.2.2 Faktor yang berpengaruh pada produksi sinar-x

Dalam produksi sinar-x dikenal istilah kualitas, kuantitas. Kualitas sinar-x adalah kemampuan sinar-x untuk menembus objek, semakin besar energi dan semakin besar HVL maka semakin besar kemampuan sinar-x menembus objek. Kuantitas adalah jumlah foton yang terdapat dalam penyinaran. Efisiensi, kualitas dan kuantitas sinar-x dipengaruhi oleh 6 faktor utama, yaitu

Tegangan tabung (kV/kilovolt) yang digunakan. tegangan tabung memperlihatkan maksimum energi yang dimiliki oleh sinar-x, semakin besar tegangan yang digunakan semakin besar kemampuan sinar-x dalam menembus objek, semakin kecil tegangan tabung digunakan maka kemampuan sinar-x dalam menembus objek akan berkurang. Efisiensi sinar-x sangat berhubungan dengan pemberian kV ini. Nilai penyinaran dalam rentang energi diagnostik sebanding dengan jumlah kV sesuai persamaan.

$$\text{ekposure} \propto \text{kVp}^2 \quad (2.1)$$

Untuk memperlihatkan efisiensi sinar-x dipengaruhi oleh faktor kV maka kita berikan contoh perubahan nilai penyinaran pada pemeriksaan thorak anak, jika pasien di foto thorak dengan kondisi 40 kV, kemudian di bandingkan dengan pemberian kondisi 60 Kv dengan nilai mAs yang sama, maka nilai eksposurennya akan menjadi

$$\left(\frac{60}{40}\right)^2 \cong 2.25 \quad (2.2)$$

Dari persamaan tersebut dapat dilihat bahwa efisiensi penyinarannya naik menjadi 125%. Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa kenaikan nilai kVp akan menaikkan efisiensi produksi, kuantitas maupun kualitas sinar-x.

Arus tabung (mA) yang digunakan, Pada produksi sinar-x nilai mA ini sebanding dengan nilai elektron yang mengalir dari katoda ke anoda persatuan waktu. Dengan meningkatkan nilai mA pada nilai penyinaran akan meningkatkan jumlah atau kuantitas sinar-x. yang akan berdampak pada semakin besar nilai densitas pada film rontgen. Perlu diketahui bahwa 1 ampere = 1 coulomb/second =  $6,3 \times 10^{18}$  elektron/detik.

Waktu penyinaran (s atau second) adalah besaran yang memperlihatkan waktu yang dibutuhkan saat terjadinya sinar-x. Bersama dengan mA membentuk nilai mAs yang mencerminkan jumlah atau kuantitas sinar-x yang dihasilkan. Semakin besar

waktu yang diberikan akan berdampak pada semakin besar nilai densitas pada film rontgen.

Penggunaan filter pada tabung rontgen. Filter adalah suatu materi yang diletakan antara target dengan objek sinar-x, yang berfungsi sebagai penahan sekaligus penyaring untuk sinar-x yang memiliki energi rendah. Dengan demikian maka filter berpengaruh pada kualitas dan kuantitas sinar-x yang dihasilkan, berpengaruh pada kuantitas dikarenakan filter mengurangi jumlah foton yang berenergi rendah dengan cara menahan foton tersebut. Berpengaruh pada kualitas maksudnya sinar-x atau foton yang mampu melewati filter akan menjadi lebih homogen dengan energi yang tinggi saja.

Nomer atom dari target akan mempengaruhi energi maksimum dari spektrum beamstrahlung, dimana sinar-x yang dihasilkan proporsional dengan jumlah no atom target. Bahan target berpengaruh pada jumlah dari foton beamstrahlung dan berpengaruh pada kualitas sinar-x yang dihasilkan.

Hal lain yang mempengaruhi kualitas sinar-x yang dihasilkan adalah generator yang digunakan. Fasa dari generator akan mempengaruhi bentuk gelombang yng dihasilkan. Untuk kV yang sama, generator untuk satu fasa akan menghasilkan beda potensial rata-rata yang lebih rendah dibandingkan generator dengan 3 fasa ataupun high frekuensi.

### 2.3 kV tinggi

kV tinggi adalah suatu pemeriksaan organ tubuh, dengan cara menaikkan salah satu parameter penyinaran yaitu nilai tegangan tabung(  $kVp_2$ ), dengan memberikan kompensasi penurunan nilai beban tabung ( $mAs_2$ ) dari parameter penyinaran standar berupa tegangan tabung awal ( $kVp_1$ ) dan beban tabung awal ( $mAs_1$ ) untuk menghasilkan densitas gambaran yang hampir sama. Untuk hal tersebut maka digunakan rumus :

$$\left(\frac{kVp_1}{kVp_2}\right)^5 \times mAs_1 = mAs_2 \quad (2.3)$$

Nilai pangkat 5 atau pun 4 bisa diberikan tergantung dari ketebalan objek dan karakteristik atenuasi dari objek (Jerrold.T Busberg. 2002)

Sumber lain menyatakan untuk mendapatkan optikal densitas yang sama, dengan kenaikan tegangan tabung (kV) 15% dibutuhkan penurunan nilai mAs sebanyak 50%. (Stewart C bushong. 2008).

Penggunaan kV tinggi dapat mempersingkat waktu penyinaran, hal ini akan berguna untuk mendapatkan gambaran jantung tanpa kekaburan gambar yang disebabkan karena pergerakan jantung. Dengan menurunnya keseluruhan kontras gambaran radiografi thorak yang dihasilkan teknik penyinaran kV tinggi, maka gambaran tulang iga juga akan mengalami penurunan kontras gambar, sehingga struktur paru yang berada dibelakang tulang iga akan semakin tervisualisasi.

## 2.4 Densitas dan Kontras

Densitas adalah derajat kehitaman dari film radiografi. Densitas (OD) yang terlihat adalah rasio dari cahaya yang datang ( $I_i$ ) dengan cahaya yang melewati film ( $I_t$ ). Rumus densitas yang terbentuk pada film :

$$OD = \log ( I_i / I_t ) \quad (2.4)$$

Pada gambaran film radiografi, nilai densitas dapat bervariasi dari nilai 0,2 dari gambar yang paling transparan, sampai 3,5 atau 4 pada bagian yang paling hitam.

Kontras adalah perbedaan nilai densitas antara 2 area pada suatu gambaran film radiografi, kontras dalam radiografi dibentuk dari kontras dari subjek atau materi dan kontras dari film. Subjek kontras tergantung dari perbedaan daya serap terhadap sinar-x, yang disebabkan oleh perbedaan nomor atom pembentuk dan ketebalan dari subjek. Pengaturan kV sangat berpengaruh pada pembentukan kontras subjek. Hal ini disebabkan kV yang berbanding lurus dengan energi sinar-x, semakin besar energi sinar-x semakin berkurang terjadinya penyerapan oleh objek sehingga sinar-x yang melewati objek semakin banyak. Energi sinar-x yang besar akan membuat semakin banyaknya terjadi hamburan Compton, yang akan membuat turunnya kontras.

## 2.5 Interaksi sinar-x dengan materi

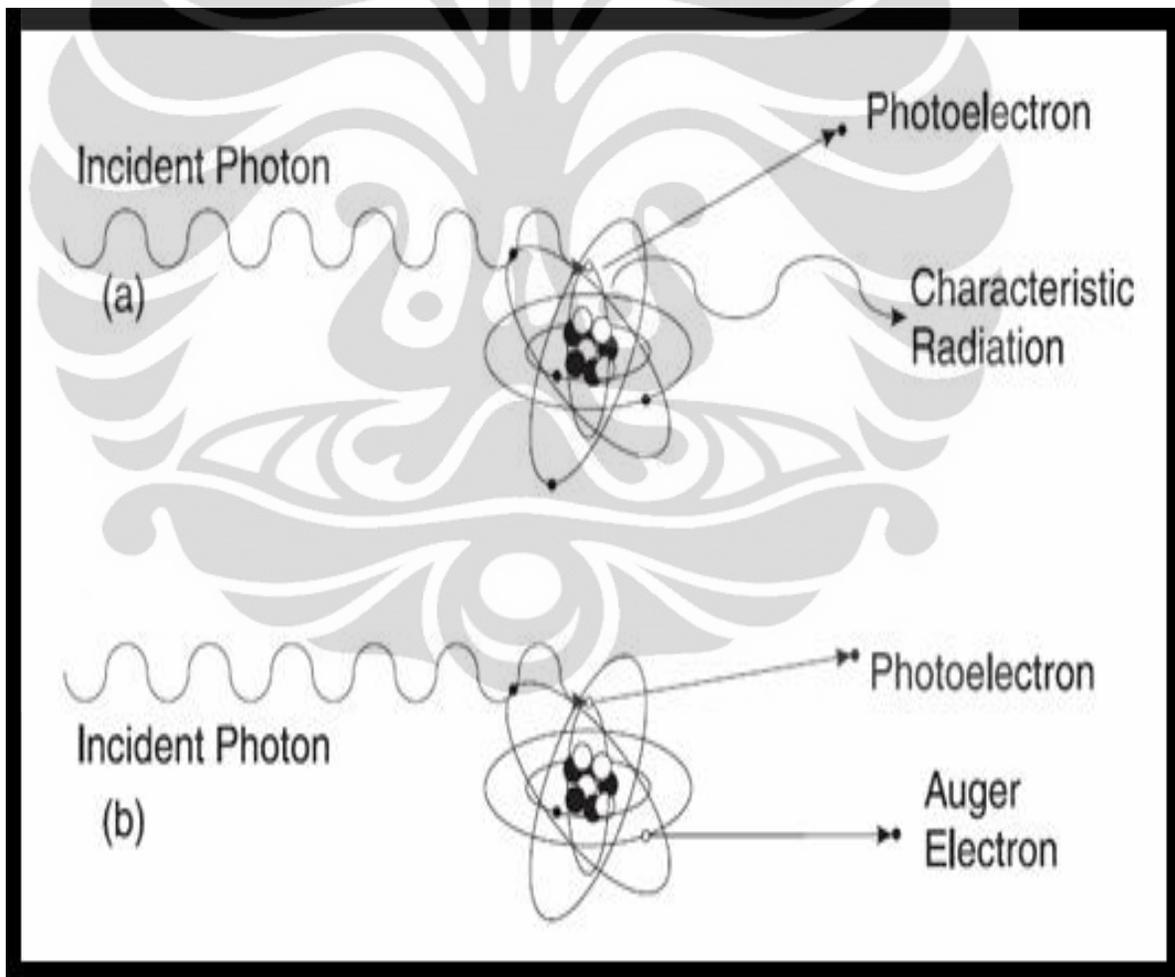
Sinar-x merupakan gelombang elektromagnet yang tidak memiliki massa, muatan, dengan daya tembus yang cukup tinggi. Proses interaksi sinar-x dengan materi meliputi 5 kemungkinan, hamburan koheren atau hamburan klasik, efek fotolistrik, hamburan Compton, produksi pasangan dan desintegrasi fotonuklir. Interaksi sinar-x dengan materi yang penting dalam radiodiagnostik adalah :

### 2.5.1 Efek fotolistrik

Efek efek fotolistrik terjadi ketika seluruh energi sinar-x diserap oleh elektron orbit. Sehingga elektron tersebut terlepas dari atom. Elektron yang keluar tersebut dinamakan potoelektron dengan energi ( $E_e$ ) sebanding dengan energi sinar-x ( $E_0$ ) dikurangi oleh energi ikat dari orbit elektron ( $E_b$ ).

$$E_e = E_0 - E_b \quad (2.5)$$

Sehingga efek fotolistrik akan terjadi jika energi sinar-x lebih besar atau sama dengan energi ikat dari elektron orbit. Efek foto listrik dominan pada sinar-x dengan energi rendah dan akan meningkat dengan kenaikan nomer atom materi.

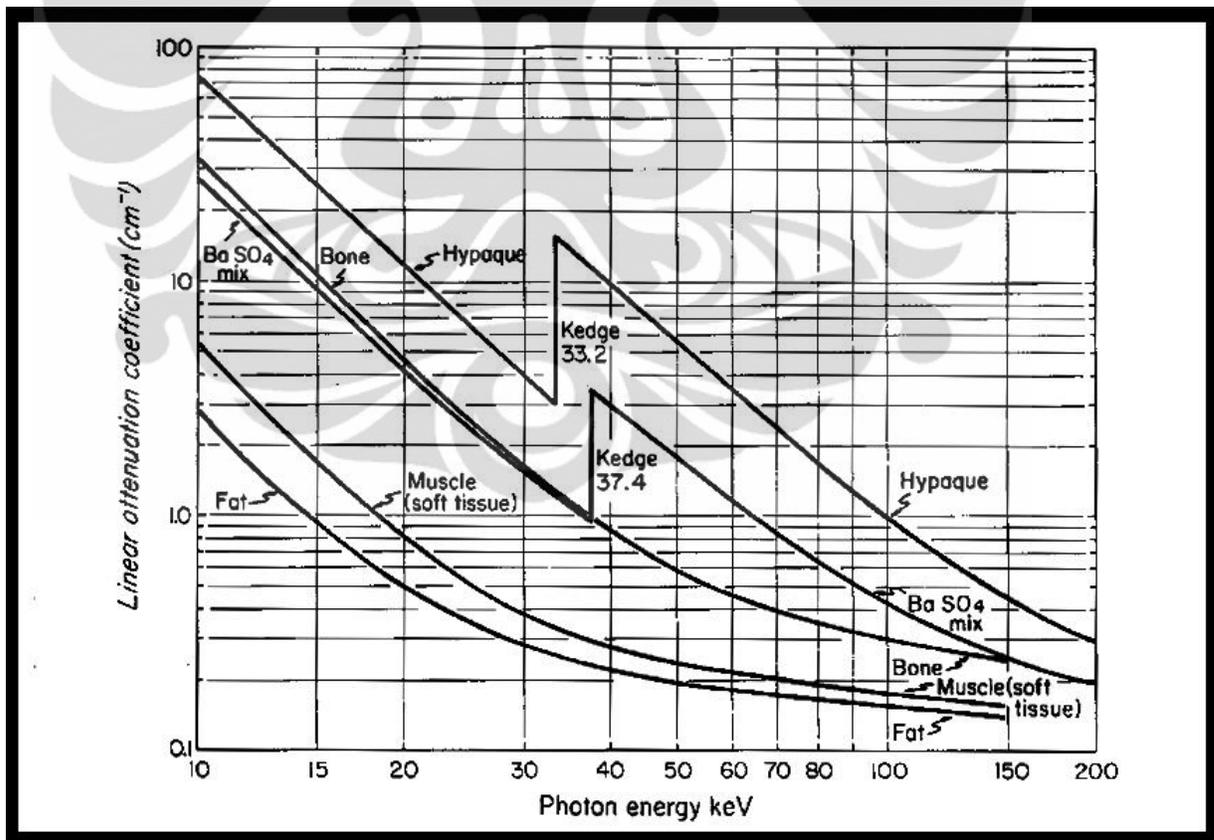


[Sumber : Robert.A Fosbinder. 2002]

Gambar 2.4. Interaksi fotolistrik

Pada sinar-x dengan energi dibawah 50 kV, efek fotolistrik memainkan peran penting dalam pembentukan gambaran rontgen jaringan lunak. Efek penyerapan fotolistrik berguna untuk menghasilkan kontras gambaran pada materi yang memiliki perbedaan nomer atom, materi dengan nomer atom lebih besar akan lebih banyak menyerap sinar-x,

Tulang yang memiliki nomer atom lebih besar dari jaringan lunak akan menyerap sinar-x lebih besar dibanding dengan jaringan lunak. Pada gambar dibawah memperlihatkan efek fotoelektrik pada tulang lebih besar dari jaringan lunak, penyerapan tulang 4 kali lebih besar dari penyerapan jaringan lunak pada sinar-x berenergi 40 keV. Efek fotolistrik yang terjadi akan menurun ketika energi sinar-x diperbesar, dari gambar 2.5 memperlihatkan efek fotolistrik yang terjadi pada tulang dan jaringan lunak sebagai fungsi dari energi, semakin besar energi yang diberikan maka semakin kecil terjadinya efek fotolistrik pada jaringan lunak dan tulang.



[Sumber : Cunningham.1983]

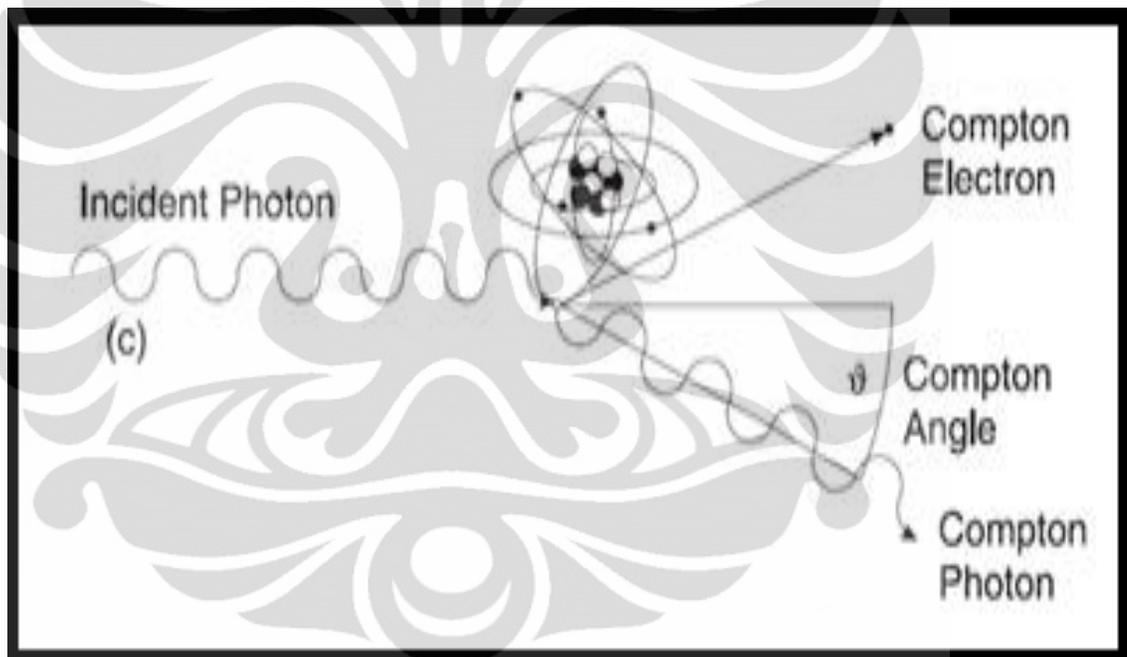
Gambar 2.5. Coefisien atenuasi linier dalam  $\text{cm}^{-1}$  untuk soft tissue, lemak dan tulang

### 2.5.2 Hamburan Compton

Hamburan Compton terjadi ketika sinar-x berinteraksi dengan elektron terluar dari atom, selanjutnya sinar-x mengalami penghamburan dan elektron terlepas dari ikatannya. Energi sinar-x awal ( $E_0$ ) adalah sama dengan jumlah energi sinar-x yang menghambur ( $E_{se}$ ) ditambah dengan energi kinetik elektron yang terlepas dari ikatannya ( $E_e$ ). disini energi ikat elektron yang dikeluarkan relatif kecil dan dapat diabaikan.

Persamaan :

$$(E_0) = (E_{se}) + (E_e) \quad (2.6)$$

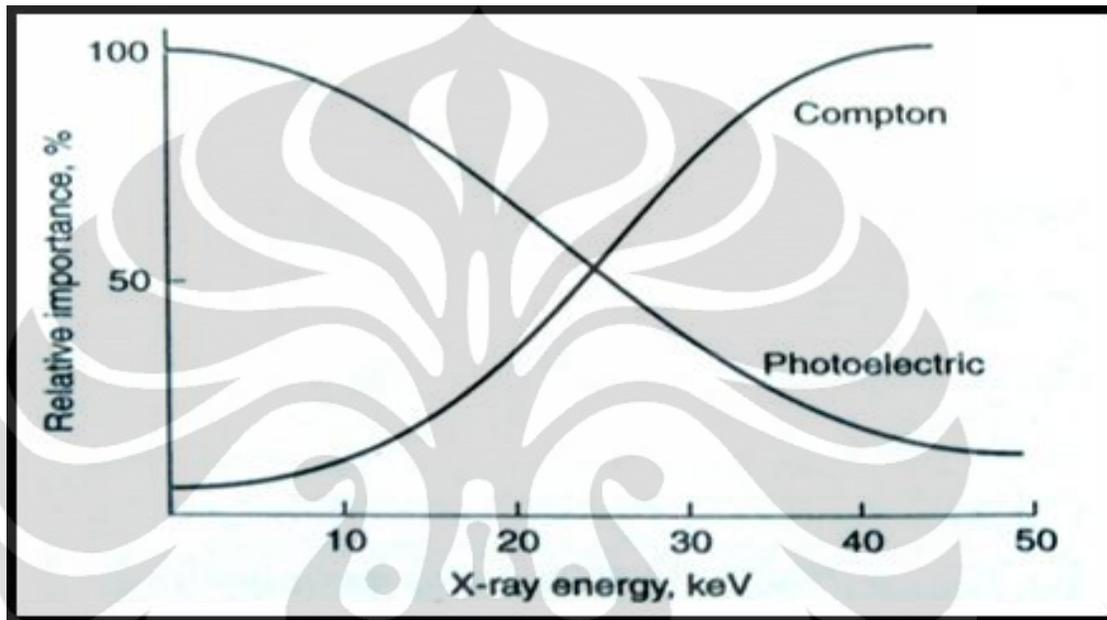


[Sumber : Robert.A Fosbinder. 2002]

Gambaran 2.6. Interaksi Compton

Pada praktisnya semakin besar energi sinar-x yang datang akan meningkatkan jumlah elektron dan sinar-x yang terhambur, Pada pembentukan gambaran radiografi hal ini akan menurunkan kontras gambar. Pada radiologi diagnostik interaksi sinar-x dengan materi banyak terjadi pada efek fotoelektrik dan hamburan Compton. Pada energi yang rendah, efek fotoelektrik dominan terjadi, sementara pada energy yang lebih tinggi hamburan compton lebih dominan. Jika energi sinar-x ditingkatkan maka jumlah relatif interaksi efek fotoelektrik akan menurun dan interaksi hamburan

Compton akan naik. Gambar dibawah memperlihatkan interaksi efek fotoelektrik dan hamburan Compton sebagai fungsi dari energi sinar-x. Pada energy 26 keV ( sampai mendekati 75 keV ) jumlah interaksi antara hamburan compton dengan efek fotoelektrik seimbang pada jaringan lunak.



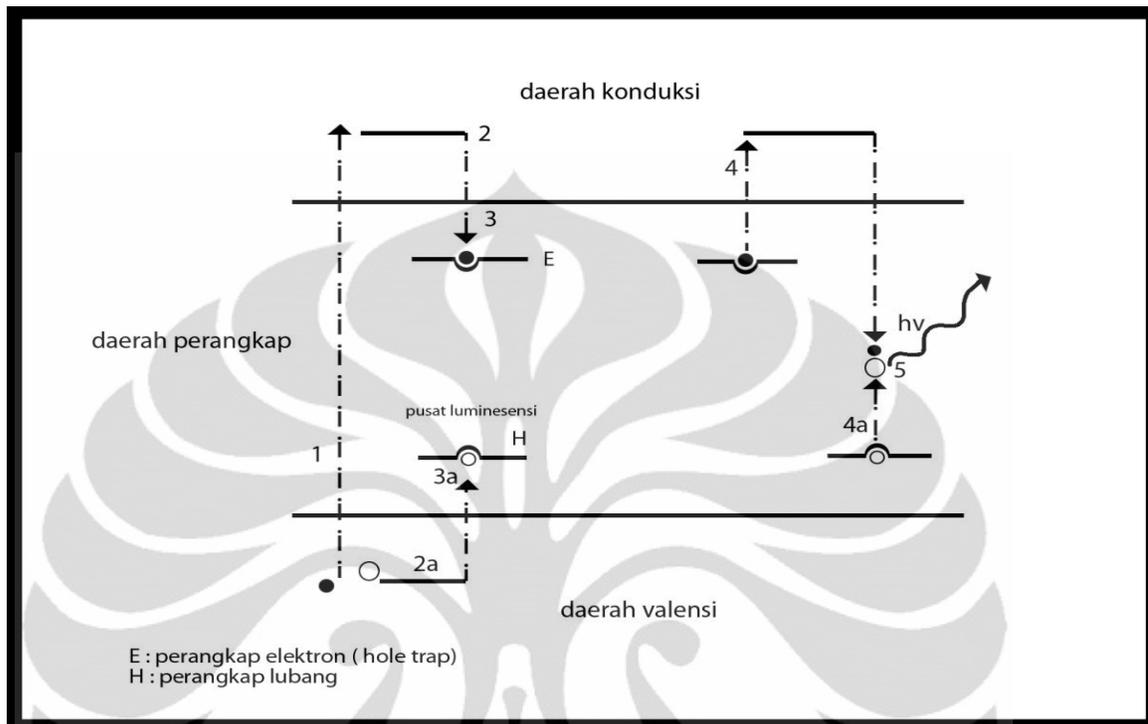
[Sumber : Robert.A Fosbinder. 2002]

Gambar 2.7. Interaksi efek fotolistrik dengan Compton

## 2. 6 TLD (Thermo Luminescence Dosimeter)

TLD (Thermo Luminescence Dosimeter) adalah dosimeter yang bekerja berdasarkan fenomena termoluminesensi. Proses diawali ketika TLD menyerap energi radiasi yang datang, menyebabkan terbentuk elektron bebas melalui proses fotolistrik ataupun hamburan compton, elektron berpindah dari pita valensi ke konduksi (langkah 1), dalam pita konduksi elektron bergerak bebas (langkah 2), selanjutnya elektron terperangkap kedalam perangkap elektron (langkah 3), perpindahan elektron meninggalkan lubang (hole) yang bergerak bebas pada pita valensi (langkah 2a), hole ini kemudian terperangkap pada perangkap lubang(3a). Elektron maupun lubang akan tetap terperangkap hingga memperoleh energi panas yang cukup untuk keluar dari perangkap tersebut. Jika diberikan energi panas yang cukup maka elektron dan hole terlepas dari perangkap masing-masing (langkah 4 dan 4a), elektron dan hole selanjutnya akan berkombinasi kembali dipusat

luminesensi (langkah 5) disertai dengan pancaran cahaya tampak yang disebut cahaya luminesensi.



[Sumber : Akhadi.2000] “Telah diolah kembali”

Gambar 2.8. Proses terjadinya peristiwa termoluminesensi

cahaya tampak hasil proses termoluminesensi yang akan ditangkap oleh penguat cahaya PMT (Photomultiplier Tube). PMT berfungsi menangkap cahaya luminesensi serta mengubah menjadi sinyal listrik, dan memperkuat sinyal akhir, elektrometer berfungsi mencatat sinyal PMT dalam satuan arus atau muatan. Intensitas total thermoluminescence sebanding dengan jumlah elektron yang terjebak dan sebanding pula dengan energi radiasi yang terserap. Dengan demikian, intensitas cahaya yang diemisikan dari kristal thermoluminescence akan berbanding lurus pula dengan dosis radiasi.

LiF:Mg,Ti, LiF:Mg,Cu,P. Sebelum digunakan TLD harus dipanaskan terlebih dahulu pada suhu tertentu untuk menghapus energi yang masih tersisa didalam TLD. TLD yang dipilih untuk melakukan pengukuran dosis adalah lithium fluoride yang memiliki kepekaan yang cukup dan respon energi datar dalam rentang kuantitas berkas sinar-x yang digunakan dalam radiologi diagnostic. Keuntungan dalam penggunaan TLD adalah mudah dalam pengoprasian, mampu memantau radiasi dari rentang dosis dari rendah hingga tinggi, dapat dipakai ulang dan tidak peka terhadap faktor lingkungan. Adapun kelemahannya adalah data

dosis langsung hilang setelah proses pembacaan, sehingga tidak dapat dilakukan pembacaan ulang apabila ditemukan hal-hal yang meragukan.

## 2.7 Dasar perhitungan dosis yang digunakan

Dimasa yang lalu Rontgen adalah satuan yang digunakan untuk nilai exposure, untuk sekarang menggunakan istilah kerma udara. Nilai exposure dalam rontgen dapat dikonversikan menjadi kerma udara dalam satuan grey dengan konversi senilai  $0,876 \times 10^{-2}$  Gy/R.

### 2.7.1. Kerma (kinetic energy released in a material)

Kerma (K) adalah jumlah seluruh energi kinetik ( $dE_{tr}$ ) dari partikel bermuatan yang dibebaskan karena proses tumbukan partikel bermuatan dalam masa material ( $dm$ ), Satuan unitnya dalam J/kg, atau biasa disebut dengan Gray (Gy)

$$K = (dE_{tr}) / dm \quad (2.7)$$

### 2.7.2. Incident air kerma (Kerma)

Incident air kerma adalah kerma diudara yang berasal dari penyinaran sinar-x yang diukur dipusat sinar pada pertengahan posisi pasien ataupun pantom. Hanya memperhitungkan radiasi yang terjadi pada pasien, tanpa memperhitungkan faktor hambur (back scatter factor ). Satuan unitnya dalam J/kg, atau biasa disebut dengan Gray (Gy)

### 2.7.3. Entrance surface dose (ESD)

Entrance surface dose (ESD) adalah kerma di udara yang berasal dari penyinaran sinar-x yang diukur dipusat sinar pada pertengahan posisi pasien ataupun pantom, dengan memperhitungkan radiasi hambur yang terjadi dari objek atau pantom. Dalam perhitungan ESD dikalikan dengan faktor hambur (back scatter faktor). Satuan unitnya dalam J/kg, atau bisa disebut dengan Gray (Gy). Dengan kata lain ESD ( $K_c$ ) adalah incident air kerma ( $K_i$ ) dikali faktor back scatter ( $B$ ).

$$K_c = K_i \cdot B \quad (2.8)$$

## 2.8 Gambaran radiografi thorak (dada) anak

Dalam pengumpulan data guna mendapatkan kajian tentang perbandingan kV tinggi dengan kV standar pada thorak anak, posisi pasien yang digunakan adalah :

### **2.8.1 Thorak AP ( anterior-posterior/sinar-x menembus dari depan kebelakang)**

Untuk mendapatkan gambaran radiografi thorak AP anak secara baik dari segi kualitas gambaran maupun dosis yang dihasilkan maka perlu diperhatikan beberapa hal:

- Posisi pasien dapat berdiri, duduk ataupun tidur. Digunakan alat imobilisasi untuk memfiksasi tangan ataupun kaki pada anak yang tidak kooperatif.
- Ukuran dari fokal spot kurang dari 1.3 mm disarankan 0.6 mm, Filter tambahan digunakan 1mm Al + 0,1 atau 0,2 mm Cu ( setara dengan materi tersebut).
- Menggunakan Jarak focus ke film 100 cm, dengan menggunakan kaset berjenis high speed
- Parameter penyinaran yang diberikan berupa tegangan tabung mulai 60 sampai dengan 80 kV, tegangan tabung 100 kV sampai dengan 150 kV dengan menggunakan grid diberikan pada anak yang sudah besar (penggunaan grid hanya pada kasus-kasus khusus). Waktu penyinaran disarankan kurang dari 10 milidetik ( milli second/ms).
- Menggunakan karet timbal jika memungkinkan untuk menutupi daerah abdomen dari berkas sinar utama.
- Nilai rujukan ESD untuk anak adalah 100  $\mu$ Gy dan untuk bayi adalah 80  $\mu$ Gy.

Pada gambaran radiografi thorak AP anak terdapat beberapa kriteria yang menjadi syarat gambaran radiografi dapat diterima atau memberikan nilai diagnosa yang baik. Kriteria gambar yang digunakan adalah tampak gambaran foto thorak anak dalam keadaan menarik nafas (full inspirasi), terlihat simetris, tidak terdapat perputaran atau miring. Gambaran paru-paru terlihat dari mulai apex paru sampai setinggi tulang thorakal 12 atau lumbal 1, gambaran pembuluh darah sampai daerah 2/3 paru. Tampak gambaran trachea, bronkus paru, sinus costofrenikus dan diafragma. Terlihat gambaran tulang belakang, mediastinum dan daerah retrocardiac dari paru-paru.

### **2.8.2. Thorak Lateral (sisi tubuh/sinar-x menembus dari sisi kanan ke sisi kiri)**

Untuk mendapatkan gambaran radiografi thorak lateral anak secara baik dari segi kualitas gambaran maupun dosis yang dihasilkan maka perlu diperhatikan beberapa hal:

- Posisi pasien dapat berdiri, duduk ataupun tidur. Digunakan alat imobilisasi untuk memfiksasi tangan ataupun kaki pada anak yang tidak kooperatif.
- Ukuran dari fokal spot kurang dari 1.3 mm disarankan 0.6 mm, Filter tambahan digunakan 1mm Al + 0,1 atau 0,2 mm Cu ( setara dengan materi tersebut).

- Menggunakan Jarak focus ke film 100 cm, dengan menggunakan kaset berjenis high speed
- Parameter penyinaran yang diberikan berupa tegangan tabung mulai 60 sampai dengan 80 kV, tegangan tabung 100 kV sampai dengan 150 kV dengan menggunakan grid diberikan pada anak yang sudah besar (penggunaan grid hanya pada kasus-kasus khusus). Waktu penyinaran disarankan kurang dari 20 mili detik ( milli second/ms).
- Menggunakan karet timbal jika memungkinkan untuk menutupi daerah abdomen dari berkas sinar utama.
- Nilai rujukan ESD untuk thorak lateral anak adalah 200  $\mu$ Gy.

Pada gambaran radiografi thorak lateral anak terdapat beberapa kriteria yang menjadi syarat gambaran radiografi dapat diterima atau memberikan nilai diagnosa yang baik. Kriteria gambaran yang digunakan adalah tampak gambaran foto thorak anak dalam keadaan menarik nafas (full inspirasi), tampak rongga paru dalam keadaan benar-benar miring ( true lateral), tampak bronkus paru, sinus costofrenikus dan diafragma. Trachea terlihat mulai dari apeks paru sampai bronkus utama paru. Tampak gambaran tulang sternum dan tulang belakang.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pesawat tropy dan pesawat multi mobile 10, TLD (termoluminesensi dosimeter), step wedge, detector, densitometer,

#### 3.1.1 Pesawat Radiografi

Dalam penelitian ini menggunakan 2 pesawat radiografi yang terdapat pada unit pencitraan. Untuk seluruh pemeriksaan konvensional kecuali thorak anak yang kooperatif, dilakukan dengan menggunakan pesawat radiografi jenis statis bermerk tropy, Sedangkan untuk pemeriksaan thorak anak yang kooperatif menggunakan pesawat radiografi jenis mobile unit yang bermerk Siemens multimobile 10. Data pesawat :

- Jenis I (statis):

Nama/Merk pesawat : Trophy general X-Ray

Tipe tabung : X 40 C

Pabrik pembuat : Tropy radiologies

Tahun pemasangan : 2002

Filter : bawaan 1.2 mmAl, tambahan 0.3 mm Al, total 1.5 mm Al.

Tipe generator : Single phase/medium frekwensi

Kapasitas pesawat : 150 kV, 640 mA, 9,9 s

Ukuran fokal spot : focus kecil 1 mm, focus besar 2 mm.

- Jenis II (mobile):

Nama/Merk pesawat : Siemens

Tipe tabung : Multi mobil 10

Pabrik pembuat : Siemens

Tahun pemasangan : 2005

Filter : 1.9 mm Al

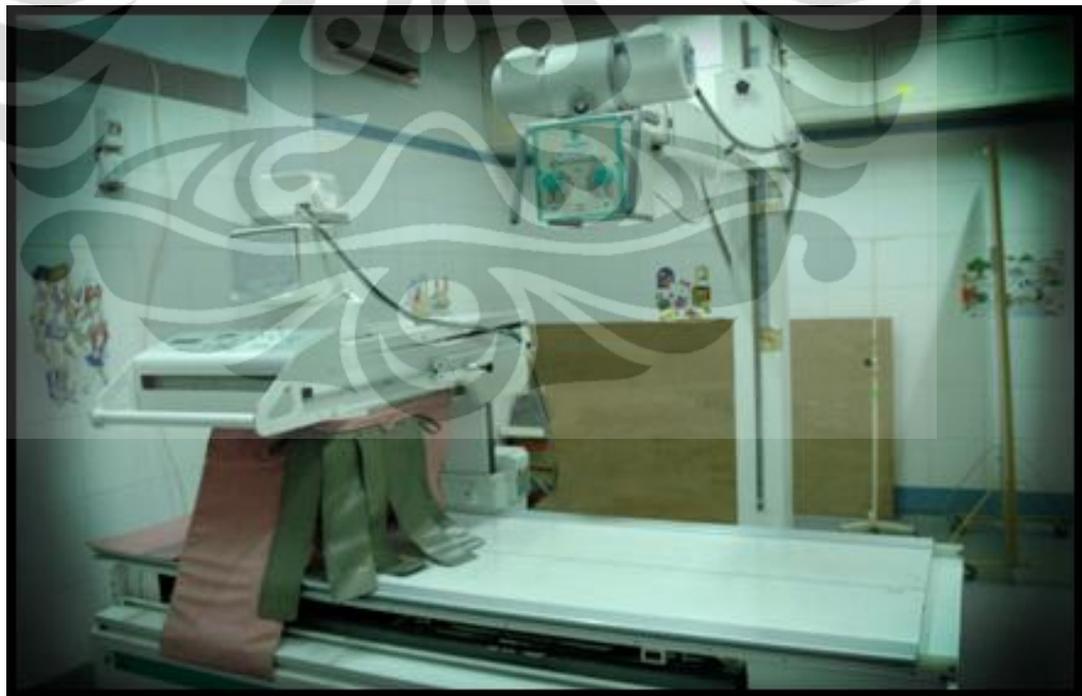
Tipe generator : Single phase/medium frekwensi

Kapasitas pesawat : 125 kV, 160 mA

Ukuran fokal spot : 0.8 mm.



(a)



(b)

Gambar 3.1. (a) Kontrol panel Pesawat Trophy, (b) Pesawat trophy



(a)



(b)

Gambar 3.2. (a) Pesawat siemens, (b) Kontrol panel Pesawat Siemens.

### 3.1.2 Densitometer dan stepwedge

Stepwedge adalah alat yang berbentuk tangga yang terdiri dari beberapa ketebalan berbeda yang berfungsi untuk mendapatkan perbedaan nilai atenuasi ketika dilewati sinar-x. Densitometer adalah alat yang berfungsi untuk menghitung jumlah cahaya yang melewati film dan memberikan nilai keluaran yang berupa nilai densitas.



Gambar 3.3 Stepwedge

## 3.2 Metode

Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengevaluasi dosis pada pemeriksaan thorak anak, baik pada penggunaan kV tinggi maupun pada kV standar yang biasa digunakan untuk pemeriksaan thorak anak, dosis yang di evaluasi adalah incident air kerma dan Entrance surface dose (ESD). Penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi kualitas gambar radiografi thorak anak hasil penggunaan kV tinggi, berupa nilai densitas dan kontras, dibandingkan dengan kualitas gambaran radiografi yang dihasilkan pemeriksaan thorak anak dengan kV standar.

### 3.2.1 Penentuan parameter penyinaran kV tinggi

Parameter penyinaran thorak anak dengan menggunakan kV tinggi, didapat dari perhitungan dengan menggunakan persamaan, yang didasarkan dari nilai penyinaran standar yang biasa digunakan untuk pemeriksaan thorak anak. Parameter Penyinaran ini merupakan rentang nilai kV maupun mAS yang diberikan untuk pemeriksaan thorak anak, dari rentang terkecil sampai rentang terbesar. Nilai penyinaran didapat dari observasi lapangan terhadap kebiasaan radiographer dalam memberikan parameter penyinaran, berdasarkan perkiraan ketebalan rongga thorak anak, yang menghasilkan gambaran thorak anak sesuai kriteria gambaran, baik dari segi densitas maupun kontras pada film radiografi.

Tabel 3.1. Parameter penyinaran pemeriksaan thorak anak

No	Posisi	Parameter penyinaran	
	Thorak	Tegangan tabung (kV)	Beban tabung (mAS)
1	AP	40	5
2	AP	40	6,4
3	AP	41	5
4	AP	41	6,4
5	AP	42	5
6	AP	42	6,4
7	AP	43	5
8	AP	43	6,3
9	AP	44	5
10	AP	44	6,4

Lanjutan tabel 3.1. Parameter penyinaran pemeriksaan thorak anak

No	Posisi	parameter penyinaran	
	Thorak	Tegangan tabung (kV)	Beban tabung (mAS)
11	AP	45	6,4
12	AP	46	6,4
13	AP	47	6,4
14	AP	48	6,4
15	AP	49	6,4
16	Lateral	50	6,4
17	Lateral	50	8
18	Lateral	51	6,4
19	Lateral	51	8
20	Lateral	52	6,4
21	Lateral	52	8
22	Lateral	53	6,4
23	Lateral	53	8
24	Lateral	54	8
25	Lateral	55	8
26	Lateral	56	8

Berdasarkan literatur penggunaan kV tinggi pasien anak dimulai dari rentang 60 kV sampai 80 kV. Didapatkan nilai mAS yang baru dengan menggunakan persamaan :

$$\left(\frac{kVp1}{kVp2}\right)^5 \times mAs1 = mAs2 \quad (3.1)$$

atau

$$\left(\frac{kVp1}{kVp2}\right)^4 \times mAs1 = mAs2 \quad (3.2)$$

### 3.2.2 Mendapatkan perbandingan kontras

Kontras adalah perbedaan nilai densitas antara 2 area pada suatu gambaran film radiografi, untuk mendapatkan perbedaan kontras pada gambaran radiografi digunakan stepwedge, pada stepwedge terdapat perbedaan ketebalan yang berguna untuk menghasilkan kontras gambar. Dengan membandingkan kontras yang

dihasilkan dari kV tinggi I, kV tinggi II dengan nilai penyinaran kV standar, dapat ditentukan teknik penyinaran mana yang akan digunakan. Langkah yang dilakukan dimulai dengan meletakkan stepwedge diatas kaset yang telah diisi film radiografi. Stepwedge disinari dengan nilai penyinaran yang sesuai dengan nilai penyinaran pada pasien thorak anak, baik dengan menggunakan kV tinggi ataupun dengan kV standar.

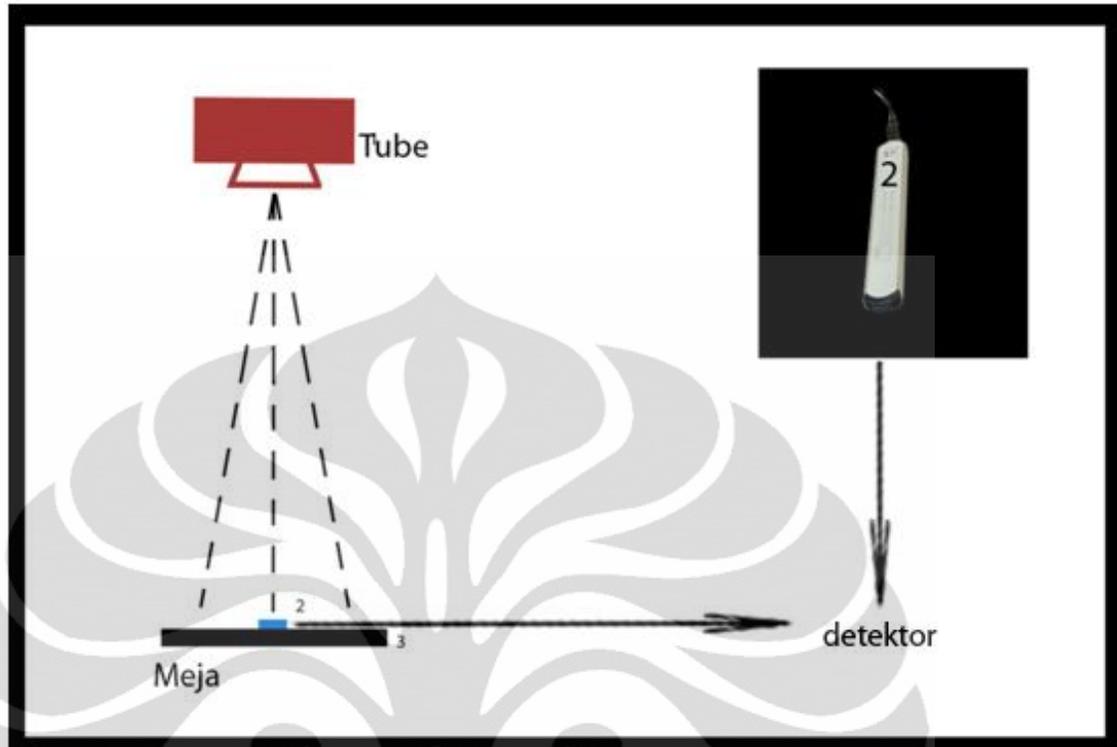
Dari proses pencucian dikamar gelap dihasilkan film radiografi dengan rentang kontras yang seperti tangga yang terbentuk dari perbedaan nilai densitas. Dengan menggunakan densitometer didapat nilai densitas dari masing-masing perbedaan derajat kehitaman. Nilai-nilai densitas yang dihasilkan dibuat grafik yang akan memperlihatkan rentang kontras yang terbentuk



Gambar 3.4. Penyinaran film dengan menggunakan stepwedge

### 3.2.3 Penentuan nilai Incident air kerma

Incident air kerma adalah kerma diudara yang berasal dari penyinaran sinar-x yang diukur dipusat sinar pada pertengahan posisi pasien tanpa memperhitungkan faktor back scatter. Nilai incident air kerma didapatkan dari perhitungan parameter faktor penyinaran dan keluaran dari tabung sinar-x. perbandingan nilai incident air kerma dari kV tinggi dengan kV standart pada thorak anak, didapat dari menghitung dosis dari keduanya yang disesuaikan dengan faktor eksposi yang digunakan oleh masing-masing teknik dan dosis keluaran dari tabung pada masing-masing teknik. Untuk mendapatkan incident air kerma langkah-langkah yang dilakukan adalah menyiapkan jarak antara focus dengan detector pada jarak 100 cm, pastikan posisi tube dan posisi meja pemeriksaan tidak mengalami kemiringan, detektor diletakan di meja pemeriksaan pada pertengahan kolimasi penyinaran. Lebar kolimasi yang digunakan sesuai dengan luas lapangan pemeriksaan yang sering digunakan pada pemeriksaan thorak anak. Setelah semua siap baru kita atur nilai tegangan tabung (kV), arus tabung ( mA), waktu (S) sesuai nilai penyinaran yang kita butuhkan



Gambar 3.5. Skema pengukuran incident air kerma,

#### 3.2.4. Penentuan nilai Entrance surface dose (ESD)

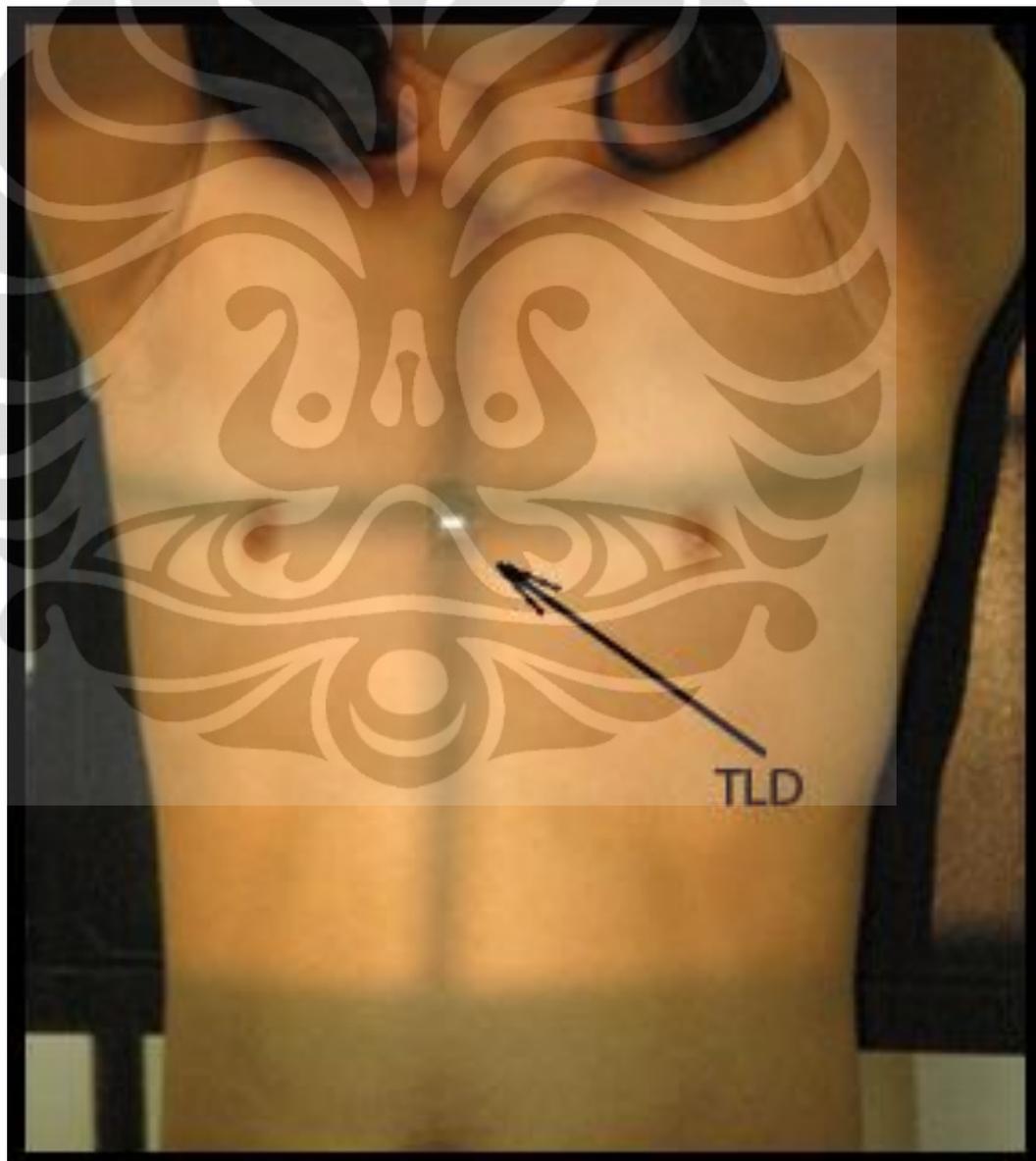
Entrance surface dose (ESD) adalah kerma diudara yang berasal dari penyinaran sinar-x yang diukur dipusat sinar pada pertengahan posisi pasien dengan memperhitungkan faktor back scatter.

Untuk medapatkan nilai ESD maka digunakan TLD yang diletakan pada pertengahan rongga thorak pasien anak yang sedang menjalani prosedur pemeriksaan thorak. Langkah-langkah yang dilakukan dimulai dengan Mencatat data pasien berupa tinggi badan, berat badan, umur dan jenis kelamin. Kemudian melakukan pengukuran tebal rongga thorak yang diinginkan, bisa dari aspek antero-posterior (dari depan ke belakang rongga thorak), atau aspek lateral (dari sisi kanan ke sisi kiri) Tergantung pemeriksaan thorak yang dilakukan.

Setelah mengatur posisi anak sesuai dengan pemeriksaan yang akan dilakukan, dilakukan pemilihan nilai penyinaran yang akan digunakan, baik dengan kV tinggi maupun dengan kV standard. 1 Pasien hanya boleh dilakukan dengan 1 parameter penyinaran, tidak boleh keduanya dengan pertimbangan meminimalisasi dosis yang

diterima pasien. Melakukan pemasangan TLD pada pertengahan rongga thorak, dalam pengumpulan 1 TLD berlaku untuk satu jenis pemeriksaan,

Dari data yang ada diklasifikasikan berdasarkan ketebalan tubuh pasien dengan rentang 2 cm. Dosis yang didapat dari TLD baik dari kV tinggi, maupun kV standard dari pemeriksaan thorak anak dibandingkan satu sama lain, sehingga didapat kesimpulan teknik apa yang menghasilkan nilai Entrance surface dose (ESD) yang paling rendah.



Gambar 3.6. Posisi pemasangan TLD pada foto thorak

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Uji kesesuaian pesawat rontgen

Sebelum mendapatkan nilai dari incident air kerma, pada pesawat trophy dan Siemens dilakukan uji kesesuaian yang terkait dengan dosimetri yaitu reproduksibilitas, akurasi tegangan tabung, akurasi waktu penyinaran dan linieritas dosis radiasi. Tujuannya adalah untuk memastikan kondisi pesawat radiografi yang akan digunakan dalam keadaan prima, hasilnya akan dibandingkan dengan nilai panduan dari literature yang diterbitkan oleh Australia Barat. Adapun uji kesesuaian yang dilakukan meliputi :

#### 4.1.1 Reproduksibilitas

Reproduksibilitas bertujuan untuk memperlihatkan kestabilan pesawat radiografi untuk kembali memproduksi tegangan tabung, waktu dan keluaran radiasi dengan rentang yang hampir sama. Dari uji kesesuaian yang dilakukan pada pesawat trophy didapatkan data (lampiran 2), yang kemudian diolah untuk uji reproduksibilitas. Data diambil adalah parameter penyinaran tegangan 44 kV, 6.25 mAS dengan waktu 25 mS, diambil sebanyak 5 buah dengan parameter penyinaran yang sama.

Tabel 4.1. Uji reproduksibilitas pesawat trophy

Pengulangan	Hasil Pengukuran		
	Tegangan Tabung (kV)	Waktu (mS)	output (mGy)
1	42.592	0.024	0.080
2	42.356	0.024	0.082
3	42.759	0.024	0.082
4	42.093	0.025	0.082
5	42.127	0.024	0.082
Rata-rata	42.385	0.025	0.081
Standar deviasi	0.290	0.000	0.001
koovesien variasi	0.007	0.019	0.007
%	0.683%	1.932%	0.722%

Nilai Koefisien variasi yang dihasilkan dari tegangan 0.683 %, Koefisien variasi dari waktu 1.932 % dan Koefisien variasi keluaran radiasi pesawat trophy 0.722% , berdasar pada panduan literatur yang diambil dari Australia barat dimana nilai

masing-masing tidak boleh melebihi 5 %. maka reproduksibilitas pesawat trophy masih dalam batas toleransi.

Dari uji kesesuaian yang dilakukan pada pesawat simens didapatkan data (lampiran 2) yang kemudian diolah untuk uji reproduksibilitas. Data yang diambil adalah parameter penyinaran dengan tegangan 44 kV, pada pesawat Siemens ini tidak terdapat pengaturan waktu tetapi langsung pemilihan mAs, data diambil dengan parameter penyinaran tegangan 44 kV, 6.4 mAS, diambil sebanyak 6 buah dengan parameter penyinaran yang sama.

Tabel 4.2. Uji reproduksibilitas pesawat Siemens

Pengulangan	Hasil Pengukuran		
	Tegangan Tabung kV	Waktu (mS)	Output (mGy)
1	41.293	0.044	0.059
2	43.287	0.045	0.059
3	41.909	0.045	0.059
4	41.144	0.045	0.059
5	42.286	0.045	0.059
6	41.535	0.045	0.059
Rata-rata	41.909	0.045	0.059
Standar deviasi	0.793	0.000	0.000
koovesien variasi	0.019	0.006	0.003
%	1.893%	0.575%	0.312%

Nilai Koefisien variasi yang dihasilkan dari tegangan 1.893%, Koefisien variasi dari waktu 0.575% dan Koefisien variasi keluaran radiasi pesawat trophy 0.312%. berdasar pada panduan literatur yang diambil dari Australia barat dimana nilai masing-masing tidak boleh melebihi 5 %. maka reproduksibilitas pesawat siemens masih dalam batas toleransi.

#### 4.1.2 Akurasi tegangan tabung

Tujuan dari tes ini untuk memperlihatkan keakuratan tegangan yang dimiliki tabung pesawat rontgen. Dari uji kesesuaian yang dilakukan pada pesawat trophy didapatkan data (lampiran 2) yang kemudian diolah untuk uji akurasi tegangan tabung. Data yang diambil adalah parameter penyinaran dengan rentang tegangan 10 kV bervariasi mulai tegangan 40 kV sampai dengan 100 kV, menggunakan nilai

mAs yang sama yaitu 8 mAs (lampiran 3). Dihasilkan variasi tegangan tabung dari -2.668 % sampai dengan 0.975 %, berdasar pada panduan yang diambil dari Australia barat dimana nilai masing-masing tidak boleh melebihi 6 %. maka akurasi tegangan pesawat trophy masih dalam batas toleransi.

Tabel 4.3 ketepatan tegangan tabung pada pesawat trophy

Parameter penyinaran				Hasil Pengukuran		selisih	variasi
Tegangan Tabung (kV)	Arus Tabung (mA)	Waktu (mS)	Beban tabung (mAs)	Tegangan Tabung kV	Waktu mS	Tegangan Tabung kV	%
40	250	0.03	8	39.234	0.032	-0.766	-1.914
50	250	0.03	8	49.340	0.032	-0.660	-1.320
50	250	0.03	8	49.329	0.032	-0.671	-1.342
60	250	0.03	8	59.110	0.032	-0.890	-1.483
70	250	0.03	8	68.266	0.032	-1.734	-2.477
70	250	0.03	8	68.133	0.032	-1.867	-2.668
80	250	0.03	8	79.895	0.032	-0.105	0.132
90	250	0.03	8	90.383	0.033	0.383	0.426
100	250	0.03	8	100.975	0.033	0.975	0.975

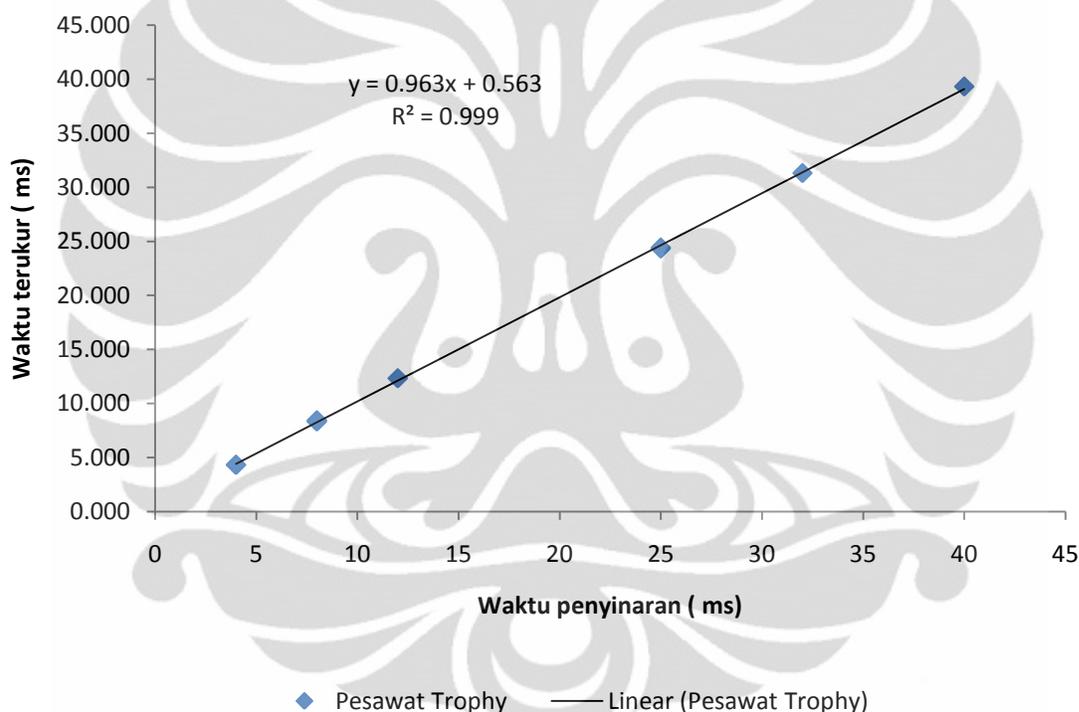
Data yang diambil adalah parameter penyinaran dengan variasi tegangan 40 – 102 kV, 6.4 mAs ( lampiran 3). Dihasilkan variasi tegangan tabung dari -2.714 % sampai dengan 1.404 %, berdasarkan pada panduan yang diambil dari Australia barat dimana nilai masing-masing tidak boleh melebihi 6 %. maka akurasi tegangan pesawat siemens masih dalam batas toleransi.

Tabel 4.4 ketepatan tegangan tabung pada pesawat siemens

Kondisi penyinaran		Hasil Pengukuran		selisih	variasi
Tegangan Tabung (kV)	Arus Tabung (mAs)	Tegangan Tabung (kV)	Waktu (mS)	Tegangan Tabung (kV)	%
40	6.4	39.313	0.051	-0.687	-1.717
50	6.4	48.641	0.042	-1.359	-2.719
52	6.4	51.415	0.041	-0.585	-1.125
60	6.4	58.741	0.036	-1.259	-2.099
70	6.4	68.100	0.042	-1.900	-2.714
81	6.4	82.137	0.046	1.137	1.404
90	6.4	90.606	0.051	0.606	0.674
102	6.4	103.043	0.060	1.043	1.023

### 4.1.3 Akurasi waktu penyinaran

Tujuan dari tes ini untuk memperlihatkan keakuratan waktu penyinaran yang dimiliki pesawat roentgen. Dari uji kesesuaian yang dilakukan pada pesawat trophy didapatkan data mentah (lampiran 2). Data yang diambil adalah parameter penyinaran dengan tegangan 44 kV, 250 mA, dengan rentang waktu penyinaran bervariasi mulai dari 4 ms sampai 40 ms. Data uji kesesuaian waktu penyinaran terdapat pada lampiran 4. Maka didapat grafik keakuratan waktu penyinaran



Gambar 4.1. Grafik ketepatan waktu penyinaran pada pesawat trophy

Nilai linieritas waktu yang dihasilkan adalah 8.33% sampai dengan -2.667%, berdasar pada panduan yang diambil dari Australia barat dimana nilai masing-masing tidak boleh melebihi 10 % + 0.001 detik, maka linieritas waktu pesawat trophy masih dalam batas toleransi.

#### 4.1.4. Linieritas dosis radiasi

Uji linieritas radiasi bertujuan untuk mendapatkan rentang keluaran radiasi pada parameter penyinaran tertentu yang dapat digunakan untuk mendapatkan koefisien keluaran linier. Dari uji kesesuaian yang dilakukan pada pesawat trophy didapatkan data (lampiran 2). Data yang diambil adalah nilai penyinaran dengan tegangan 44 kV, dengan variasi 6.25 dan 10 mAs

Tabel 4.5. Linieritas dosis radiasi pada pesawat trophy

Tegangan Tabung (kV)	Beban tabung (mAs)	Tegangan Tabung (kV) terbaca	Waktu (S) terbaca	dosis	HVL	output
				( mGy )		(mGy/mas)
44	6.25	42.540	0.024	0.08	1.620	0.013
44	10	42.846	0.025	0.120	1.612	0.012
linieritas output			0.032			

Nilai Koefisien linieritas radiasi yang dihasilkan 0.032, berdasar pada panduan yang diambil dari Australia barat dimana nilai masing-masing tidak boleh melebihi 0.1., maka linieritas dosis pada pesawat trophy masih dalam batas toleransi.

Dari uji kesesuaian yang dilakukan pada pesawat siemens didapatkan data (lampiran 1) yang kemudian diolah untuk linieritas keluaran radiasi. Data yang diambil adalah parameter penyinaran dengan tegangan 44 kV, dengan variasi 4 dan 6.25 mAs

Tabel 4.6. Linieritas keluaran radiasi pada pesawat Siemens

Tegangan Tabung (kV)	Beban tabung (mAS)	Tegangan Tabung (kV) terbaca	Waktu (S) terbaca	dosis	HVL	output
				( mGy )		(mGy/mas)
44	4	42.118	0.029	0.036	1.555	0.009
44	6.4	41.535	0.045	0.059	1.597	0.009
linieritas output			0.012			

Koefisien linieritas radiasi yang dihasilkan 0.012, berdasar pada panduan yang diambil dari Australia barat dimana nilai masing-masing tidak boleh melebihi 0.1, maka linieritas dosis pada pesawat trophy masih dalam batas toleransi.

#### 4.2. Parameter penyinaran kV tinggi

Berdasarkan standar yang telah ditetapkan bahwa penggunaan kV tinggi pasien anak dimulai dari rentang 60 kV sampai 80 kV. Untuk penelitian pada pasien thorak anak, parameter penyinaran untuk tegangan tabung yang diberikan adalah 60 kV dan 66 kV, penggunaan dua nilai tegangan tabung maka akan mempermudah dalam pemberian parameter penyinaran ketika melakukan pemeriksaan thorak anak. Setelah nilai tegangan tabung didapatkan, pada parameter penyinaran I nilai mAS yang baru didapatkan dengan menggunakan persamaan :

$$\left(\frac{kVp1}{kVp2}\right)^5 \times mAs1 = mAs2 \quad (4.1)$$

Sebagai contoh pada pemeriksaan thorak anak diberikan parameter penyinaran 42 kV dan 6,4 mAS, nilai tegangan pada kV tinggi yang hendak kita pakai 60 kV, berdasarkan atas rumus diatas maka nilai mAS yang baru adalah 1,07 mAS.

Karena nilai pangkat 5 atau pun 4 bisa diberikan tergantung dari ketebalan objek dan karakteristik atenuasi dari objek, maka dalam mendapatkan parameter penyinaran II dengan kV tinggi juga menggunakan persamaan :

$$\left(\frac{kVp1}{kVp2}\right)^4 \times mAs1 = mAs2 \quad (4.2)$$

Sebagai contoh pada pemeriksaan thorak anak diberikan parameter penyinaran tegangan 42 kV dan 6,4 mAS, nilai kV pada teknik kV tinggi yang hendak kita pakai 60 kV, berdasarkan atas rumus diatas maka nilai mAS yang baru adalah 1,53 mAS.

Hasil kedua perhitungan dapat dijadikan referensi nilai penyinaran yang akan digunakan, karena mAS yang dihasilkan dari perhitungan dengan menggunakan kedua persamaan tersebut, kadang tidak terdapat pada pilihan nilai mAS yang terdapat pada pesawat radiografi. Sebagai solusinya nilai mAs yang digunakan pada pesawat radiografi adalah nilai mAs yang paling mendekati nilai perhitungan.

Tabel 4.7 Parameter penyinaran kV standard an kV tinggi pemeriksaan thorak anak

No	Proyeksi	Parameter standar		kV tinggi I		kV tinggi II	
	Thorak	Tegangan tabung (kV)	Beban tabung (mAS)	Tegangan tabung (kV)	Beban tabung (mAS)	Tegangan tabung (kV)	Beban tabung (mAS)
1	AP	40	5	60	0.658	60	0.988
2	AP	40	6.4	60	0.843	60	1.264
3	AP	41	5	60	0.745	60	1.090
4	AP	41	6.4	60	0.954	60	1.395
5	AP	42	5	60	0.840	60	1.201
6	AP	42	6.4	60	1.076	60	1.537
7	AP	43	5	60	0.945	60	1.319
8	AP	43	6.3	60	1.191	60	1.662
9	AP	44	5	60	1.060	60	1.446
10	AP	44	6.4	60	1.357	60	1.851
11	AP	45	6.4	60	1.519	60	2.025
12	AP	46	6.4	60	1.695	60	2.211
13	AP	47	6.4	60	1.888	60	2.410
14	AP	48	6.4	60	2.097	60	2.621
15	AP	49	6.4	60	2.325	60	2.847
16	Lateral	50	6.4	60	2.572	60	3.086
17	Lateral	50	8	60	3.215	60	3.858
18	Lateral	51	6.4	65	1.903	65	2.426
19	Lateral	51	8	65	2.379	65	3.032
20	Lateral	52	6.4	65	2.097	65	2.621
21	Lateral	52	8	65	2.621	65	3.277
22	Lateral	53	6.4	65	2.307	65	2.829
23	Lateral	53	8	65	2.883	65	3.536
24	Lateral	54	8	65	3.166	65	3.811
25	Lateral	55	8	65	3.470	65	4.101
26	Lateral	56	8	65	3.797	65	4.407

#### 4.3. Perbandingan kontras dengan menggunakan stepwedge

Dengan didapatkan parameter penyinaran pemeriksaan thorak anak menggunakan kV tinggi, diharapkan densitas hasil rontgen thorak anak dengan menggunakan kV tinggi akan mendekati densitas pemotretan yang dihasilkan oleh kV tinggi penyinaran kV standar, nilai rentang kontras yang dihasilkan juga akan tidak jauh berbeda, atau akan lebih baik.

Sehingga hasil film radiografi thorak anak dengan kV tinggi juga dapat digunakan untuk menghasilkan diagnosa yang baik bagi pasien.

Untuk mendapatkan perbandingan kontras dan nilai densitas pada film, dilakukan penyinaran pada film yang diletakan didalam kaset dengan parameter penyinaran yang sesuai untuk pemeriksaan thorak anak, menggunakan parameter penyinaran teknik kV standar, teknik kV tinggi I dan teknik kV tinggi II, diatas kaset diberikan stepwedge untuk mendapatkan perbedaan densitas pada film. Ketiga penyinaran dilakukan pada 1 film, dengan cara membagi film menjadi tiga daerah penyinaran, untuk daerah yang tidak disinari kita tutupi dengan menggunakan timbal. Setelah melalui proses pencucian dikamar gelap didapatkan film dengan dengan rentang perbedaan densitas pada masing-masing tingkatan, yang dihasilkan dari perbedaan atenuasi stepwedge terhadap sinar-x yang diberikan. Pada stepwedge yang memiliki ketebalan paling tinggi didapatkan gambaran densitas film radiopaque, densitas ini semakin menuju hitam sesuai dengan tingkatan pada stepwege, hingga pada rentang stepwedge yang paling tipis didapati densitas yang paling tinggi



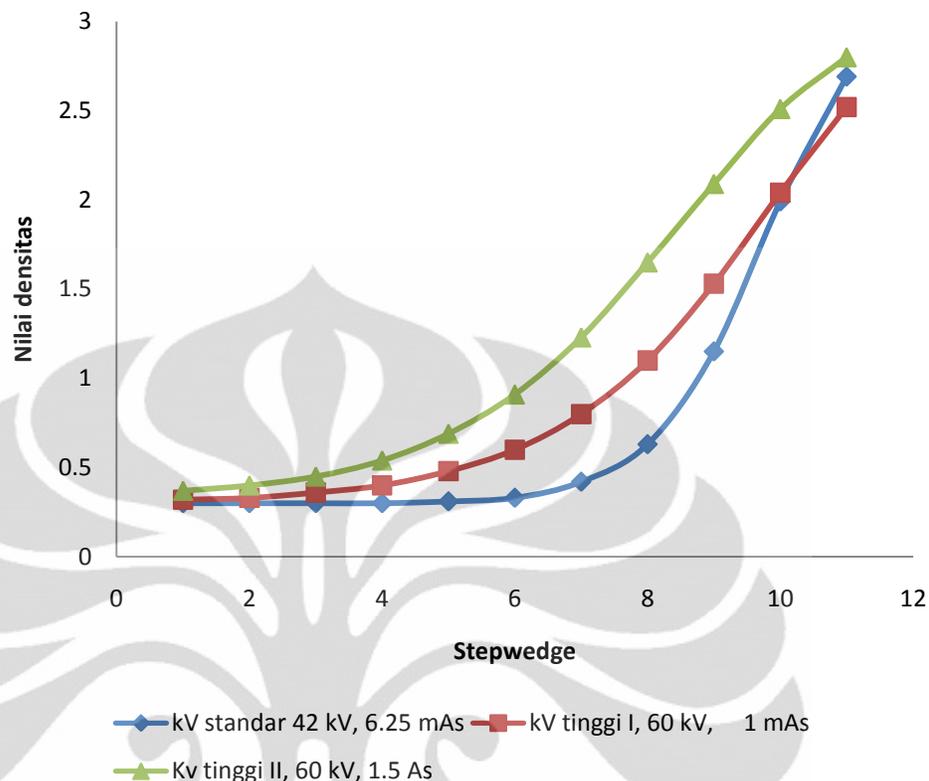
Gambar 4.2. Perbedaan densitas film radiografi yang terbentuk oleh stepwedge

Setelah di lakukan pengukuran nilai densitas film yang terbentuk oleh stepwedge, baik pada film yang disinari dengan kV standar, kV tinggi I maupun kV tinggi II, dengan menggunakan pesawat radiografi trophy dan pesawat Siemens (lampiran 1). Maka didapat grafik densitas film yang disinari dengan menggunakan pesawat trophy.

Untuk memudahkan dalam identifikasi densitas film yang dihasilkan, maka kita beri nama film 1 untuk film yang disinari menggunakan pesawat trophy, dengan nilai penyinaran 42 kV 6.25 mAs pada teknik kV standar, film 2 untuk film yang disinari menggunakan pesawat trophy, dengan nilai penyinaran 55 kV 8 mAs pada teknik kV standar, film 3 untuk film yang disinari menggunakan pesawat siemens, dengan nilai penyinaran 44 kV 6.4 mAs pada teknik kV standar, dan film 4 untuk film yang disinari menggunakan pesawat siemens, dengan nilai penyinaran 55 kV 8 mAs pada kV standar. Pada film yang sama juga dilakukan penyinaran dengan kV tinggi I dan kV tinggi II dengan nilai penyinaran sesuai dengan perhitungan yang diambil dari kV standar.

#### **4.3.1 Grafik densitas film 1**

Dari hasil bacaan film menggunakan densitometer, pada film 1 yang disinari dengan menggunakan pesawat trophy, menggunakan parameter penyinaran 42 kV dan 6.25 mAs untuk kV standar, 60 kV dan 1 mAs untuk kV tinggi I, 60 kV dan 1.5 mAs untuk kV tinggi II didapat kesimpulan grafik, nilai tertinggi densitas pada daerah yang tidak terdapat stepwedge ( daerah yang langsung disinari ) yaitu 2.89, sedangkan nilai terendah pada daerah yang tidak tersinari sama sekali ( daerah yang ditutupi timbal dan berada diluar daerah kolimasi ) dengan nilai densitas 0.3, daerah ini juga menjadi daerah base fog dari film.



Gambar 4.3. Grafik film 1 disinari menggunakan pesawat trophy, dengan parameter penyinaran sesuai dengan pemeriksaan thorak proyeksi AP (Anteroposterior)

Grafik dengan warna biru adalah grafik nilai densitas pada film yang disinari dengan kV standar, dengan nilai terendah pada step pertama sampai step ke 4 dengan nilai 0.3, mulai naik di step ke 5 dan 6 dan nilai densitasnya naik secara signifikan sampai pada step ke 11 dengan nilai densitas tertinggi 2.69, Jenis grafik densitasnya naik tajam ( tidak landai ).

Grafik dengan warna merah adalah grafik nilai densitas pada film yang disinari dengan kV tinggi I, dengan nilai terendah pada step pertama dengan nilai 0.32, nilai densitasnya naik secara perlahan sampai step ke 5, dan nilai densitasnya naik secara signifikan sampai pada step ke 11 dengan nilai densitas 2.52. Jenis grafik densitasnya naik dengan landai dibandingkan grafik pada kV standar

Grafik dengan warna hijau adalah grafik nilai densitas pada film yang disinari dengan kV tinggi II, dengan nilai terendah pada step pertama dengan

nilai 0.37, nilai densitasnya naik secara perlahan sampai step ke 3, dan nilai densitasnya naik secara signifikan sampai pada step ke 11 dengan nilai densitas 2.8. Jenis grafik densitasnya naik dengan landai dibandingkan grafik pada kV standar

Dari ketiga grafik tersebut memiliki nilai densitas tertinggi yang mendekati sama, berturut-turut 2.69, 2.52 dan 2.8. dengan nilai densitas terendah masing-masing 0.3, 0.32 dan 0.37.

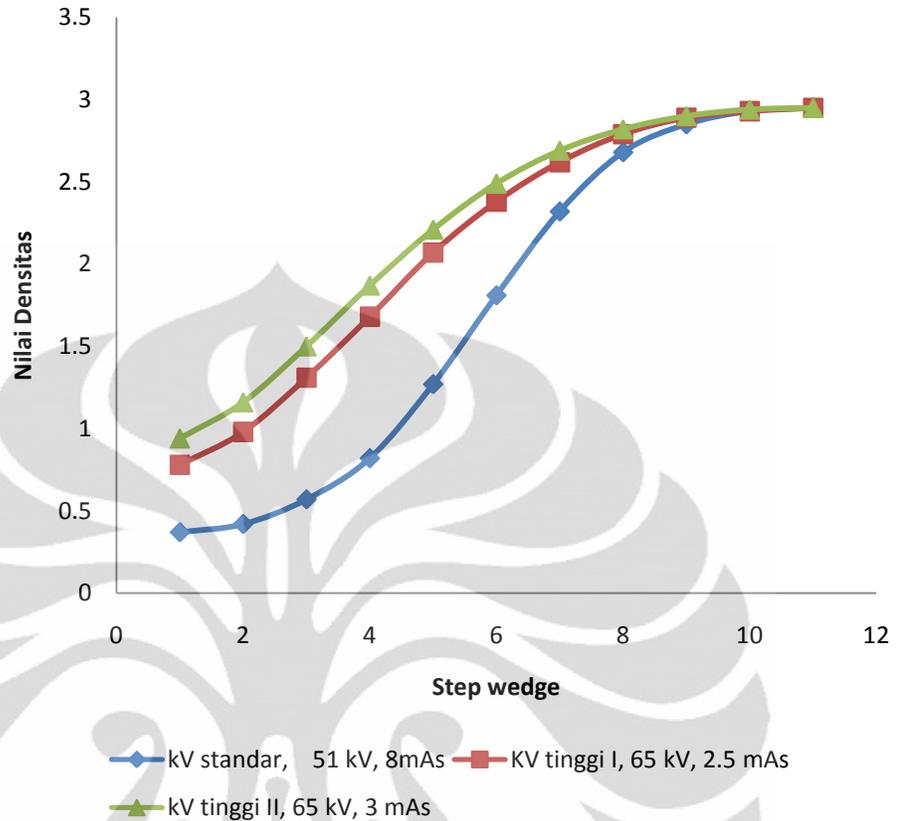
Tabel 4.8. Nilai densitas dengan stepwedge pada pesawat trophy

Step	Parameter standar	kV tinggi I	kV tinggi II
Nilai terendah	0.3	0.32	0.37
Nilai tertinggi	2.69	2.52	2.8
Rentang	2.39	2.2	2.43

Densitas tertinggi yang dimiliki ketiga teknik hampir sama, dimana nilainya mendekati nilai densitas maksimal film yaitu 2,89. Sedangkan nilai densitas terendah masing-masing teknik mendekati nilai densitas minimal film yaitu 0,3. Dengan 3 rentang grafik densitas yang terbentuk memiliki nilai yang hampir sama. Akan tetapi rentang grafik nilai densitas kV tinggi I lebih mendekati grafik nilai densitas yang dihasilkan oleh kV standar.

#### 4.3.2 Grafik densitas film 2

Dari perhitungan dengan menggunakan densitometer pada film 2 yang disinari dengan menggunakan pesawat trophy, dengan nilai penyinaran 55 kV dan 8 mAs untuk kV standar, 65 kV dan 2.5 mAs untuk kV tinggi I, 65 kV dan 3 mAs untuk kV tinggi II didapat kesimpulan grafik, nilai tertinggi densitas pada daerah yang tidak terdapat stepwedge (daerah yang langsung disinari) yaitu 2.99, sedangkan nilai terendah pada daerah yang tidak tersinari sama sekali ( daerah yang ditutupi timbal dan berada diluar daerah kolimasi ) dengan nilai densitas 0.3, daerah ini juga menjadi daerah base fog dari film.



Gambar 4.4. Grafik film 2 yang disinari menggunakan pesawat trophy, dengan parameter penyinaran sesuai dengan pemeriksaan thorak proyeksi lateral

Grafik dengan warna biru adalah grafik nilai densitas pada film yang disinari dengan kV standar, nilai terendah pada step pertama dengan nilai 0.37, nilai densitasnya naik secara perlahan sampai pada step ke 3, naik secara signifikan sampai step ke-10 dinilai densitas 2.93, dan berakhir pada densitas tertinggi 2.95.

Grafik dengan warna merah adalah grafik nilai densitas pada film yang disinari dengan kV tinggi I, dengan nilai terendah pada step pertama dengan nilai 0.78, dan nilai densitasnya naik secara signifikan sampai step ke 8 dengan nilai densitas 2.79, dari step ke-9 sampai 11 nilai densitas naik secara perlahan, dengan nilai 2.95 pada step terakhir di step ke-11.

Grafik dengan warna hijau adalah grafik nilai densitas pada film yang disinari dengan teknik penyinaran kV tinggi II, dengan nilai terendah pada step pertama dengan nilai 0.94, nilai densitasnya naik secara signifikan sampai step ke 8 dengan nilai densitas 2.82, pada step 9 nilai densitas naik secara perlahan hingga step ke-11 dengan nilai 2.95.

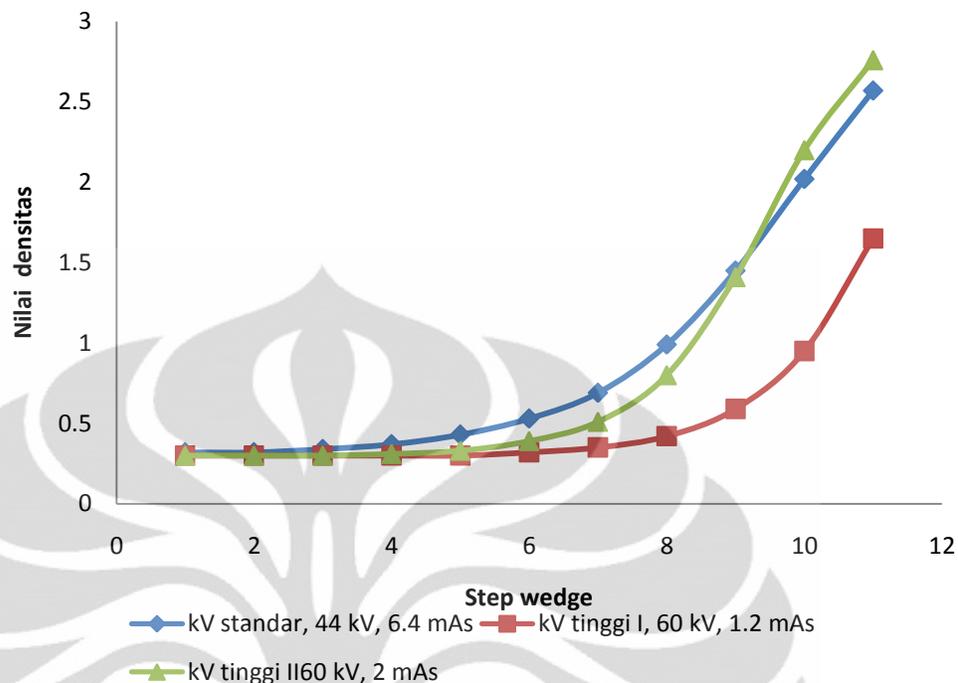
Dari ketiga grafik gambar 2 maka pada teknik penyinaran kV tinggi I memiliki rentang grafik yang mendekati rentang grafik yang dimiliki kV standar.

Dari dua grafik densitas film yang disinari dengan menggunakan pesawat trophy, maka dapat terlihat bahwa grafik pada pemeriksaan dengan menggunakan standar memiliki bentuk paling curam, sehingga kontras yang dihasilkan menjadi lebih tinggi. Untuk kV tinggi I dan II, grafik yang dihasilkan cenderung melandai, terutama dibandingkan dengan film pada teknik penyinaran kV standar, Sehingga densitas pada masing-masing step terdistribusi dengan merata. Hal ini akan menyebabkan kontras yang terbentuk menjadi lebih rendah.

Grafik rentang densitas kV tinggi I lebih mendekati grafik rentang densitas kV standar. Sehingga penyinaran dengan menggunakan kV tinggi I, diharapkan akan lebih menghasilkan densitas maupun kontras yang hampir sama, dengan densitas maupun kontras yang dihasilkan oleh penyinaran dengan menggunakan kV standar.

### **4.3.3 Grafik densitas film 3**

Dari perhitungan dengan menggunakan densitometer pada film 3 yang disinari dengan menggunakan pesawat siemens, dengan parameter penyinaran 44 kV dan 6.4 mAs untuk kV standar, 60 kV dan 1.25 mAs untuk kV tinggi I, 66 kV dan 2 mAs untuk kV tinggi II didapat kesimpulan grafik, nilai tertinggi densitas pada daerah yang tidak terdapat stepwedge ( daerah yang langsung disinari ) yaitu 2.89, sedangkan nilai terendah pada daerah yang tidak tersinari sama sekali (daerah yang ditutupi timbal dan berada diluar daerah kolimasi ) dengan nilai densitas 0.3, daerah ini juga menjadi daerah base fog dari film.



Gambar 4.. Grafik f6ilm 3 yang disinari menggunakan pesawat siemens, dengan parameter penyinaran sesuai dengan pemeriksaan thorak proyeksi AP (Anteroposterior)

Grafik dengan warna biru adalah grafik nilai densitas pada film yang disinari dengan kV standar, nilai terendah pada step pertama sampai step ke 2 dengan nilai 0.32, nilai densitasnya naik secara perlahan sampai pada step 6, naik secara signifikan sampai step ke 11 dengan nilai densitas 2.57, Jenis grafiknya naik tajam ( tidak landai ).

Grafik dengan warna merah adalah grafik nilai densitas pada film yang disinari dengan kV tinggi I, nilai terendah pada step pertama hingga step ke 5 dengan nilai densitas 0.3, nilai densitasnya naik secara perlahan sampai pada step 9, naik secara signifikan sampai step 11 dengan nilai densitas 1.65. Jenis grafiknya naik dengan landai dibandingkan grafik pada kV standar

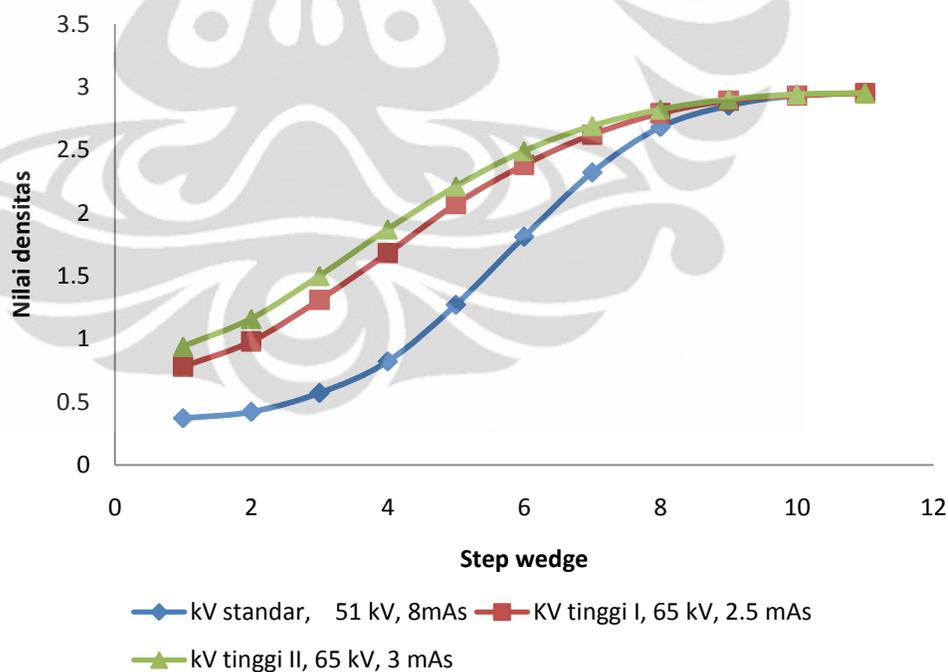
Grafik dengan warna hijau adalah grafik nilai densitas pada film yang disinari dengan teknik penyinaran kV tinggi II, nilai terendah pada step pertama hingga step ke-3 dengan nilai 0.3 nilai densitasnya naik secara perlahan sampai pada step ke 6, naik secara signifikan sampai step 11 dengan

nilai densitas 2.76. Jenis grafiknya hampir sama seperti yang dihasilkan pada kV standar

Dari ketiga grafik gambar 2 maka pada kV tinggi II memiliki rentang grafik yang mendekati rentang grafik yang dimiliki teknik penyinaran kV standar.

#### 4.3.2 Grafik densitas film 4

Dari perhitungan dengan menggunakan densitometer pada film 4 yang disinari dengan menggunakan pesawat siemens, dengan parameter penyinaran 55 kV dan 8 mAs untuk teknik penyinaran kV standar, 66 kV dan 3.4 mAs untuk kV tinggi I, 65 kV dan 4 mAs untuk kV tinggi II didapat kesimpulan grafik, nilai tertinggi densitas pada daerah yang tidak terdapat stepwedge (daerah yang langsung disinari ) yaitu 2.99, sedangkan nilai terendah pada daerah yang tidak tersinari sama sekali (daerah yang ditutupi timbal dan berada diluar daerah kolimasi) dengan nilai densitas 0.3, daerah ini juga menjadi daerah base fog dari film.



Gambar 4.7. Grafik film 3 yang disinari menggunakan pesawat siemens, dengan parameter penyinaran sesuai dengan pemeriksaan Thorak proyeksi lateral

Grafik dengan warna biru adalah grafik nilai densitas pada film yang disinari dengan penyinaran kV standar, dengan nilai terendah pada step pertama dengan nilai 0.5, nilai densitasnya naik secara perlahan sampai pada step ke 3, naik secara signifikan sampai step ke-10 dengan nilai densitas 2.94, nilai densitasnya naik secara perlahan sampai ke 11 dengan nilai densitas tertinggi 2.98. Jenis grafiknya naik tajam ( tidak landai ).

Grafik dengan warna merah adalah grafik nilai densitas pada film yang disinari dengan kV tinggi I, nilai terendah pada step pertama dengan nilai 1.1, nilai densitasnya naik signifikan sampai step ke 6 dengan nilai densitas 2.78, , nilai densitasnya naik secara perlahan sampai ke 11 dengan nilai 2.97 .

Grafik dengan warna hijau adalah grafik nilai densitas pada film yang disinari dengan kV tinggi II, dengan nilai terendah pada step pertama dengan nilai 0.81, nilai densitasnya naik signifikan sampai step ke 7 dengan nilai densitas 2.62, nilai densitasnya naik secara perlahan sampai ke 11 dengan nilai densitas 2.98. Jenis grafiknya hampir sama seperti yang dihasilkan pada kV standar

Dari ketiga grafik gambar 2 maka pada kV tinggi I memiliki rentang grafik yang mendekati rentang grafik yang dimiliki teknik penyinaran kV standar.

Dari grafik densitas film yang disinari dengan menggunakan pesawat siemens, maka dapat terlihat bahwa grafik pada pemeriksaan dengan menggunakan standar memiliki bentuk paling curam, sehingga kontras yang dihasilkan menjadi lebih tinggi. Untuk kV tinggi I dan II, grafik yang dihasilkan cenderung melandai, terutama dibandingkan dengan film pada teknik penyinaran kV standar, Sehingga densitas pada masing-masing step terdistribusi dengan merata. Hal ini akan menyebabkan kontras yang terbentuk menjadi lebih rendah.

Grafik rentang densitas kV tinggi II lebih mendekati grafik rentang densitas kV standar. Sehingga penyinaran dengan menggunakan kV tinggi II diharapkan akan lebih

menghasilkan densitas maupun kontras yang hampir sama dengan densitas maupun kontras yang dihasilkan oleh penyinaran dengan menggunakan kV standar.

#### 4.4 Perbandingan incident air kerma pada teknik kV standar dengan teknik kV tinggi

Nilai incident air kerma bisa didapatkan dari data uji kesesuaian pesawat radiografi, yang diolah sehingga didapatkan parameter linieritas dosis dengan nilai mAs, dan nilai keluaran terhadap tegangan ( kV ).

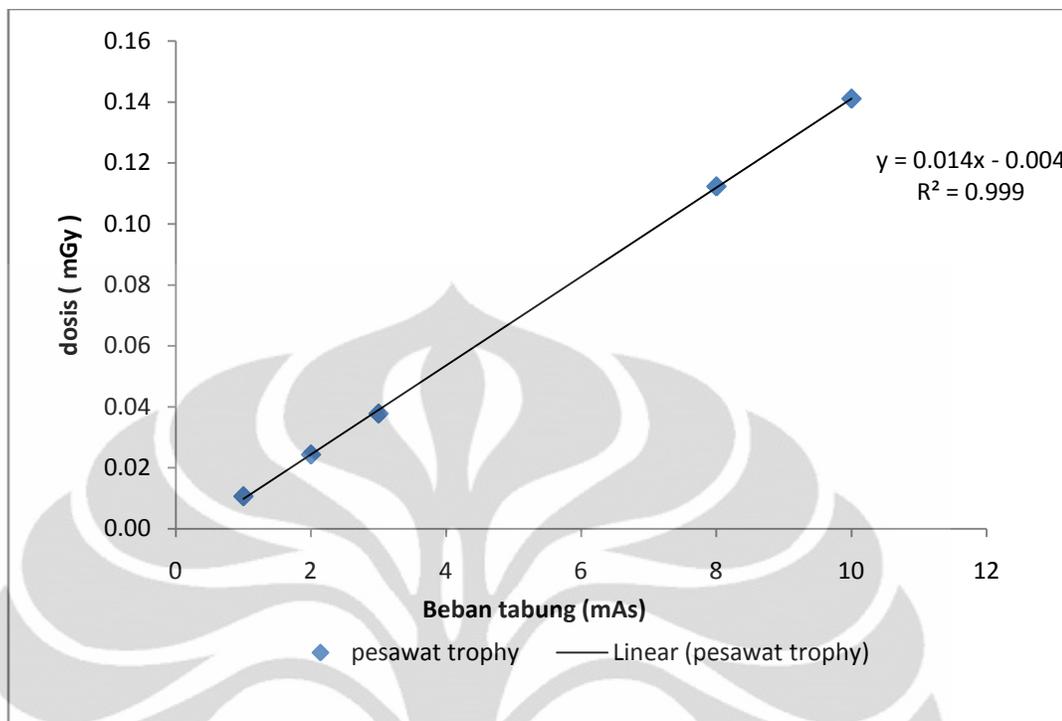
##### 4.4.1. Parameter linieritas dosis terhadap mAs

Untuk mendapatkan hubungan linieritas dosis terhadap mAs, menggunakan data uji kesesuaian pesawat radiografi, baik pada pesawat trophy maupun pesawat Siemens (lampiran 1).

Tabel 4.9. Linieritas dosis terhadap mAs pada pesawat trophy

Tegangan tabung (kV)	Beban Tabung (mAs)	Waktu (s)	Beban Tabung (mAs)	dosis	output
		terbaca	terbaca	( mGy )	( mGy/mAs )
44	1	0.00	1.08	0.01	0.01
44	2	0.01	2.11	0.02	0.01
44	3	0.01	3.08	0.04	0.01
44	8	0.03	9.83	0.11	0.01
44	10	0.04	9.83	0.14	0.01

Dari tabel, tegangan pesawat trophy diberikan konstan pada 44 kV, dengan memberikan variasi mAs menghasilkan nilai keluaran (output dalam mGy/mAs) yang hampir sama yaitu 0.01 mGy/mAs, dan nilai dosis yang berbeda. Nilai keluaran (output) dan nilai kV yang cenderung konstan, maka nilai dosis dipengaruhi oleh mAs yang digunakan. Hubungan mAs yang digunakan dengan dosis pada pesawat trophy diperlihatkan pada grafik



Gambar 4.8. Grafik mAs terhadap dosis pesawat trophy

Dari grafik terlihat bahwa nilai dosis naik secara linier terhadap kenaikan mAs dengan persamaan garis :

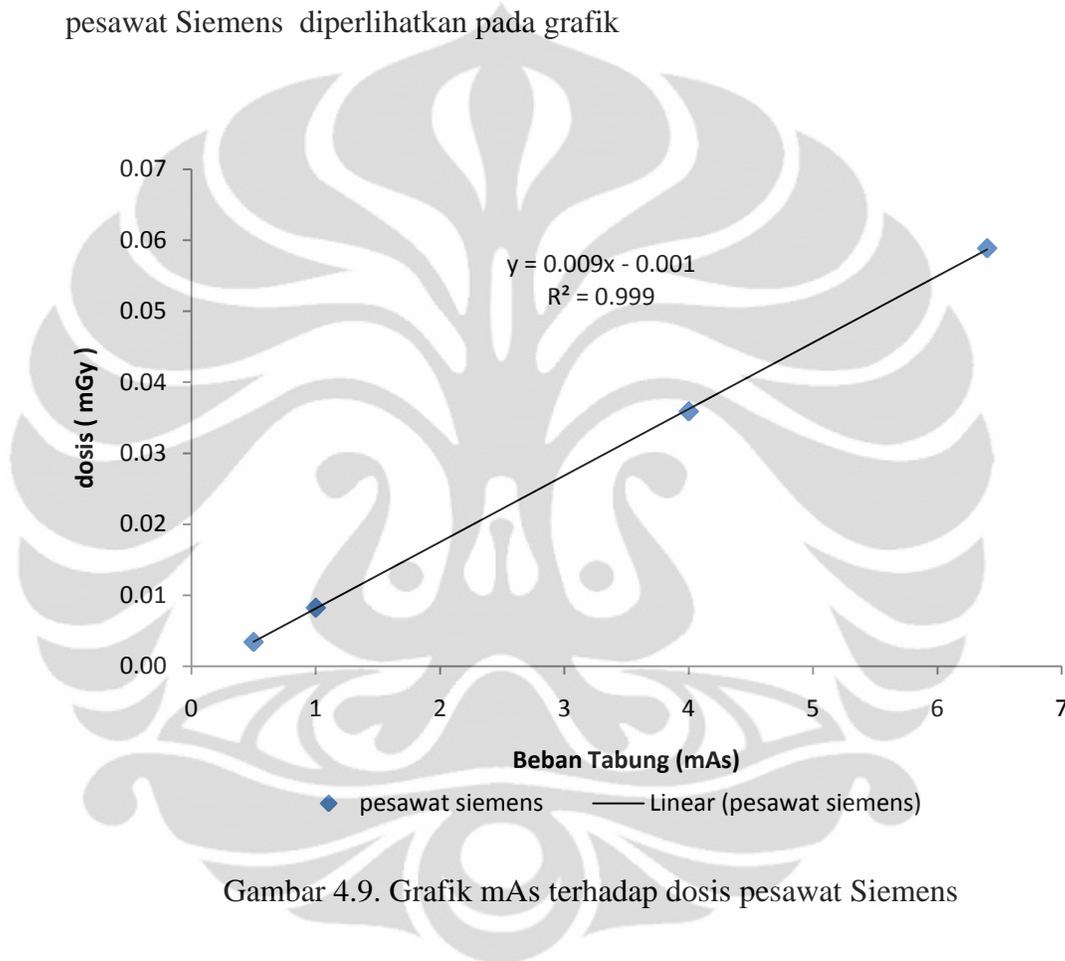
$$y = 0.014x - 0.004 \quad (4.3)$$

Dengan nilai koefisien korelasi  $R^2 = 0.999$ , nilai keluaran (output) yang cenderung konstan, memperkuat linieritas hubungan mAs dengan dosis pada pesawat radiografi trophy. Dari data uji kesesuaian pada pesawat Siemens, didapat data hubung linieritas dosis terhadap mAs, seperti pada tabel :

Tabel 4.10. Linieritas dosis terhadap mAs pada pesawat trophy

Tegangan Tabung (kV)	Beban tabung (mAs)	Waktu (s)	dosis	output
		terbaca	( mGy )	( mGy/mAs )
44	0.5	0.01	0.00	0.01
44	1	0.01	0.01	0.01
44	4	0.03	0.04	0.01
44	6.4	0.05	0.06	0.01

Dari tabel, tegangan pesawat Siemens yang konstan pada 44 kV, dengan memberikan variasi mAs menghasilkan nilai keluaran (output dalam mGy/mAs) yang hampir sama yaitu 0.01 mGy/mAs, dan nilai dosis yang berbeda. Dari nilai keluaran (output) dan nilai kV yang cenderung konstan, maka nilai dosis dipengaruhi oleh mAs yang digunakan. Hubungan mAs yang digunakan dengan dosis pada pesawat Siemens diperlihatkan pada grafik



Gambar 4.9. Grafik mAs terhadap dosis pesawat Siemens

Dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai dosis naik secara linier terhadap kenaikan mAs dengan persamaan garis :

$$y = 0.009x - 0.001 \quad (4.4)$$

Dengan nilai koefisien korelasi  $R^2 = 0.999$ , nilai keluaran (output) yang cenderung konstan, memperkuat linieritas hubungan mAs dengan dosis pada pesawat Siemens.

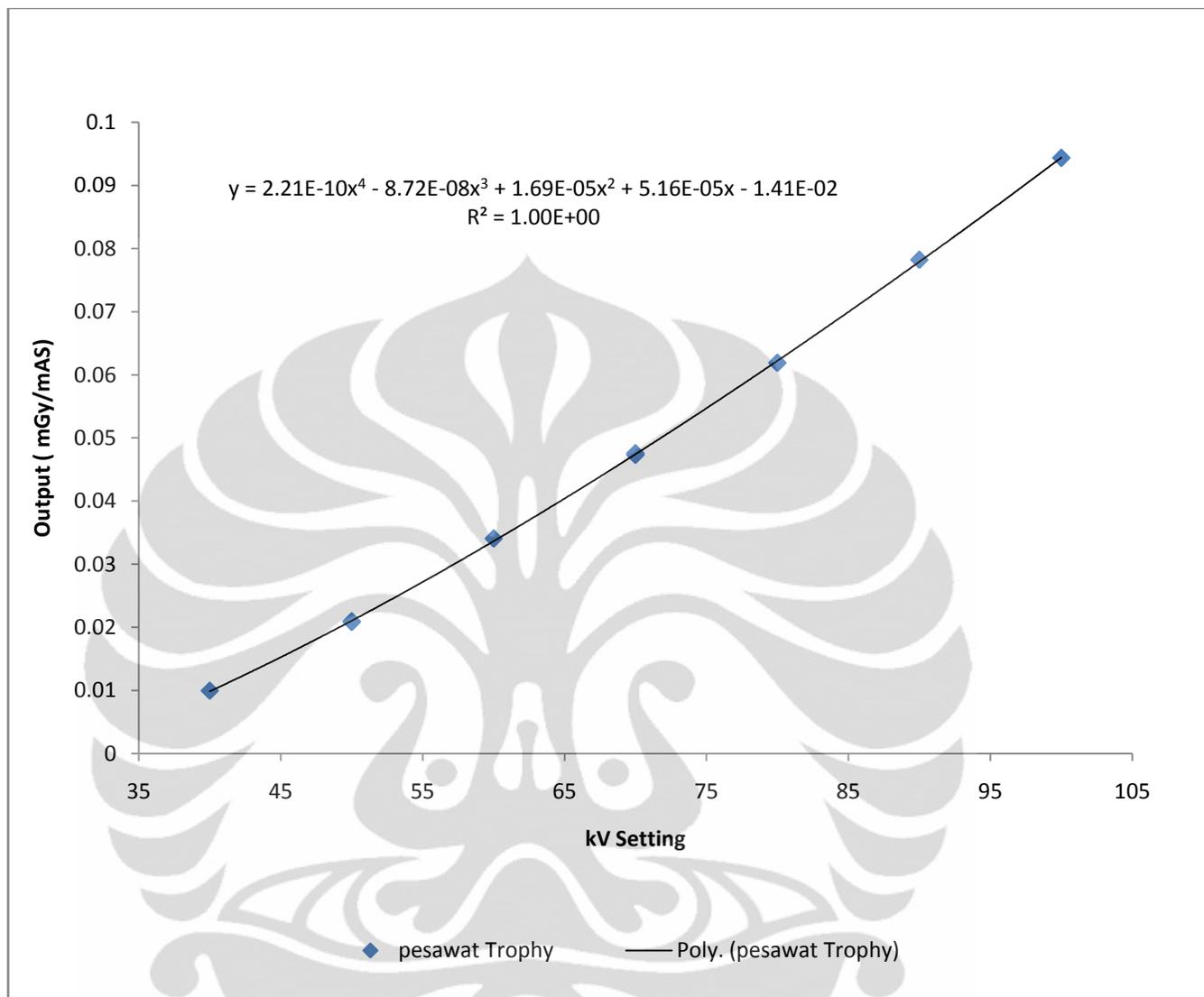
#### 4.4.2 Parameter nilai keluaran ( output ) terhadap tegangan ( kV )

Untuk mendapatkan hubungan nilai keluaran ( output ) terhadap kV, didapat dari data uji kesesuaian pesawat radiografi, baik pada pesawat trophy maupun pesawat Siemens. Data pesawat trophy yang diambil bervariasi dengan rentang 10 kV mulai tegangan 40 kV sampai 100 kV, dengan menggunakan 8 mAs pada keseluruhan penyinaran.

Tabel 4.11. Nilai keluaran (output) terhadap tegangan pada pesawat trophy

parameter penyinaran				Hasil Pengukuran			
Tegangan tabung (kV)	Arus Tabung (mA)	Waktu (mS)	Beban Tabung (mAs)	Tegangan tabung (kV)	Waktu (mS)	dosis	output ( kerma )
						( mGy )	(mGy/mAs)
40	250	0.03	8	39.234	0.032	0.080	0.010
50	250	0.03	8	49.329	0.032	0.167	0.021
60	250	0.03	8	59.110	0.032	0.272	0.034
70	250	0.03	8	68.133	0.032	0.378	0.047
80	250	0.03	8	79.895	0.032	0.495	0.062
90	250	0.03	8	90.383	0.033	0.626	0.078
100	250	0.03	8	100.975	0.033	0.755	0.094

Dari tabel terlihat bahwa nilai keluaran (output) yang dihasilkan dipengaruhi tegangan yang digunakan. Untuk nilai mAs yang sama kenaikan nilai tegangan akan meningkatkan nilai keluaran (output) dan dosis . Hubungan nilai keluaran (output) dengan tegangan yang diberikan diperlihatkan oleh grafik



Gambar 4.10 Grafik tegangan terhadap nilai keluaran (output) pesawat trophy

Dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai keluaran (output) tidak naik secara linier terhadap kenaikan tegangan, namun sesuai dengan persamaan garis :

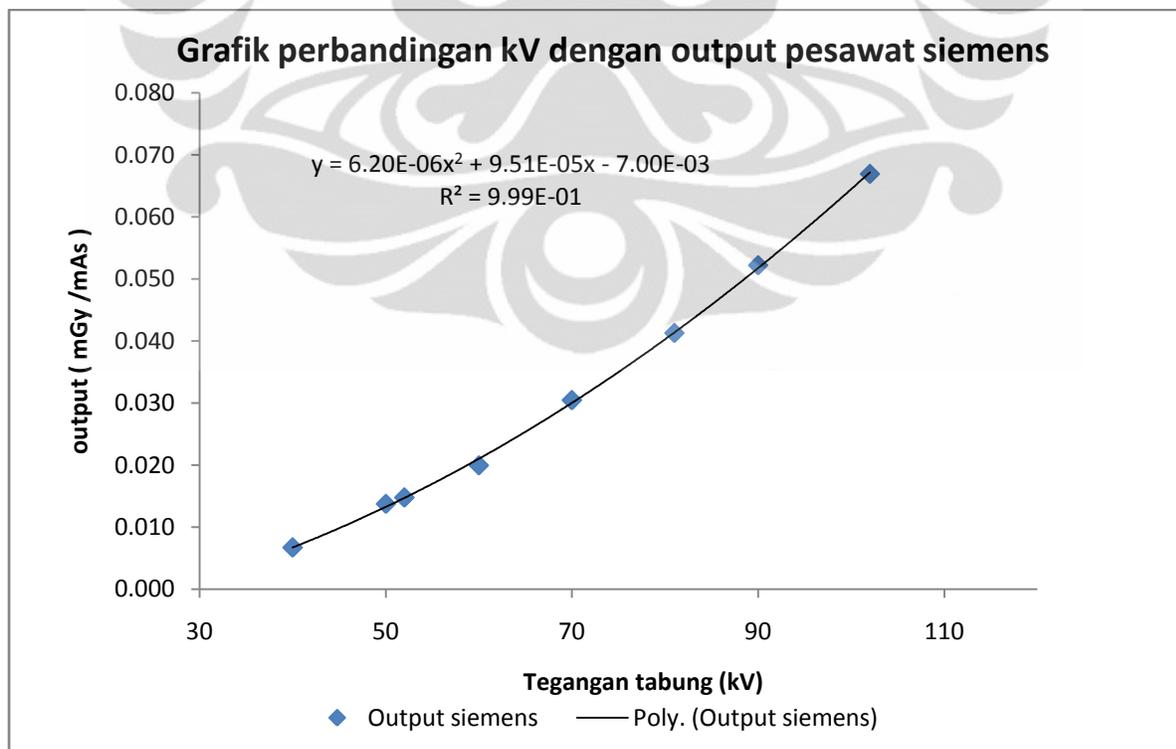
$$Y = 2.21E-10x^4 - 8.72E-08x^3 + 1.69E-05x^2 + 5.16E-05x - 0.014 \quad (4.5)$$

Dengan persamaan garis ini maka dapat digunakan untuk menghitung nilai keluaran (output) disetiap nilai tegangan yang diberikan saat melakukan penyinaran pada pesawat trophy. Sedangkan untuk pesawat Siemens data yang diambil dengan rentang 10 kV bervariasi mulai tegangan dari 40 kV sampai dengan 102 kV, mAs. dengan menggunakan 6.4 mAs pada keseluruhan penyinaran

Tabel 4.12. Nilai keluaran (output ) terhadap tegangan pada pesawat siemens

Parameter penyinaran		Hasil Pengukuran			
Tegangan tabung (kV)	Beban tabung (mAs)	Tegangan tabung (kV)	Waktu (mS)	dosis	output ( kerma )
				( mGy )	(mGy/mAs)
40	6.4	39.313	0.051	0.043	0.007
44	6.4	41.293	0.044	0.059	0.009
50	6.4	48.641	0.042	0.088	0.014
52	6.4	51.415	0.041	0.094	0.015
60	6.4	58.741	0.036	0.128	0.020
70	6.4	68.100	0.042	0.195	0.030
81	6.4	82.137	0.046	0.264	0.041
90	6.4	90.606	0.051	0.334	0.052
102	6.4	103.043	0.060	0.428	0.067

Dari tabel terlihat bahwa nilai keluaran (output) yang dihasilkan dipengaruhi tegangan yang digunakan. Untuk nilai mAs yang sama kenaikan nilai tegangan akan meningkatkan nilai keluaran (output) dan dosis. Hubungan nilai keluaran (output) dengan tegangan yang diberikan diperlihatkan oleh grafik



Gambar 4.11. Grafik tegangan terhadap nilai keluaran ( output ) pesawat Siemens

Dari grafik tersebut terlihat bahwa nilai keluaran ( output ) tidak naik secara linier terhadap kenaikan tegangan, namun sesuai dengan persamaan garis :

$$Y = 6.20E-06x^2 + 9.51E-05x - 0.007 \quad (4.6)$$

Dengan persamaan garis ini maka dapat digunakan untuk menghitung nilai keluaran (output), pada setiap nilai tegangan yang diberikan saat melakukan penyinaran pada pesawat siemens.

#### 4.4.3 Pengukuran dan perbandingan nilai incident air kerma

Dari persamaan nilai keluaran (output) terhadap kenaikan tegangan yang didapat dari pesawat trophy (persamaan 4.1) dan pesawat Siemens (persamaan 4.2), nilai keluaran (output) pada setiap nilai tegangan yang digunakan dapat diketahui. Demikian pula pada tegangan yang digunakan pada kV standar maupun yang digunakan pada kV tinggi, sehingga nilai keluaran ( output ) pesawat maupun dosis yang akan diterima pasien anak dengan kedua teknik tersebut dapat diketahui.

Pada pesawat trophy untuk membandingkan dosis dengan menggunakan kedua teknik penyinaran, baik menggunakan kV standar maupun kV tinggi. Maka digunakan persamaan yang berasal dari nilai keluaran (output) terhadap tegangan pada pesawat trophy

$$Y = 2.21E-10x^4 - 8.72E-08x^3 + 1.69E-05x^2 + 5.16E-05x - 0.014 \quad (4.7)$$

Dengan x adalah nilai tegangan yang digunakan dan y adalah nilai keluaran (output).

Untuk mendapatkan gambaran perbandingan dosis yang dihasilkan pesawat trophy pada kV standard dengan kV tinggi, kita gunakan kondisi penyinaran yang biasa digunakan untuk pemotretan anak, untuk tegangan dengan rentang 40 sampai dengan 56 kV, 6.25 mAs. Dengan FFD 100. Kemudian kita hitung dengan menggunakan rumus

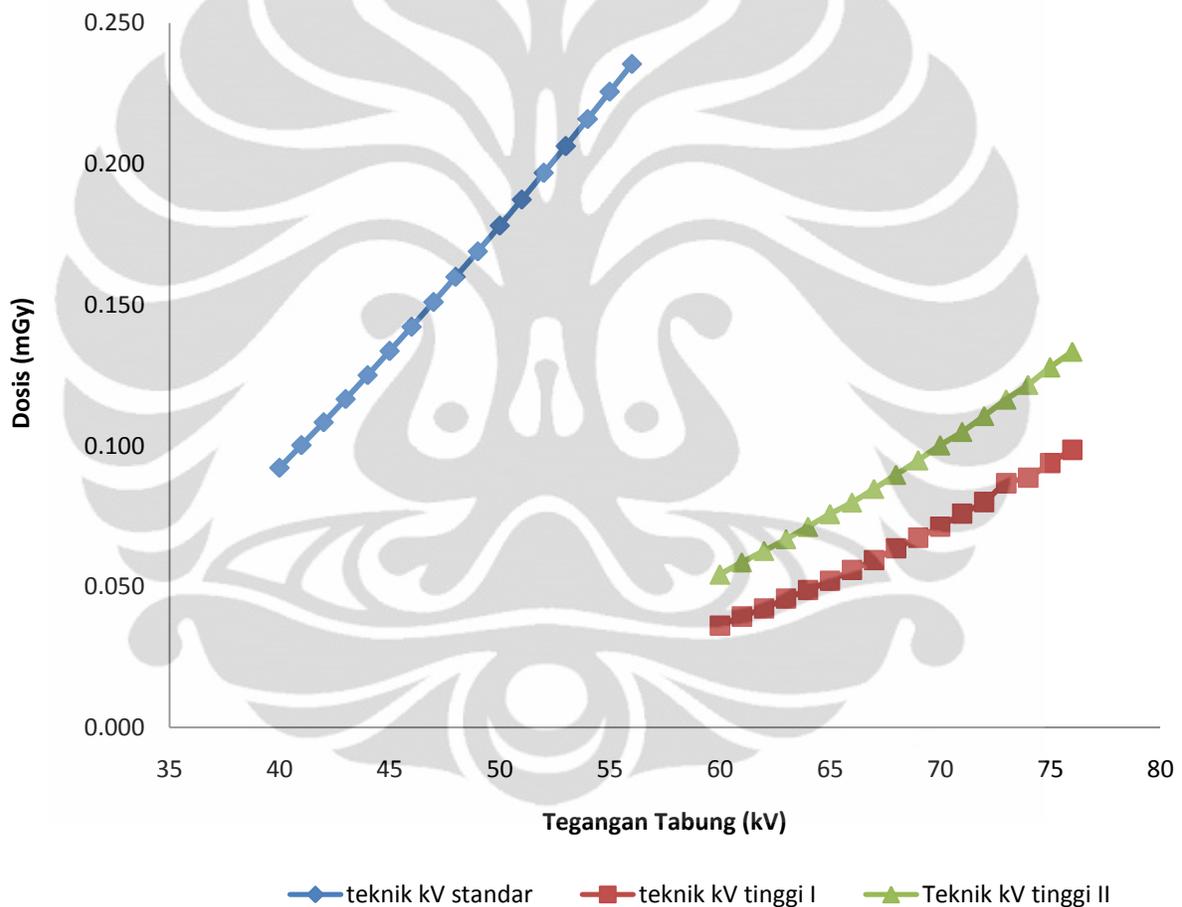
$$\left( \frac{kVp1}{kVp2} \right)^5 \times mAs1 = mAs2$$

Sebagai rumus kV tinggi I untuk mendapatkan nilai mAs baru yang akan digunakan, untuk kV yang digunakan dengan rentang dari 60 sampai dengan 76 kV.

Sebagai perbandingan yang lain kita menggunakan rumus

$$\left(\frac{kVp1}{kVp2}\right)^4 \times mAs1 = mAs2$$

Sebagai rumus kV tinggi II untuk mendapatkan nilai mAs baru yang digunakan, tegangan yang digunakan dengan rentang dari 60 sampai dengan 76 kV. Dari data yang terdapat pada lampiran 5, maka dibuat grafik tegangan yang digunakan terhadap dosis yang dihasilkan



Gambar 4.12. Grafik perbandingan tegangan terhadap incident air kerma pada pesawat trophy, pada kV standar dari 40 kV sampai 54 kV dengan mAs 6,25. kV tinggi I dan 2 dari 60 kV sampai 76 kV dengan mAs mulai dari 0,82 sampai 1,36. sesuai dengan lampiran 5

Berdasarkan pengujian untuk mendapatkan rentang kontras dan nilai densitas dengan menggunakan stepwedge, penggunaan kV tinggi I pada pesawat trophy lebih disarankan ketika melakukan pemeriksaan thorak anak. Dari gambar grafik 22, terlihat perbedaan yang cukup signifikan antara dosis yang dihasilkan oleh kV standar (warna biru/ grafik dengan nilai dosis paling tinggi), dibandingkan kV tinggi I (warna merah/ grafik dengan nilai dosis paling rendah). Jika dilihat dari nilai dosis yang didapat dari perhitungan (lampiran 6), maka penggunaan kV tinggi I dapat menurunkan nilai incident air kerma dari 57,975% hingga 61,007%, dibandingkan ketika menggunakan kV standar.

Pada pesawat Siemens untuk membandingkan dosis dengan menggunakan kedua teknik penyinaran, baik menggunakan kV standar maupun kV tinggi. Maka digunakan persamaan yang berasal dari fungsi keluaran (output) terhadap tegangan pada pesawat siemens

$$Y = 6E-06x^2 + 9E-05x - 0.007 \quad (4.8)$$

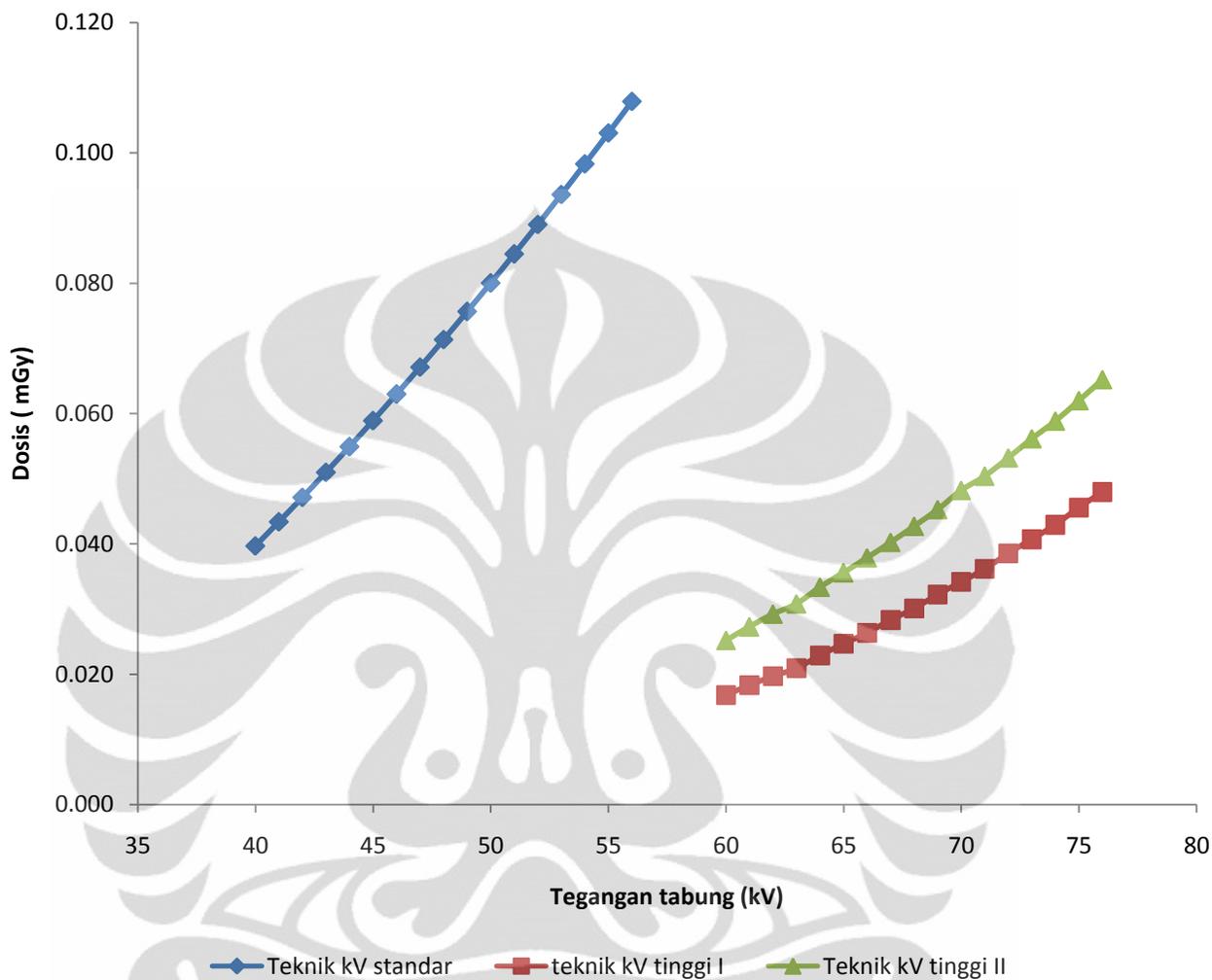
Dengan x adalah nilai tegangan yang digunakan dan y adalah nilai keluaran (output) yang dikeluarkan. Untuk mendapatkan gambaran perbandingan dosis yang dihasilkan pesawat trophy pada kV standard dengan kV tinggi, kita gunakan kondisi penyinaran yang biasa digunakan untuk pemotretan anak, untuk tegangan dengan rentang 40 sampai dengan 56 kV, 6,4 mAs. Dengan FFD 100. Kemudian kita hitung dengan menggunakan rumus

$$\left(\frac{kVp1}{kVp2}\right)^5 \times mAs1 = mAs2$$

Sebagai rumus kV tinggi I untuk mendapatkan nilai mAs baru yang digunakan, kV yang digunakan dengan rentang dari 60 sampai dengan 76 kV. Sebagai perbandingan yang lain kita menggunakan rumus

$$\left(\frac{kVp1}{kVp2}\right)^4 \times mAs1 = mAs2$$

Sebagai rumus kV tinggi II untuk mendapatkan nilai mAs baru yang digunakan, kV yang digunakan dengan rentang dari 60 sampai dengan 76 kV. Dari data yang terdapat pada lampiran 5, maka dibuat grafik tegangan yang digunakan terhadap dosis yang dihasilkan



Gambar 4.13. Grafik perbandingan tegangan terhadap incident air kerma pada pesawat siemens, pada kV standar dari 40 kV sampai 54 kV dengan mAs 6,4. kV tinggi 1 dan 2 dari 60 kV sampai 76 kV dengan mAs mulai dari 0,84 sampai 1,39. sesuai dengan lampiran 5

Berdasarkan pengujian untuk mendapatkan rentang kontras dan nilai densitas dengan menggunakan stepwedge, penggunaan kV tinggi II pada pesawat siemens lebih disarankan ketika melakukan penyinaran pada thorak anak. Dari gambar grafik 23, terlihat perbedaan yang cukup signifikan antara dosis yang dihasilkan oleh kV standar (warna biru/ grafik dengan nilai dosis paling tinggi), dibandingkan kV tinggi II (warna hijau / grafik yang berada pada pertengahan). Jika dilihat dari nilai dosis

yang didapat dari perhitungan ( lampiran 6), maka penggunaan kV tinggi II dapat menurunkan nilai incident air kerma dari 36.492% hingga 40 197%, bila dibandingkan ketika menggunakan kV standar.

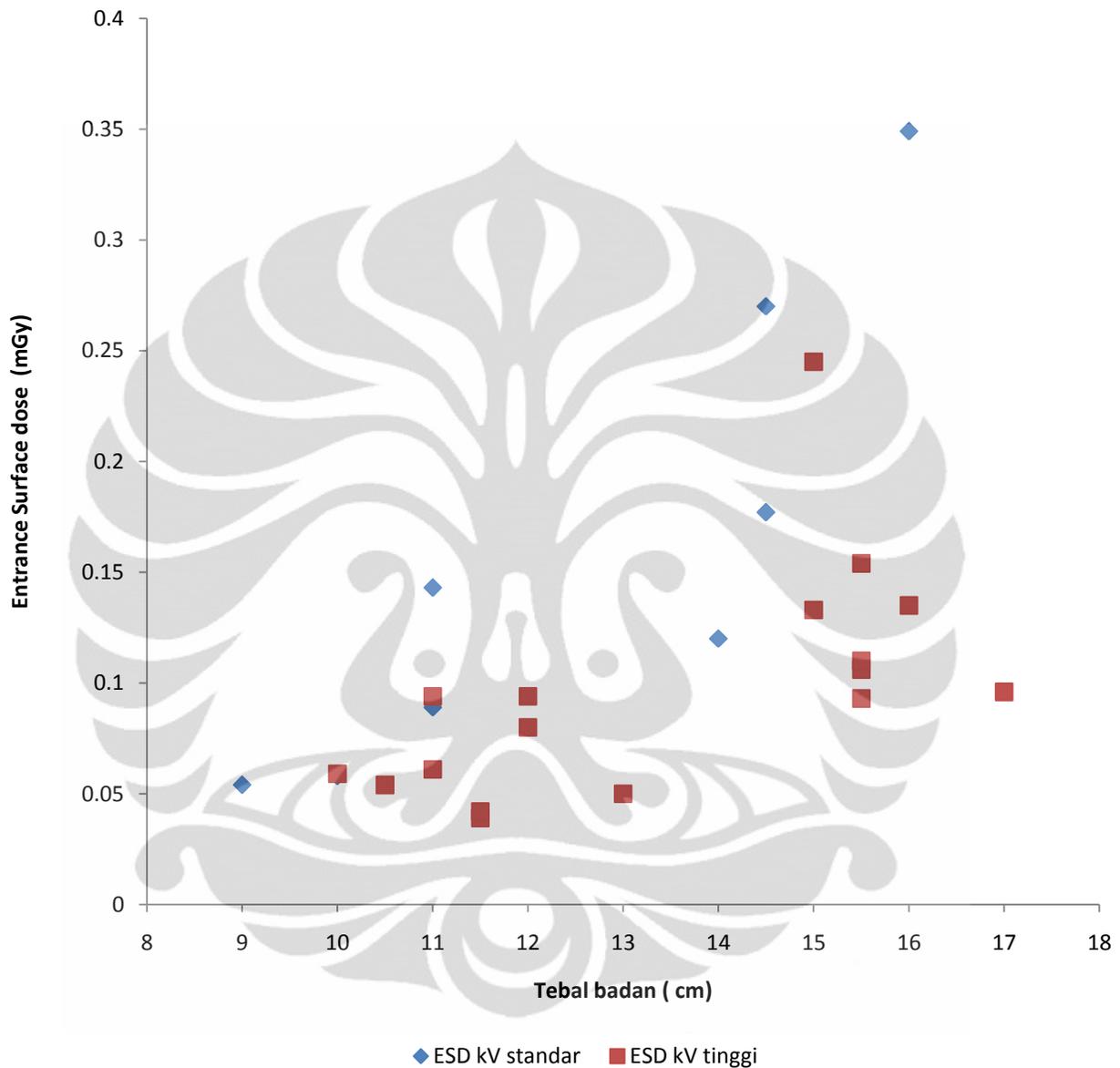
Grafik perbandingan dosis dengan tegangan yang terbentuk baik dari pesawat trophy maupun pesawat Siemens dapat disimpulkan :

- Penggunaan kV tinggi pada pemeriksaan anak mampu menurunkan nilai incident air kerma yang diterima, terlihat dari grafik dimana kV tinggi I dan kV tinggi II menghasilkan rentang dosis lebih rendah, bila dibandingkan dengan kV standard yang menghasilkan rentang dosis paling tinggi
- Dosis yang didapat pada grafik adalah nilai incident air kerma, yang diukur pada FFD 100 cm, sehingga bila untuk FFD yang berbeda dapat dihitung dengan rumus inverse square law.

#### **4.5 Perbandingan Entrance surface dose (ESD) pada kV standard dengan kV tinggi pada rontgen thorak**

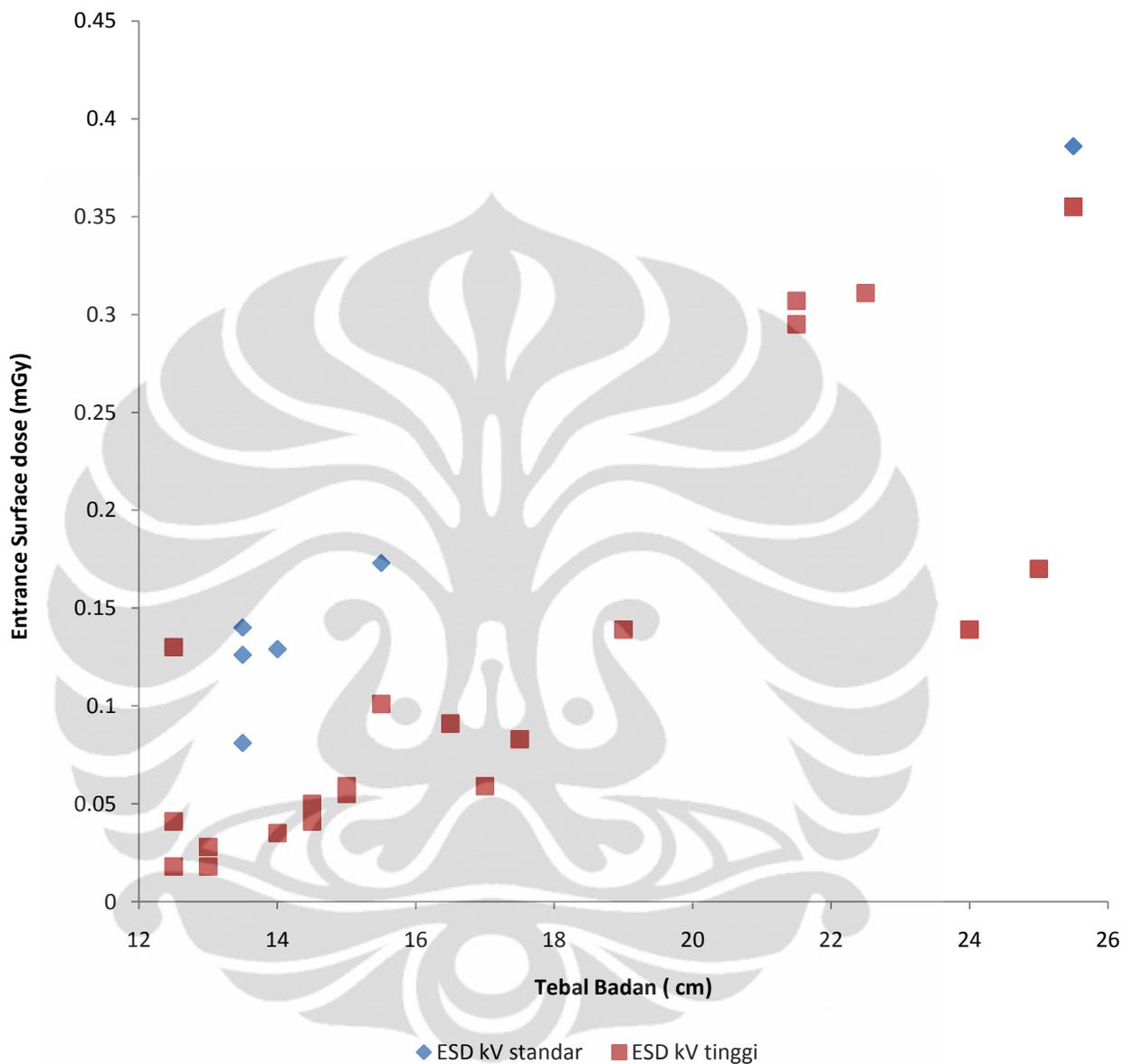
Dari langkah yang telah dipaparkan pada bab III, maka didapatkan data berupa umur anak, berat badan, tinggi badan, faktor eksposi yang digunakan dan Entrance surface dose (ESD) baik kV standar maupun kV tinggi (lampiran 7). Karena pemberian parameter penyinaran berdasarkan ketebalan pasien, maka data diklasifikasikan berdasarkan tebal badan dengan rentang tiap 2 cm.

Berdasarkan data yang didapat dari pemeriksaan thorak anak yang menggunakan pesawat trophy. Nilai ESD terendah dengan nilai 0.042 mGy didapat pada pasien dengan tebal badan paling kecil (dalam rentang 10 - 12 cm) dengan menggunakan kV tinggi. Pada rentang ketebalan yang sama dengan menggunakan kV standard didapat nilai ESD terendah 0.143. Nilai ESD tertinggi dengan nilai 0.349 mGy didapat pada pasien dengan rentang tebal badan 24 – 26 cm , menggunakan kV Standar. Pada rentang ketebalan yang sama dengan menggunakan kV tinggi didapat nilai ESD 0.245.



Gambar 4.14. Grafik ESD hasil pemeriksaan menggunakan pesawat Trophy

Pada keseluruhan rentang tebal badan pasien yang disinari dengan menggunakan pesawat trophy, didapatkan data nilai ESD yang lebih rendah pada pasien thorak anak yang disinari dengan menggunakan kV tinggi, bila dibandingkan dengan nilai ESD pada semua rentang tebal badan thorak anak yang disinari dengan menggunakan kV standar.



Gambar 4.15. Grafik ESD hasil pemeriksaan menggunakan pesawat Siemens

Berdasarkan data yang didapat dari pemeriksaan thorak anak yang menggunakan pesawat siemens. Nilai ESD terendah dengan nilai 0.018 mGy didapat pada pasien dengan tebal badan paling kecil ( dalam rentang 13 – 14 cm ), dengan menggunakan kV tinggi. Pada rentang ketebalan yang sama dengan menggunakan kV standar didapat nilai ESD terendah 0.081. Nilai ESD tertinggi dengan nilai 0.386 mGy didapat pada pasien dengan tebal

badan paling besar ( dalam rentang 24 – 26 cm), dengan menggunakan kV Standar. Pada rentang ketebalan yang sama dengan menggunakan kV tinggi didapat nilai ESD 0.355.

Pada keseluruhan rentang tebal badan pasien yang disinari dengan menggunakan pesawat siemens, didapatkan data nilai ESD yang lebih rendah pada pasien rontgen thorak anak yang disinari dengan menggunakan teknik penyinaran kV tinggi, bila dibandingkan dengan nilai ESD pada semua rentang tebal badan thorak anak yang disinari menggunakan penyinaran kV standar.

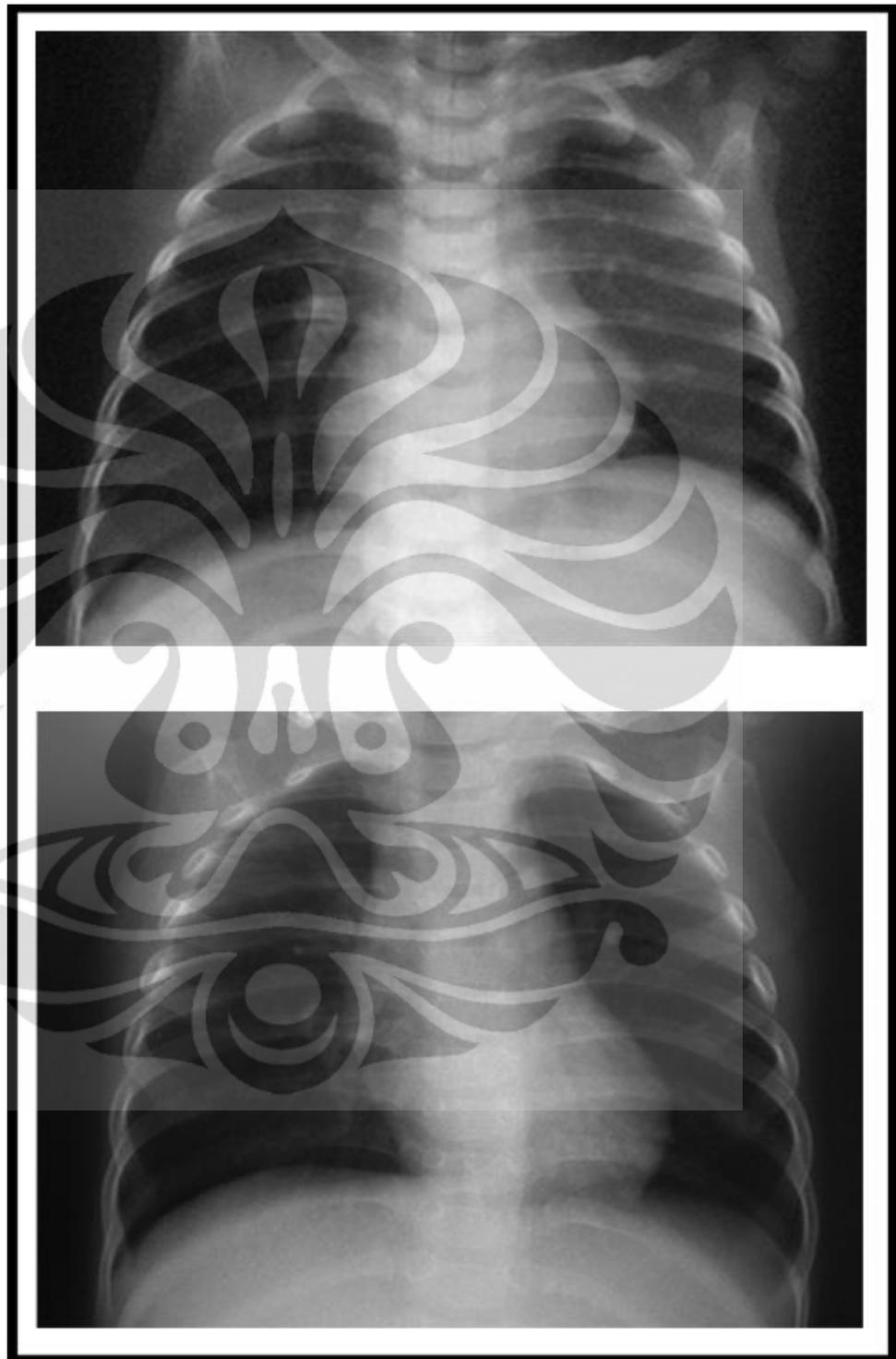
Dari keseluruhan data ESD pemeriksaan thorak anak dengan menggunakan pesawat trophy dan pesawat Siemens, baik dengan menggunakan kV tinggi maupun kV standar. Didapat kesimpulan bahwa pada rentang tebal badan yang sama, nilai ESD yang didapat dari penyinaran thorak anak dengan menggunakan kV tinggi akan lebih rendah dari nilai ESD dengan menggunakan kV standar.

#### **4.6 Perbandingan kontras pada gambaran radiografi thorak anak**

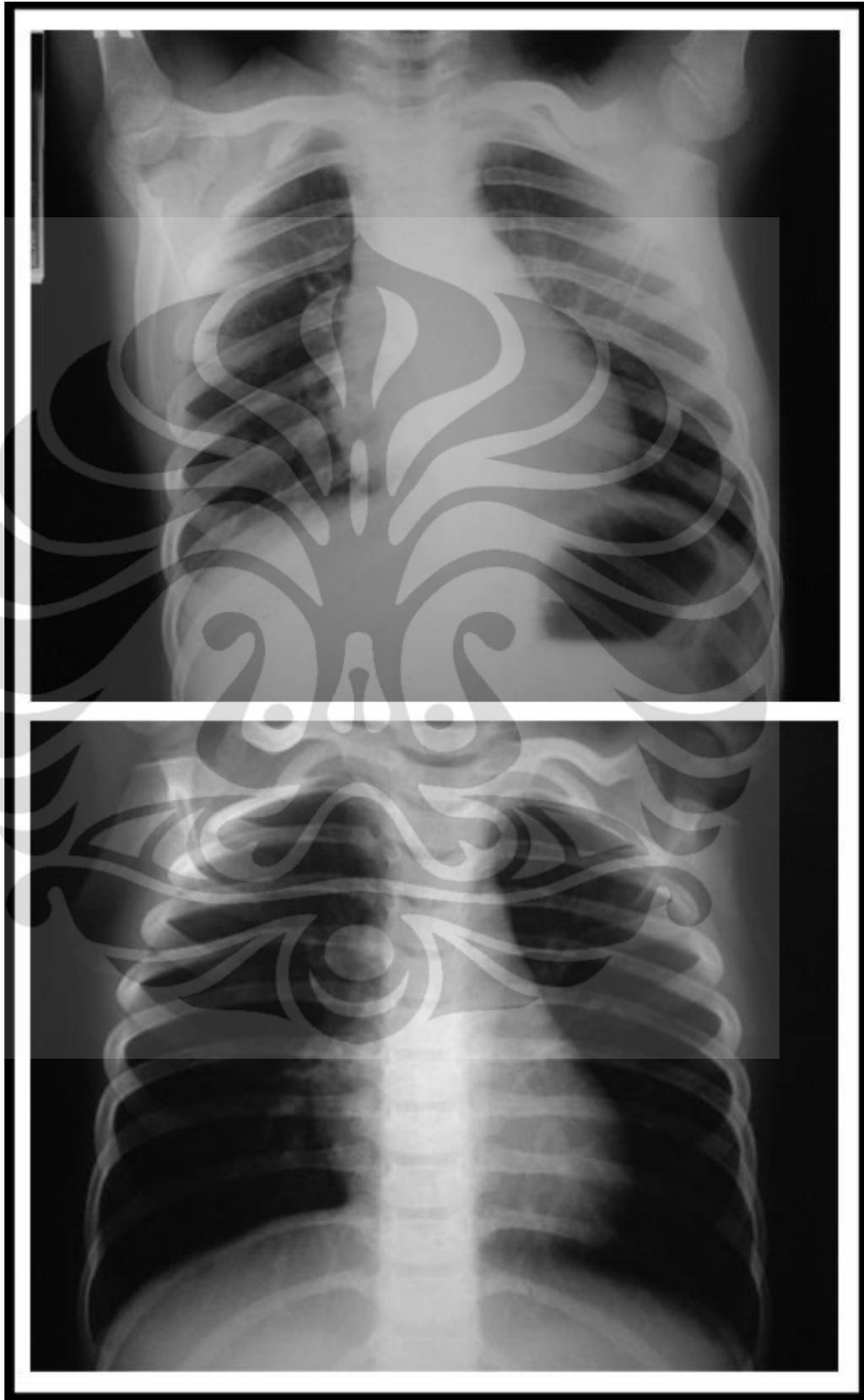
Selama melakukan pengumpulan data di unit pencitraan anak, pemeriksaan thorak anak dilakukan dengan menggunakan kV standar maupun kV tinggi. Satu pasien hanya diperiksa satu kali dengan salah satu teknik saja, dan dikelompokan berdasarkan ketebalan dada pasien. Dari beberapa film radiografi yang dihasilkan dengan menggunakan kV tinggi, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan :

- Secara visual gambaran radiografi thorak anak dengan kV tinggi memiliki kontras yang lebih rendah dibandingkan kontras yang dihasilkan oleh kV standar.
- Pada gambaran radiografi thorak dengan kV tinggi, gambaran bronkus pada paru semakin terlihat. hal ini akan dapat menyebabkan kesalahan interpretasi atau diagnosa dari dokter yang terbiasa membaca hasil gambaran radiografi thorak anak dengan menggunakan kV standar.

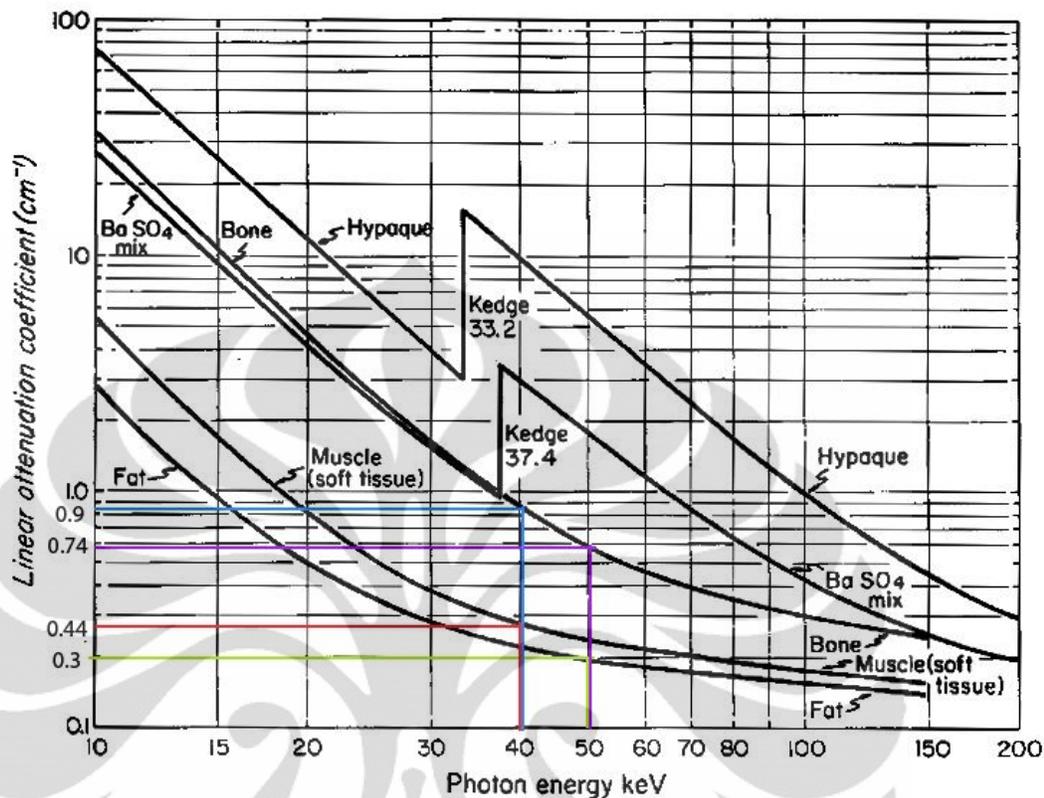
Faktor turunnya kontras gambar secara keseluruhan dan lebih terlihatnya corakan bronkus pada jaringan paru, ini disebabkan oleh semakin besarnya nilai tegangan tabung yang digunakan pada kV tinggi, sehingga akan memperbesar kemampuan daya menembus sinar-x terhadap organ thorak yang dilaluinya, baik pada jaringan paru, jaringan lunak maupun jaringan tulang, sehingga gambaran radiografi yang dihasilkan akan turun kontrasnya.



Gambar 4.16. hasil gambaran radiografi dengan kV standar



Gambar 4.17. Hasil gambaran radiografi dengan kV tinggi



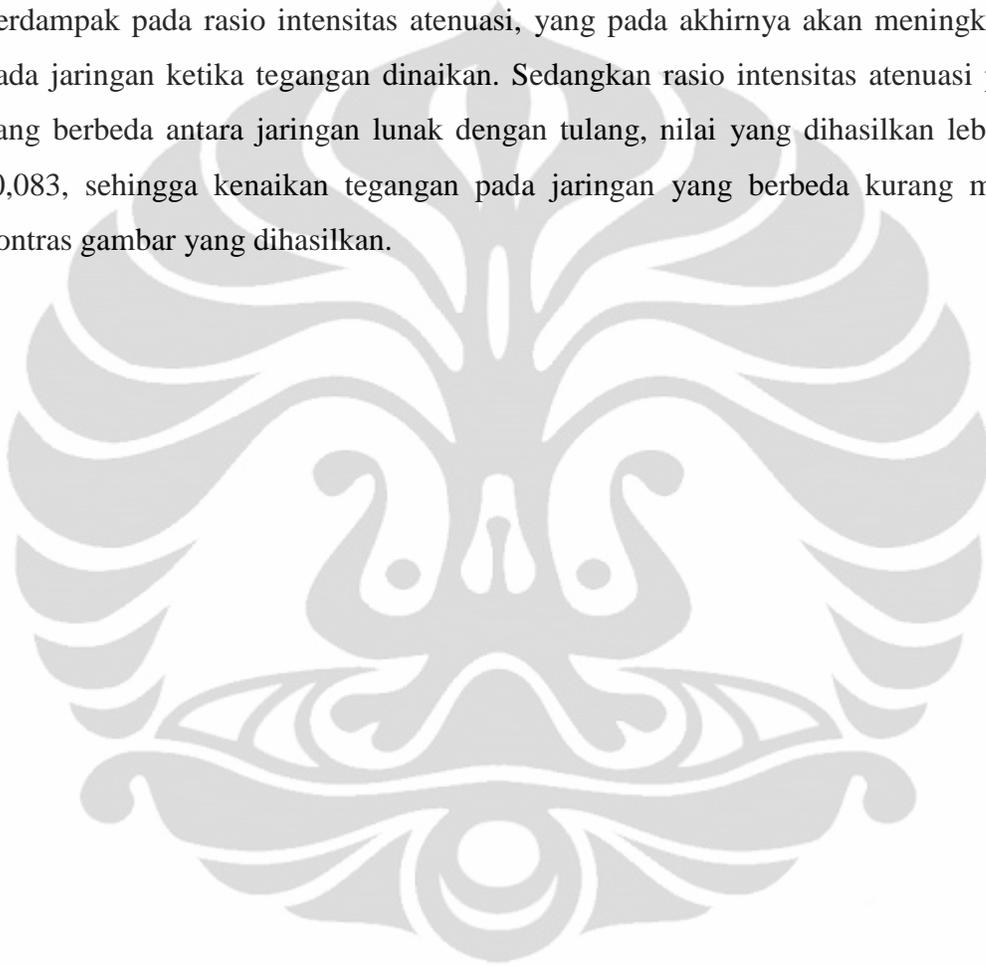
Gambar 4.15. ilustrasi hubungan kenaikan tegangan dengan nilai atenuasi jaringan

Sebagai ilustrasi hubungan kenaikan tegangan dengan nilai atenuasi jaringan dapat dijelaskan dengan menggunakan gambar 4.14, pada energy 40 kV jaringan lunak memiliki nilai atenuasi 0,44, tulang memiliki nilai atenuasi 0.9, pada energy 50 kV jaringan lunak memiliki nilai atenuasi 0,3 dan pada tulang memiliki nilai atenuasi 0,74. Bila di hubungkan antara intensitas atenuasi jaringan lunak dengan tulang yang terbentuk, pada kV 40 rasio intensitas atenuasi jaringan lunak terhadap tulang adalah 0,488 ( $0,44/0,9$ ), pada kV 50 rasio intensitas atenuasi jaringan lunak terhadap tulang adalah 0,405 ( $0,3/0,74$ ), dari hal tersebut maka selisih rasio intensitas atenuasi yang terbentuk ketika tegangan dinaikan dari 40 kV menjadi 50 kV adalah -0,083.

Intensitas atenuasi jaringan yang sama pada tegangan yang berbeda dapat dihitung. Rasio intensitas atenuasi jaringan lunak pada tegangan 40 kV terhadap jaringan lunak pada tegangan 50 kV adalah 1,466( $0,44/0,3$ ), Rasio intensitas atenuasi tulang pada tegangan 40 kV terhadap tulang pada tegangan 50 kV adalah 1,216 ( $0,9/0,74$ ), dari hal tersebut maka

selisih intensitas atenuasi yang terbentuk pada jaringan yang sama dengan tegangan yang dinaikan dari 40 kV menjadi 50 kV adalah 0,25

Dari hal tersebut dapat diambil kesimpulan pada jaringan yang sama bila tegangan dinaikan dari 40 kV menjadi 50 kV, maka rasio intensitas atenuasi memiliki nilai yang besar yaitu 0,25, sehingga pada jaringan yang sama kenaikan tegangan akan sangat berdampak pada rasio intensitas atenuasi, yang pada akhirnya akan meningkatkan kontras pada jaringan ketika tegangan dinaikan. Sedangkan rasio intensitas atenuasi pada jaringan yang berbeda antara jaringan lunak dengan tulang, nilai yang dihasilkan lebih kecil yaitu -0,083, sehingga kenaikan tegangan pada jaringan yang berbeda kurang mempengaruhi kontras gambar yang dihasilkan.



## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

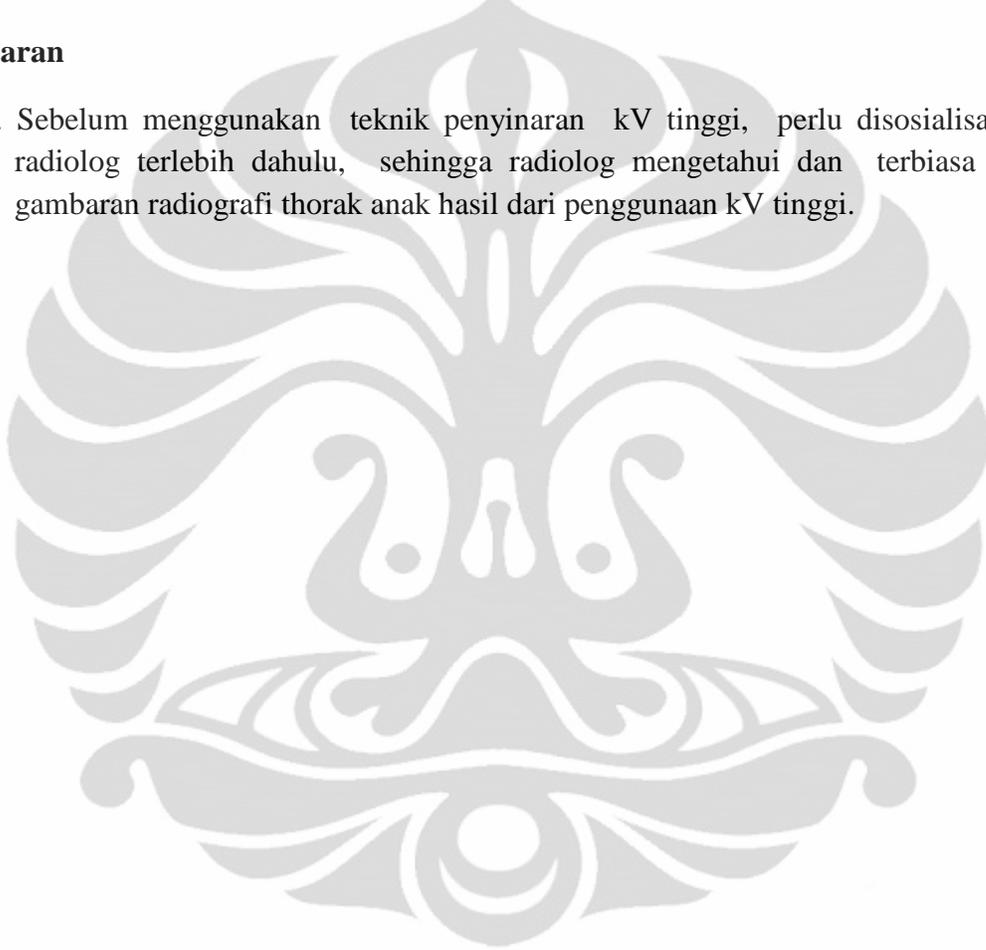
#### **5.1. Kesimpulan**

1. Dari uji coba pada pesawat trophy dengan menggunakan step wedge yang disinari dengan variasi teknik penyinaran, penyinaran dengan kV tinggi I menghasilkan nilai densitas mendekati dengan nilai densitas yang dihasilkan oleh teknik kV standar, Sehingga pada pesawat ini lebih disarankan untuk menggunakan teknik kV tinggi I. Dari uji coba pada pesawat Siemens dengan menggunakan step wedge yang disinari dengan variasi teknik penyinaran, teknik penyinaran kV tinggi II menghasilkan nilai densitas mendekati dengan nilai densitas yang dihasilkan oleh kV standar, Sehingga pada pesawat ini lebih disarankan untuk menggunakan kV tinggi II dibandingkan menggunakan teknik penyinaran kV tinggi I.
2. Secara visual terdapat perbedaan gambaran radiografi thorak anak dengan menggunakan kedua teknik penyinaran, penggunaan kV tinggi menghasilkan gambaran bronkus paru terlihat tegas dan lebih banyak dibandingkan menggunakan kV standar, hal ini disebabkan rentang kontras gambaran radiografi yang lebih lebar. Keuntungannya bronkus paru yang tadinya tidak tervisualisasi menjadi tampak pada gambaran paru, kerugiannya adalah jika radiolog tidak mengetahui atau tidak terbiasa membaca gambaran radiografi thorak yang dihasilkan kV tinggi, dapat menyebabkan kesalahan diagnosa, sehingga perlu sosialisasi kepada radiolog sebelum menerapkan penggunaan kV tinggi.
3. Pada pesawat trophy, penggunaan kV tinggi menurunkan nilai incident air kerma dengan rentang dari 57.975% hingga 61.007%, dibandingkan menggunakan kV standar. Sedangkan pada pesawat Siemens, penggunaan kV tinggi menurunkan nilai incident air kerma dengan rentang dari 36.492% hingga 40.197%, dibandingkan ketika menggunakan kV standar
4. Rata-rata Entrance surface dose kV tinggi pemeriksaan thorak AP adalah 0.058 mGy, lebih rendah dari rata-rata entrance surface dose kV standar pada pemeriksaan yang sama sebesar 0.113 mGy serta lebih rendah dari standar yang ditetapkan oleh European commission yaitu 0.1 mGy. Pada pemeriksaan thorak lateral, rata-rata entrance surface dose kV tinggi adalah 0.169, lebih rendah dari rata-rata entrance surface dose kV standar pada pemeriksaan yang sama sebesar 0.304 mGy serta lebih rendah dari standar yang ditetapkan oleh European commission yaitu 0.2 mGy
5. Pada pemeriksaan thorak lateral, rata-rata entrance surface dose kV tinggi adalah 0.169, lebih rendah dari rata-rata entrance surface dose kV standar pada pemeriksaan yang sama sebesar 0.304 mGy serta lebih rendah dari standar yang ditetapkan oleh European commission yaitu 0.2 mGy

6. Pemeriksaan thorak anak disarankan untuk menggunakan kV tinggi, karena lebih rendahnya nilai incident air kerma maupun nilai entrance surface dose yang dihasilkan. walaupun gambaran radiografi thorak yang dihasilkan mengalami penurunan kontras, akan tetapi dapat memberikan diagnosa optimal.
7. Pada penggunaan kV tinggi sebaiknya dilakukan pengujian kualitas gambar sebelum digunakan pada pasien, hal ini untuk memastikan parameter penyinaran yang digunakan memberikan hasil gambaran radiografi yang optimal.

## 5.2. Saran

1. Sebelum menggunakan teknik penyinaran kV tinggi, perlu disosialisasikan kepada radiolog terlebih dahulu, sehingga radiolog mengetahui dan terbiasa mendiagnosa gambaran radiografi thorak anak hasil dari penggunaan kV tinggi.



## DAFTAR PUSTAKA

- Akadi, Muklis. *Dasar-Dasar Proteksi Radiasi*. PT Aneka cipta, Juni 2000.
- Attix, Frank Herbert. *Introduction To Radiological Physics And Radiation dosimetry*. Weinheim : Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004.
- Bushong, Stewart C. *Radiologic Science For Radiologist*. St Lois, Missouri : Mosby, 2008.
- Cunningham Jhon robert, Johns Harrold Elford. *The Physics Of Radiology*. Illinois, USA : Charles C Thomas, 1983.
- European Commission. *European Guidelines On Quality Criteria For Diagnostic Radiographic Images In Pediatrics*. Brusel, Luxembourg : 1996.
- IAEA Training Material on Radiation Protection in Diagnostic and Interventional Radiology. *Radiation Protection in Diagnostic And Interventional Radiology, L 21: Optimization of Protection in Pediatric Radiology*
- International Atomic Energy Agency. *Dosimetry In Diagnostic Radiology : An International Code Of Practice*. Vienna : 2007
- International Atomic Energy Agency. *Dosimetric quantities and units Introduction*. Miramare, Trieste, Italy : 2009
- International Atomic Energy Agency. *Radiation Protection In Diagnostic and Interventional Radiology . L 2 : Radiation units and dose quantities*
- Jarold TB, J Antony S, Edwin ML, dan John MB. *The Essential Physics Of Medical Imaging*. Lippincott : Williams & Wilkins, 2002.
- Jhon Ball, Tong Price. *Chesney's Radiographic Imaging*. London : Black well scientific, 1989.
- Pearce, Evelyn C. *Anatomi Dan fisiologi Untuk Paramedis*, PT Gramedia Pustaka Utama, 1992.
- Radiological Council of Western Australia. *Diagnostic X-ray Equipment Compliance Testing. Workbook 1. Mobile Radiographic Equipment*. 2006.
- Radiological Council of Western Australia. *Diagnostic X-ray Equipment Compliance Testing. Workbook 3. Major Radiographic Equipment*. 2006.

Robert A fosbinder, Charles A K. *Essential Of Radiologic Science*. United States of Amerika : The Mc Gran Hill, 2002.

Wang, Yao. *Physics Of Radiography*. Brooklyn, NY : Polytechnic University, 11201

Wolbrast, Anthony B. *Physics Of Radiologi*. medison winconsin : Medical physics publishing, 2005.



## LAMPIRAN 1.

1. Data densitas film (1) yang disinari dengan beberapa teknik penyinaran, menggunakan stepwedge pada pesawat trophy.

Step	Parameter standar	kV tinggi I	kV tinggi II
	Kv : 42, mAS : 6.25	kV : 60, mAS : 1	kV : 60 , mAS : 1.5
1	0.3	0.32	0.37
2	0.3	0.33	0.4
3	0.3	0.36	0.45
4	0.3	0.4	0.54
5	0.31	0.48	0.69
6	0.33	0.6	0.91
7	0.42	0.8	1.23
8	0.63	1.1	1.65
9	1.15	1.53	2.09
10	1.99	2.04	2.51
11	2.69	2.52	2.8

2. Data densitas film (2) yang disinari dengan beberapa teknik penyinaran, menggunakan stepwedge pada pesawat trophy.

Step	Parameter standar	kV tinggi I	kV tinggi II
	Kv : 51, mAS : 8	kV : 65, mAS : 2.5	kV : 65 , mAS : 3
1	0.37	0.78	0.94
2	0.42	0.98	1.16
3	0.57	1.31	1.5
4	0.82	1.68	1.87
5	1.27	2.07	2.21
6	1.81	2.38	2.49
7	2.32	2.62	2.69
8	2.68	2.79	2.82
9	2.85	2.89	2.9
10	2.93	2.93	2.94
11	2.95	2.95	2.95

3. Data densitas film (3) yang disinari dengan beberapa teknik penyinaran, menggunakan stepwedge pada pesawat siemens.

Step	Parameter standar	kV tinggi I	kV tinggi II
	Kv : 44, mAS : 6.4	kV : 60, mAS : 1.25	kV : 60 , mAS : 2
1	0.32	0.3	0.3
2	0.32	0.3	0.3
3	0.34	0.3	0.3
4	0.37	0.3	0.31
5	0.43	0.3	0.33
6	0.53	0.32	0.39
7	0.69	0.35	0.51
8	0.99	0.42	0.8
9	1.45	0.59	1.41
10	2.02	0.95	2.2
11	2.57	1.65	2.76

4. Data densitas film (4) yang disinari dengan beberapa teknik penyinaran, menggunakan stepwedge pada pesawat siemens.

Step	Parameter standar	kV tinggi I	kV tinggi II
	Kv : 55, mAS : 8	kV : 66, mAS : 3.4	kV : 66 , mAS : 4
1	0.5	1.1	0.81
2	0.6	1.43	1.06
3	0.8	1.79	1.37
4	1.14	2.1	1.73
5	1.54	2.43	2.09
6	2.03	2.62	2.37
7	2.46	2.78	2.62
8	2.72	2.88	2.78
9	2.88	2.94	2.88
10	2.94	2.96	2.94
11	2.98	2.97	2.98

## LAMPIRAN 2.

### 1. Data uji kesesuaian pesawat trophy

Tegangan tabung (kV)	Arus Tabung (mA)	Waktu (ms)	Tegangan tabung (kV) terbaca	Waktu (s) terbaca	Dosis ( mGy )	HVL ( mm Al )
40	250	32	39.23	0.032	0.080	1.47
40	250	32	39.40	0.032	0.079	1.48
50	250	32	49.34	0.032	0.168	1.90
50	250	32	49.33	0.032	0.167	1.90
60	250	32	59.24	0.032	0.272	2.34
60	250	32	59.11	0.032	0.272	2.34
70	250	32	68.27	0.032	0.381	2.75
70	250	32	68.63	0.032	0.382	2.75
70	250	32	68.13	0.032	0.378	2.75
80	250	32	79.89	0.032	0.495	3.15
80	250	32	79.98	0.032	0.496	3.15
90	250	32	90.60	0.032	0.625	3.54
90	250	32	90.38	0.033	0.626	3.54
100	250	32	100.98	0.033	0.755	3.90
100	250	32	101.25	0.033	0.752	3.89
44	250	25	42.59	0.024	0.080	1.62
44	250	25	42.36	0.024	0.082	1.62
44	250	25	42.76	0.024	0.082	1.62
44	250	25	42.13	0.024	0.082	1.62
44	400	25	42.85	0.025	0.120	1.61
44	400	25	42.52	0.025	0.119	1.61
44	250	4	41.84	0.004	0.011	1.54
44	250	4	40.99	0.004	0.011	1.54
44	250	8	41.15	0.008	0.024	1.59
44	250	8	43.83	0.008	0.024	1.58
44	250	12	41.06	0.012	0.038	1.60
44	250	40	43.71	0.039	0.141	1.63
44	250	32	42.77	0.031	0.112	1.62

2. Data uji kesesuaian pesawat siemens

Tegangan tabung (kV)	Beban Tabung (mAS)	Tegangan tabung (kV) terbaca	Waktu (S) terbaca	Dosis ( mGy )	HVL ( mm Al )
40	6.4	39.31	0.051	0.043	1.44
40	6.4	39.52	0.051	0.043	1.43
50	6.4	48.64	0.042	0.088	1.87
50	6.4	49.30	0.042	0.088	1.86
60	6.4	58.74	0.036	0.128	2.22
60	6.4	58.57	0.036	0.128	2.23
70	6.4	68.10	0.042	0.195	2.68
70	6.4	68.14	0.042	0.194	2.68
81	6.4	82.14	0.046	0.264	3.12
81	6.4	82.37	0.046	0.265	3.12
90	6.4	90.61	0.051	0.334	3.47
90	6.4	90.93	0.051	0.338	3.47
102	6.4	103.04	0.060	0.428	3.89
102	6.4	102.77	0.060	0.431	3.91
44	6.4	41.29	0.044	0.059	1.60
44	6.4	43.29	0.045	0.059	1.60
44	6.4	41.91	0.045	0.059	1.60
44	6.4	41.14	0.045	0.059	1.60
44	6.4	42.29	0.045	0.059	1.59
44	6.4	41.53	0.045	0.059	1.60
44	0.5	38.76	0.006	0.003	1.43
44	1	41.90	0.009	0.008	1.51
44	4	42.12	0.029	0.036	1.55
60	1.25	46.70	0.007	0.014	1.69
60	1.6	47.62	0.008	0.021	1.81
60	2	53.26	0.010	0.030	1.92
52	6.4	51.41	0.041	0.094	1.92
65	2	60.06	0.010	0.041	2.21
66	2.5	61.41	0.013	0.055	2.33

### LAMPIRAN 3.

#### 1. Data ketepatan tegangan tabung pada pesawat trophy

Parameter penyinaran				Hasil Pengukuran				selisih	variasi
Tegangan tabung (kV)	Arus Tabung (mA)	Waktu (mS)	Beban Tabung mAs	Tegangan tabung (kV)	Waktu (mS)	dosis	output	Tegangan tabung (kV)	%
						( mGy )	(mGy/mAs)		
40	250	0.03	8	39.234	0.032	0.080	0.010	-0.766	-1.914
50	250	0.03	8	49.340	0.032	0.168	0.021	-0.660	-1.320
50	250	0.03	8	49.329	0.032	0.167	0.021	-0.671	-1.342
60	250	0.03	8	59.110	0.032	0.272	0.034	-0.890	-1.483
70	250	0.03	8	68.266	0.032	0.381	0.048	-1.734	-2.477
70	250	0.03	8	68.133	0.032	0.378	0.047	-1.867	-2.668
80	250	0.03	8	79.895	0.032	0.495	0.062	-0.105	0.132
90	250	0.03	8	90.383	0.033	0.626	0.078	0.383	0.426
100	250	0.03	8	100.975	0.033	0.755	0.094	0.975	0.975

#### 2. Data ketepatan tegangan tabung pada pesawat siemens

Parameter penyinaran		Hasil Pengukuran				selisih	variasi
Tegangan tabung (kV)	Beban Tabung (mAs)	Tegangan tabung (kV)	Waktu (mS)	dosis	output	Tegangan tabung kV	%
				( mGy )	(mGy/mAs)		
40	6.4	39.313	0.051	0.043	0.007	-0.687	-1.717
50	6.4	48.641	0.042	0.088	0.014	-1.359	-2.719
52	6.4	51.415	0.041	0.094	0.015	-0.585	-1.125
60	6.4	58.741	0.036	0.128	0.020	-1.259	-2.099
70	6.4	68.100	0.042	0.195	0.030	-1.900	-2.714
81	6.4	82.137	0.046	0.264	0.041	1.137	1.404
90	6.4	90.606	0.051	0.334	0.052	0.606	0.674
102	6.4	103.043	0.060	0.428	0.067	1.043	1.023

#### LAMPIRAN 4.

Data ketepatan waktu penyinaran pada pesawat trophy

Parameter penyinaran			Hasil Pengukuran			selisih	variasi
Tegangan tabung (kV)	Arus Tabung (mA)	Waktu (ms)	Tegangan tabung (kV)	Waktu (ms)	output	Waktu (s)	%
					( mGy )		
44	250	4	41.841	4.333	0.011	0.333	8.333
44	250	4	40.991	4.333	0.011	0.333	8.333
44	250	8	41.154	8.444	0.024	0.444	5.556
44	250	8	43.833	8.333	0.024	0.333	4.167
44	250	12	41.063	12.333	0.038	0.333	2.778
44	250	25	42.592	24.444	0.080	-0.556	-2.222
44	250	25	42.356	24.333	0.082	-0.667	-2.667
44	250	32	42.771	31.333	0.112	-0.667	-2.083
44	250	40	43.714	39.333	0.141	-0.667	-1.667

## LAMPIRAN 5.

### 1. Data faktor penyinaran pada pesawat trophy menggunakan detektor

Parameter standar				kV Tinggi 1				kV Tinggi 2			
Tegangan tabung (kV)	Beban Tabung (mAS)	output	dosis	kV	mAS	output	dosis	kV	mAS	output	dosis
		(mGy/mAs)	( mGy )			(mGy/mAs)	( mGy )			(mGy/mAs)	( mGy )
40	6.25	0.01	0.09	60	0.82	0.04	0.04	60	1.23	0.04	0.05
41	6.25	0.02	0.10	61	0.86	0.05	0.04	61	1.28	0.05	0.06
42	6.25	0.02	0.11	62	0.89	0.05	0.04	62	1.32	0.05	0.06
43	6.25	0.02	0.12	63	0.93	0.05	0.05	63	1.36	0.05	0.07
44	6.25	0.02	0.13	64	0.96	0.05	0.05	64	1.4	0.05	0.07
45	6.25	0.02	0.13	65	0.99	0.05	0.05	65	1.44	0.05	0.08
46	6.25	0.02	0.14	66	1.03	0.05	0.06	66	1.47	0.05	0.08
47	6.25	0.02	0.15	67	1.06	0.06	0.06	67	1.51	0.06	0.08
48	6.25	0.03	0.16	68	1.10	0.06	0.06	68	1.55	0.06	0.09
49	6.25	0.03	0.17	69	1.13	0.06	0.07	69	1.59	0.06	0.09
50	6.25	0.03	0.18	70	1.16	0.06	0.07	70	1.63	0.06	0.10
51	6.25	0.03	0.19	71	1.20	0.06	0.08	71	1.66	0.06	0.10
52	6.25	0.03	0.20	72	1.23	0.07	0.08	72	1.7	0.07	0.11
53	6.25	0.03	0.21	73	1.30	0.07	0.09	73	1.74	0.07	0.12
54	6.25	0.03	0.22	74	1.29	0.07	0.09	74	1.77	0.07	0.12
55	6.25	0.04	0.23	75	1.33	0.07	0.09	75	1.81	0.07	0.13
56	6.25	0.04	0.24	76	1.36	0.07	0.10	76	1.84	0.07	0.13

2. Data faktor penyinaran pada pesawat Siemens menggunakan detektor

kV standar				kV Tinggi 1				kV Tinggi 2			
Tegangan tabung (kV)	Beban Tabung (mAS)	output	dosis	kV	mAS	output	dosis	kV	mAS	output	dosis
		(mGy/mAs)	( mGy )			(mGy/mAs)	( mGy )			(mGy/mAs)	( mGy )
40	6.4	0.006	0.040	60	0.84	0.020	0.017	60	1.26	0.020	0.025
41	6.4	0.007	0.043	61	0.88	0.021	0.018	61	1.31	0.021	0.027
42	6.4	0.007	0.047	62	0.91	0.022	0.020	62	1.35	0.022	0.029
43	6.4	0.008	0.051	63	0.93	0.022	0.021	63	1.37	0.022	0.031
44	6.4	0.009	0.055	64	0.98	0.023	0.023	64	1.43	0.023	0.033
45	6.4	0.009	0.059	65	1.02	0.024	0.025	65	1.47	0.024	0.036
46	6.4	0.010	0.063	66	1.05	0.025	0.026	66	1.51	0.025	0.038
47	6.4	0.010	0.067	67	1.09	0.026	0.028	67	1.55	0.026	0.040
48	6.4	0.011	0.071	68	1.12	0.027	0.030	68	1.59	0.027	0.043
49	6.4	0.012	0.076	69	1.16	0.028	0.032	69	1.63	0.028	0.045
50	6.4	0.013	0.080	70	1.19	0.029	0.034	70	1.68	0.029	0.048
51	6.4	0.013	0.084	71	1.22	0.030	0.036	71	1.7	0.030	0.050
52	6.4	0.014	0.089	72	1.26	0.031	0.039	72	1.74	0.031	0.053
53	6.4	0.015	0.094	73	1.29	0.032	0.041	73	1.78	0.032	0.056
54	6.4	0.015	0.098	74	1.32	0.033	0.043	74	1.81	0.033	0.059
55	6.4	0.016	0.103	75	1.36	0.034	0.046	75	1.85	0.034	0.062
56	6.4	0.017	0.108	76	1.39	0.034	0.048	76	1.89	0.034	0.065

## LAMPIRAN 6

1. Prosentase penurunan nilai incident air kerma teknik kV standar dibandingkan teknik kV tinggi pada pesawat trophy

kV standar				kV Tinggi 1				prosentase
Tegangan tabung (kV)	Beban Tabung (mAS)	output	dosis	Tegangan tabung K(V)	Beban Tabung (mAS)	output	dosis	penurunan dosis
		(mGy/mAs)	( mGy )			(mGy/mAs)	( mGy )	
40	6.25	0.01	0.09	60	0.82	0.04	0.04	60.732
41	6.25	0.02	0.10	61	0.86	0.05	0.04	60.682
42	6.25	0.02	0.11	62	0.89	0.05	0.04	60.991
43	6.25	0.02	0.12	63	0.93	0.05	0.05	60.781
44	6.25	0.02	0.13	64	0.96	0.05	0.05	60.928
45	6.25	0.02	0.13	65	0.99	0.05	0.05	61.007
46	6.25	0.02	0.14	66	1.03	0.05	0.06	60.645
47	6.25	0.02	0.15	67	1.06	0.06	0.06	60.628
48	6.25	0.03	0.16	68	1.10	0.06	0.06	60.205
49	6.25	0.03	0.17	69	1.13	0.06	0.07	60.116
50	6.25	0.03	0.18	70	1.16	0.06	0.07	59.994
51	6.25	0.03	0.19	71	1.20	0.06	0.08	59.505
52	6.25	0.03	0.20	72	1.23	0.07	0.08	59.335
53	6.25	0.03	0.21	73	1.30	0.07	0.09	57.975
54	6.25	0.03	0.22	74	1.29	0.07	0.09	58.929
55	6.25	0.04	0.23	75	1.33	0.07	0.09	58.385
56	6.25	0.04	0.24	76	1.36	0.07	0.10	58.142

2. Prosentase penurunan nilai incident air kerma teknik kV standar dibandingkan teknik kV tinggi pada pesawat siemens

Parameter standar				kV Tinggi 2				prosentase
Tegangan tabung (kV)	Beban Tabung (mAS)	output	dosis	Tegangan tabung (kV)	Beban Tabung (mAS)	output	dosis	penurunan dosis
		(mGy/mAs)	( mGy )			(mGy/mAs)	( mGy )	
40	6.4	0.006	0.040	60	1.26	0.020	0.025	36.492
41	6.4	0.007	0.043	61	1.31	0.021	0.027	37.120
42	6.4	0.007	0.047	62	1.35	0.022	0.029	38.002
43	6.4	0.008	0.051	63	1.37	0.022	0.031	39.566
44	6.4	0.009	0.055	64	1.43	0.023	0.033	39.201
45	6.4	0.009	0.059	65	1.47	0.024	0.036	39.582
46	6.4	0.010	0.063	66	1.51	0.025	0.038	39.850
47	6.4	0.010	0.067	67	1.55	0.026	0.040	40.021
48	6.4	0.011	0.071	68	1.59	0.027	0.043	40.111
49	6.4	0.012	0.076	69	1.63	0.028	0.045	40.130
50	6.4	0.013	0.080	70	1.68	0.029	0.048	39.730
51	6.4	0.013	0.084	71	1.7	0.030	0.050	40.345
52	6.4	0.014	0.089	72	1.74	0.031	0.053	40.197
53	6.4	0.015	0.094	73	1.78	0.032	0.056	40.008
54	6.4	0.015	0.098	74	1.81	0.033	0.059	40.115
55	6.4	0.016	0.103	75	1.85	0.034	0.062	39.853
56	6.4	0.017	0.108	76	1.89	0.034	0.065	39.564

## LAMPIRAN 7

### 1. Data hasil ESD pada pesawat Siemens menggunakan TLD

Rentang		Teknik kV standar			Teknik kV tinggi			
Tebal badan	Tebal badan	Faktor eksposi		ESD	Tebal badan	Faktor eksposi		ESD
	( cm )	Tegangan Tabung (kV)	Beban Tabung (mAS)			( cm )	Tegangan Tabung (kV)	
< 10 cm	10	40	5	0.058	10	58	1	0.059
	9	40	5	0.054	—	—	—	—
>10 - 12 cm	11	43	6.25	0.143	12	60	1,5	0.08
	11	43	6.25	0.089	11	60	1	0.061
	—	—	—	—	10.5	60	1	0.054
	—	—	—	—	12	60	1.25	0.094
	—	—	—	—	11.5	60	1.25	0.039
	—	—	—	—	11	60	1.5	0.094
	—	—	—	—	11.5	60	1.2	0.042
>12 - 14 cm	14	43	6.25	0.12	13	60	1.5	0.05
>14 - 16 cm	14.5	51	8	0.27	15	65	3	0.245
	14.5	50	6.25	0.177	15	65	2	0.133
	16	52	8	0.349	15.5	60	2,5	0.154
	—	—	—	—	16	60	2	0.135
	—	—	—	—	14.5	60	2.5	—
	—	—	—	—	15.5	60	3	0.106
	—	—	—	—	15.5	60	2.5	0.093
>16 - 18 cm	—	—	—	—	15.5	60	2.5	0.11
	—	—	—	—	17	66	2	0.096

2. Data hasil ESD pada pesawat Siemens menggunakan TLD

Rentang	Parameter standar				Teknik kV tinggi			
	Tebal badan ( cm )	Parameter penyinaran		ESD	Tebal badan ( cm )	Faktor eksposi		ESD
		Tegangan Tabung (kV)	Beban Tabung (mAS)			Tegangan Tabung (kV)	Beban Tabung (mAS)	
13 - 14 cm	13.5	44	6.4	0.126	13	60	1.25	0.018
	13.5	44	4	0.081	12.5	60	1.25	0.018
	13.5	44	6.4	0.14	12.5	60	1.25	0.041
	14	42	6.4	0.129	12.5	60	1.5	0.13
	12.5	44	6.4	0.13	14	60	1.6	0.035
	-	-	-	-	13	60	1.6	0.028
> 14 - 16	14	42	6.4	0.129	15	60	1,6	0.055
	15.5	44	6.4	0.173	14.5	60	1.6	0.05
	-	-	-	-	14.5	60	1.6	0.041
	-	-	-	-	15.5	60	2	0.101
	-	-	-	-	15	60	2	0.059
> 16 - 18	18	44	6.4	-	17.5	60	2	0.083
	-	-	-	-	16.5	60	2	0.091
	-	-	-	-	17	60	2	0.059
> 18 - 20	-	-	-	-	19	66	3.2	0.139
> 20 - 22	-	-	-	-	21.5	66	3.2	0.307
	-	-	-	-	21.5	66	3.2	0.295
> 22 -24	-	-	-	-	22.5	66	3.2	0.311
	-	-	-	-	24	66	3.2	0.139
> 24 - 26	25.5	55	8	0.386	25.5	66	3.2	0.355
	-	-	-	-	25	66	3.2	0.17