

**PENGUKURAN ESD (*ENTRANCE SURFACE DOSE*)
PADA PEMERIKSAAN RADIOGRAFI KEPALA DAN
*CERVICAL SPINE***

TESIS

**SURYO ADI ARI SANTOSA
0806421533**



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

**PENGUKURAN ESD (*ENTRANCE SURFACE DOSE*)
PADA PEMERIKSAAN RADIOGRAFI KEPALA DAN
*CERVICAL SPINE***

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Sains

**SURYO ADI ARI SANTOSA
0806421533**



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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Suryo Adi Ari Santosa

NPM : 0806421533

Tanda Tangan :

Tanggal : 23 Desember 2010



HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh:

Nama : Suryo Adi Ari Santosa
NPM : 0806421533
Program Studi : Magister Fisika Medis
Judul Tesis : Pengukuran ESD (*Entrance Surface Dose*) pada
Pemeriksaan Radiografi Kepala dan *Cervical Spine*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. DR. Djarwani S. Soejoko (.....)
Penguji : DR. Musaddiq Musbach (.....)
Penguji : DR. Seruni Udyaningsih Freisleben (.....)
Penguji : DR. Agung Alfiansyah (.....)

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 23 Desember 2010

Universitas Indonesia

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Sains Program Studi Magister Fisika Program Kekhususan Fisika Medis Pasca Sarjana Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

- (1) Prof. DR. Djarwani S. Soejoko selaku Dosen Pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) DR. Muhammad Aziz Majidi selaku Ketua Majelis Sidang, DR. Musaddiq Musbach, DR. Seruni Udyaningsih Freisleben serta DR. Agung Alfiansyah selaku Penguji Sidang Tugas Akhir;
- (3) Direktur Utama, Kepala Instalasi Radiologi serta Kepala Bagian Pendidikan dan Pelatihan RSUP. Fatmawati, RS. Husada serta RS. Kanker Dharmais yang telah mengizinkan pengambilan data;
- (4) Mas Pramono, Mas Heriyanto, Mas Agus dan Ibu Dewi serta staf radiologi RSUP. Fatmawati yang telah membimbing dan membantu saya dalam pengambilan data di lapangan;
- (5) Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) yang telah mengizinkan dan mendanai saya untuk melanjutkan pendidikan S2 ini;
- (6) Orang tua dan keluarga di Yogyakarta serta Ani Yuliani yang senantiasa memberikan dukungan moral;
- (7) Rekan satu tim; Bagus dan Sawiyah, serta sahabat-sahabat yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya hanya bisa berdoa semoga Allah SWT, Tuhan Yang Maha Pemurah berkenan membalas kebaikan semua pihak yang membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Jakarta, Desember 2010
Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Suryo Adi Ari Santosa
NPM : 0806421533
Program Studi : Magister Fisika Medis
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Tesis

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

Pengukuran ESD (*Entrance Surface Dose*) pada Pemeriksaan Radiografi Kepala dan *Cervical Spine*

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih-media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta

Pada tanggal : 23 Desember 2010

Yang menyatakan

(Suryo Adi Ari Santosa)

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Nama : Suryo Adi Ari Santosa
Program Studi : Magister Fisika Medis
Judul : Pengukuran ESD (*Entrance Surface Dose*) pada
Pemeriksaan Radiografi Kepala dan *Cervical Spine*

Indonesia telah mengadopsi tingkat panduan dosis yang direkomendasikan oleh IAEA BSS 115 untuk beberapa jenis pemeriksaan sejak 2003. Pengukuran dosis masuk permukaan (*entrance surface dose /ESD*) untuk kepala dan *cervical spine* dengan menggunakan TLD dilakukan atas 4 pesawat sinar-X pada 3 rumah sakit di Jakarta yang diberi kode 1D, 1F, 1H dan 3H dengan reseptor sistem Kodak CR (*computed radiography*). Pengukuran ESD juga dilakukan berdasarkan parameter eksposinya menggunakan metode kalkulasi. Juga dilakukan pengukuran ESD pada fantom kepala ANSI dengan tujuan untuk mendapatkan faktor konversi fantom-pasien yang akan berguna dalam pengumpulan data ESD tanpa pasien. Pelaksanaan penelitian dimulai dari penentuan ukuran standar orang dewasa Indonesia, uji fungsi pesawat sinar-X, preparasi TLD, pengambilan data ESD pasien dan diakhiri dengan pembuatan dan verifikasi fantom kepala ANSI. Sebanyak 20 orang pasien dewasa menjalani pemeriksaan kepala dengan 2 atau 3 proyeksi (AP/PA, lateral dan *waters*), dan 17 pasien dewasa menjalani pemeriksaan *cervical spine* dengan 2 proyeksi (AP dan lateral). Pengukuran ESD dengan TLD dengan cara menempatkan TLD pada kulit pasien pada pusat lapangan radiasi. Dari pengukuran ESD menggunakan TLD pada pasien didapatkan nilai ESD pada kuartil ke-3 sebesar 1.4 mGy mGy, 1.4 mGy, dan 2.1 mGy untuk pemeriksaan kepala AP/PA, lateral, dan *waters*, serta 1.3 mGy dan 1.4 mGy untuk pemeriksaan *cervical spine* AP dan lateral. Sedangkan dari metode kalkulasi didapatkan nilai yang lebih tinggi, yaitu 2.7 mGy, 1.8 mGy dan 5.2 mGy untuk pemeriksaan kepala AP/PA, lateral, dan *waters*, serta 1.5 mGy for AP and 2.3 mGy untuk pemeriksaan *cervical spine* AP dan lateral. Rasio antara ESD pasien dengan fantom yang disebut faktor konversi fantom didapatkan sebesar 0.64 dan 0.77 untuk skull AP/PA dan lateral. Dalam penelitian ini, nilai ESD lebih dipengaruhi oleh kebiasaan radiografer dalam penentuan faktor eksposi yang akan digunakan. Meski demikian, nilai ESD yang didapatkan cenderung lebih kecil daripada nilai referensi yang ada. Selain itu penggunaan fantom kepala ANSI akan sangat bermanfaat dalam pengumpulan data ESD mengingat jumlah pemeriksaan kepala cukup jarang.

Kata-kata kunci: Radiografi, ESD, kepala, *cervical spine*, fantom.

ABSTRACT

Name : Suryo Adi Ari Santosa
Study Program : Magister of Medical Physics
Title : ESD (Entrance Surface Dose) Measurements of Head and *Cervical* Spine Radiographic Examinations

Indonesia has adopted radiation dose guidance levels recommended by IAEA BSS 115 for several diagnostic examinations since 2003. Measurements of entrance surface dose (ESD) for head and *cervical* spine using TLD (thermo luminescence dosimeter) were carried out with 4 X-ray machines at 3 hospitals in Jakarta which were coded by 1D, 1F, 1H and 3H with Kodak CR (computed radiography) receptor system. Based on exposure, ESD for these examinations were also determined. ESD measurements were also conducted on ANSI skull phantom aiming to get conversion factors of phantom to patient that will be useful in collecting ESD data without patients. This study began with determining Indonesian adult standard size, following by X-ray machine performance test, TLDs preparation, patient ESD measurement and ended with making ANSI skull phantom and ESD verification. There 20 adult patients for head examination with 2 or 3 radiography projections (AP/PA, lateral and waters), and 17 adult patients for *cervical* examination. The ESD was measured by TLD (thermo lunminiscence dosimeter), placed on the patient's skin, at the center of radiation field. From the patient's ESD measurement using TLDs, the 3rd quartile ESD values were 1.4 mGy mGy, 1.4 mGy, and 2.1 mGy for head examination of AP/PA, lateral, and waters, while for AP and lateral *cervical* spine were 1.3 mGy and 1.4 mGy. Whereas ESD values from the calculation method based on exposure were higher, i.e. AP/PA, lateral and waters head examinations were 2.7 mGy, 1.8 mGy, and 5.2 mGy respectively, and for AP and lateral *cervical* spine examination were 1.5 mGy for AP and 2.3 mGy. The ratio between patient ESD and phantom ESD, namely conversion factors, were 0.641 and 0.765 for AP/PA and lateral skull examination. In this study, ESD values found were more affected by technical habit of the radiographer in setting the exposure condition. In spite of that fact, it was found that these ESD values were still lower than references. Besides that, the usage of inhouse ANSI skull phantom will be beneficial for collecting ESD data considering the low frequency of head examinations.

Keywords: Radiographic, ESD, head, *cervical* spine, phantom.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALIAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
1.6 Metode Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Radiografi Diagnostik dan Proteksi Radiasi	6
2.2 Dosis dan Panduannya	7
2.3 Dosimetri	9
2.4 Dosimeter Diagnostik	11
2.5 Pengukuran ESD	15
2.6 Radiografi Kepala dan Cervical Spine	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Alat dan Bahan	31
3.2 Metode	35
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Penentuan Ukuran Standar Orang Indonesia	42
4.2 Uji Fungsi Pesawat Sinar-X	42
4.3 Preparasi TLD	47
4.4 Pengukuran ESD	49
4.5 Pembuatan Fantom Kepala dan Penentuan Faktor Konversinya	63
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Frekuensi Tipe Pemeriksaan Radiologi di Pusat Pelayanan Medis di Sao Paulo, Brazil, 2004	2
Gambar 2.1	Pengukuran ESD dan DAP	10
Gambar 2.2	Pengukuran ESD dan Persamaan yang Digunakan	10
Gambar 2.3	Skema Proses Thermoluminisasi	12
Gambar 2.4	Tipikal Thermogram (<i>Glow Curve</i>) dari LiF:Mg,Ti Diukur Menggunakan TLD Reader dengan Laju Pemanasan Rendah	12
Gambar 2.5	<i>Multiple Glow Curve Trap</i> dari LiF:Mg,Ti	13
Gambar 2.6	Dosimeter Unfors Xi yang Terdiri dari Detektor dan <i>Base Unit</i>	14
Gambar 2.7	Proyeksi AP <i>Skull</i>	18
Gambar 2.8	Proyeksi PA <i>Skull</i> dengan 0° Angulasi	19
Gambar 2.9	Proyeksi Lateral <i>Skull</i>	20
Gambar 2.10	Hasil Citra AP <i>Skull</i>	21
Gambar 2.11	Hasil Citra Lateral <i>Skull</i>	21
Gambar 2.12	Proyeksi dan Hasil Citra PA <i>Caldwel</i>	22
Gambar 2.13	Proyeksi dan Hasil Citra Lateral Sinus Paranasal	23
Gambar 2.14	Proyeksi dan Hasil Citra <i>Waters</i>	24
Gambar 2.15	Proyeksi dan Hasil Citra Lateral <i>Cervical Spine</i>	26
Gambar 2.16	Proyeksi dan Hasil Citra AP <i>Axial Cervical Spine</i>	27
Gambar 2.17	Proyeksi dan Hasil Citra AP <i>Axial Oblique Cervical Spine</i>	28
Gambar 2.18	Proyeksi dan Hasil Citra PA <i>Axial Oblique Cervical Spine</i>	29
Gambar 2.19	Proyeksi dan Hasil Citra AP <i>Open Mouth (Odontoid)</i>	30
Gambar 2.20	Hasil Citra Proyeksi <i>Swimmer's View</i>	30
Gambar 3.1	TLD Reader Harshaw Model 3500 dari Thermo Scientific	33
Gambar 3.2	Oven West Model 4100+	33
Gambar 3.3	Tampilan Software Thermosoft Saat <i>Annealing</i> TLD	34
Gambar 3.4	Dosimeter Bilik Ionisasi Merek Victoreen 4000M+	34
Gambar 3.5	Skema Pengukuran ESD secara Langsung Menggunakan TLD pada Pemeriksaan Kepala AP/PA	39
Gambar 3.6	Skema Fantom Kepala ANSI Berdasar AAPM <i>Reports</i> No. 60	41
Gambar 4.1	Perbandingan Nilai HVL terhadap Seting kVp	43
Gambar 4.2	Grafik Hubungan FK TLD terhadap Nilai HVL	49
Gambar 4.3	Grafik Nilai HVL dan ESD untuk Pemeriksaan Kepala AP/PA pada Setiap Pesawat	54
Gambar 4.4	Grafik Nilai HVL dan ESD untuk Pemeriksaan Kepala Lateral pada Setiap Pesawat	54
Gambar 4.5	Grafik Nilai HVL dan ESD untuk Pemeriksaan <i>Waters</i> pada Pesawat 1F	55
Gambar 4.6	Grafik Nilai HVL dan ESD untuk Pemeriksaan <i>Cervical Spine</i> AP pada Setiap Pesawat	55
Gambar 4.7	Grafik Nilai HVL dan ESD untuk Pemeriksaan <i>Cervical Spine</i> Lateral pada Setiap Pesawat	56
Gambar 4.8	Grafik Nilai ESD/mAs untuk Pemeriksaan Kepala AP/PA ..	57
Gambar 4.9	Grafik Nilai ESD/mAs untuk Pemeriksaan Kepala Lateral ..	57

Gambar 4.10	Grafik Nilai ESD/mAs untuk Pemeriksaan <i>Waters</i>	58
Gambar 4.11	Grafik Nilai ESD/mAs untuk Pemeriksaan <i>Cervical Spine AP</i>	58
Gambar 4.12	Grafik Nilai ESD/mAs untuk Pemeriksaan <i>Cervical Spine Lateral</i>	59
Gambar 4.13	Perbandingan Nilai ESD _{TLD} /mAs dan ESD _{Calc} /mAs pada Normalisasi FSD 100 cm untuk Pemeriksaan Kepala dan <i>Waters</i>	60
Gambar 4.14	Perbandingan Nilai ESD _{TLD} /mAs dan ESD _{Calc} /mAs pada Normalisasi FSD 100 cm untuk Pemeriksaan <i>Cervical Spine</i>	60
Gambar B.1	Grafik Respon <i>Output Tube</i> terhadap Perubahan Seting kVp Pesawat 1F pada FDD 100 cm	77
Gambar B.2	Grafik Respon <i>Output Tube</i> terhadap Perubahan Seting kVp Pesawat 1D pada FDD 92 cm	77
Gambar B.3	Grafik Respon <i>Output Tube</i> terhadap Perubahan Seting kVp Pesawat 1H pada FDD 107 cm	78
Gambar B.4	Grafik Respon <i>Output Tube</i> terhadap Perubahan Seting kVp Pesawat 3H pada FDD 107 cm	78



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Nilai ESD Berbagai Negara dan Badan di Dunia	8
Tabel 3.1	Nilai HVL Minimum yang Dipersyaratkan oleh RCWA	36
Tabel 4.1	Hubungan kVp dengan <i>Output Tube</i> Pesawat 1D pada FDD 92 cm	45
Tabel 4.2	Hubungan kVp dengan <i>Output Tube</i> Pesawat 1F pada FDD 100 cm	45
Tabel 4.3	Hubungan kVp dengan <i>Output Tube</i> Pesawat 1H pada FDD 107 cm	46
Tabel 4.4	Hubungan kVp dengan <i>Output Tube</i> Pesawat 3H pada FDD 107 cm.....	46
Tabel 4.5	Pengelompokan Jenis Penyinaran dan Faktor Eksposi yang Digunakan	50
Tabel 4.6	ESD_{TLD} dan ESD_{TLD} / mAs dari Metode Pengukuran Langsung	52
Tabel 4.7	ESD_{Calc} dan ESD_{Calc} / mAs dari Metode Tidak Langsung (Kalkulasi)	52
Tabel 4.8	Rasio ESD Maksimum-Minimum dan Koefisien Variasinya	53
Tabel 4.9	Perbandingan Nilai ESD dengan Referensi	61
Tabel A.1	Data Sampel Orang Dewasa Berdasar Jenis Kelamin & Usia	71
Tabel A.2	Data Ukuran Tubuh Standar Orang Dewasa Indonesia (1) ..	71
Tabel A.3	Data Ukuran Tubuh Standar Orang Dewasa Indonesia (2) ..	71
Tabel B.1	Rangkuman Hasil Uji Fungsi 4 (empat) Pesawat Sinar-X ...	72
Tabel B.2	Hasil Uji Fungsi Pesawat 1D	73
Tabel B.3	Hasil Uji Fungsi Pesawat 1F	74
Tabel B.4	Hasil Uji Fungsi Pesawat 1H	75
Tabel B.5	Hasil Uji Fungsi Pesawat 3H	76
Tabel C.1	Hasil Uji Respon dan Pengelompokan TLD	79
Tabel C.2	Hasil Kalibrasi TLD (dengan pesawat 1D)	91
Tabel D.1	ESD Hasil Pengukuran Langsung dan Kalkulasi	94
Tabel D.2	Perbandingan Nilai ESD dengan Referensi Lainnya	102
Tabel E.1	Pengukuran ESD Fantom dengan Menggunakan TLD dari Sumber Radiasi Pesawat 1D pada FSD 92.2 cm	104
Tabel E.2	Perbandingan ESD Pasien dengan ESD Fantom pada Pesawat 1D dengan Normalisasi FSD ke 100 cm	105

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Penentuan Ukuran Standar Orang Dewasa Indonesia	71
Lampiran B	Uji Fungsi Pesawat Sinar-X	72
Lampiran C	Preparasi TLD	79
Lampiran D	Data ESD	94
Lampiran E	Penentuan Faktor Konversi Fantom	104



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

a. Perkembangan Sinar-X dan Konsekuensinya

Semenjak penemuan sinar-X lebih dari 100 tahun yang lalu oleh Wilhelm Roentgen, sinar-X telah dimanfaatkan untuk berbagai tujuan, salah satunya adalah untuk mendiagnosis penyakit pada pasien. Sekitar sepertiga hingga separuh dari semua keputusan dalam medis bergantung pada hasil diagnosis dengan sinar-X. Faktanya bahwa pemeriksaan radiodiagnostik merupakan penyumbang terbesar pada dosis populasi. Laporan yang dirilis UNSCEAR tahun 2000 [31] menyebutkan bahwa dosis radiasi dari radiodiagnostik mencapai 80 hingga 90 % dari dosis total sumber radiasi buatan manusia. Dosis yang diterima pasien yang menjalani pemeriksaan radiografi berkisar antara 0.1 hingga 10 mSv yang menyebabkan dosis kolektif pada populasi menjadi signifikan. Saat ini saja di dunia ada sekitar 1,7 juta pesawat sinar-X dan sekitar 40.000 CT Scan dengan sekitar 2,4 miliar pemeriksaan dilakukan per tahun.

Radiasi pengion tentu saja memiliki efek yang merugikan. Namun adanya keuntungan yang tidak sedikit dari penggunaan radiasi dalam medis menyebabkan terjadinya peningkatan kebutuhan akan peralatan dan pelayanan radiologi. Secara umum, resiko yang disebabkan dari prosedur radiodiagnostik adalah rendah, -meski ada pengecualian pada kasus tertentu, namun penting untuk dilakukan pengaturan atas paparan yang diterima pasien sehingga tidak terlalu tinggi, cukup untuk dapat menghasilkan informasi diagnostik yang dibutuhkan[13].

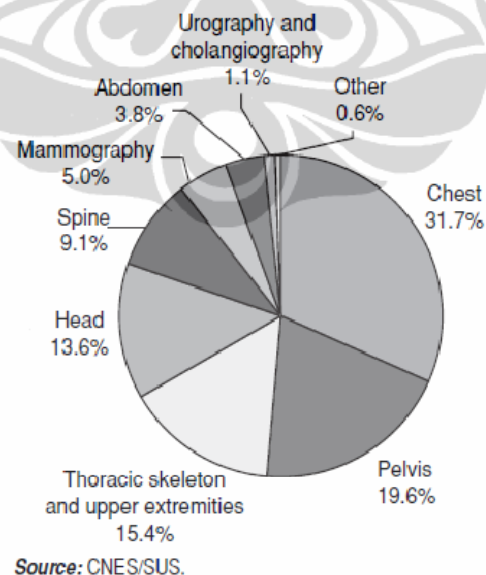
Proteksi radiasi diterapkan dengan tujuan agar pengguna sumber radiasi ataupun publik tidak menerima dosis melebihi tingkat yang diperkenankan. Meski pada pasien tidak diterapkan batasan dosis, namun untuk keselamatan pasien, banyak negara dan berbagai badan internasional telah melakukan penelitian dan menetapkan tingkat dosis acuan atau *dose reference level* (DRL) untuk berbagai pemeriksaan, yang diperbarui secara periodik. Salah satu diantaranya yang menjadi rujukan secara internasional adalah hasil kerjasama pada tahun 1996

beberapa lembaga internasional seperti FAO, ILO, NEA/OECD, PAHO dan WHO yang bersama-sama dengan IAEA mengeluarkan *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources No. 115* atau yang lebih dikenal sebagai BSS 115 [9]. BSS 115 ini mengatur kebutuhan proteksi radiasi pada penggunaan di medis dan tingkat panduan (*guidance levels*) dosis untuk berbagai pemeriksaan radiodiagnostik.

Salah satu kuantitas radiasi yang sering digunakan dalam acuan batasan dosis adalah pengukuran dosis masuk permukaan atau yang lebih umum dikenal dengan ESD (*entrance surface dose*) yang dapat diperoleh melalui pengukuran langsung menggunakan *thermoluminescence dosimeter* (TLD) maupun perhitungan tidak langsung seperti yang dijabarkan dalam *IAEA Technical Report Series No. 457* [16].

b. Kondisi di Indonesia

Berdasar penelitian di Sao Paulo, Brazil [10], pada tahun 2004 jumlah pemeriksaan radiologi per 1000 populasi mencapai 347. Ini berarti satu dari tiga orang disana paling tidak menjalani pemeriksaan radiologi satu kali dalam satu tahun. Frekuensi pemeriksaan radiologi di sana tampak pada Gambar 1.1.



Gambar 1.1 Frekuensi Tipe Pemeriksaan Radiologi di Pusat Pelayanan Medis di Sao Paulo, Brazil, 2004 [10]

Di India [4], frekuensi tipe pemeriksaan sedikit berbeda. Pemeriksaan dada menempati urutan pertama dengan prosentase sebesar 37 %, disusul kub, pelvis dan *spine* (28 %), ekstrimitas (21,2 %), *skull* dan pns (8 %), sisanya adalah dental, ivp, barium dan lain-lain.

Frekuensi dari tiap jenis pemeriksaan di Indonesia sendiri belum ada publikasi yang resmi dan dapat dipertanggungjawabkan, namun mengingat kondisi ekonomi dan demografis yang mirip dengan di Brazil kemungkinan frekuensi pemeriksaan radiologi di Indonesia mirip dengan apa yang ada di Sao Paulo, Brazil.

1.2 Perumusan Masalah

Indonesia selaku anggota IAEA juga telah mengadopsi beberapa poin dalam BSS 115 salah satunya adalah tingkat panduan (*guidance levels*) dosis yang diadopsi secara utuh ke dalam Peraturan Kepala BAPETEN No. 01-P/Ka-BAPETEN/I-03 tentang Pedoman Dosis Pasien Radiodiagnostik [18]. Namun mengingat BSS 115 dibuat dengan mengacu *reference-man* orang Barat, -yang secara fisik berbeda dengan orang Indonesia, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut atas pengaplikasian tingkat panduan dosis di Indonesia.

Pada penelitian ini topik yang dipilih adalah ”Pengukuran ESD (*entrance surface dose*) pada pemeriksaan radiografi kepala dan *cervical spine*” karena penelitian tentang topik ini di Indonesia belum ada yang melakukannya secara lebih mendalam. Sedangkan pemilihan organ kepala dan *cervical spine* pasien sebagai obyek penelitian selain karena organ tersebut sangat vital juga dikarenakan karena untuk organ lain yang secara umum lebih banyak frekuensi pemeriksaannya, seperti thorax dan abdomen, telah atau sedang dilakukan penelitiannya oleh pihak lain.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. memperoleh data *Entrance Surface Dose* (ESD) baik secara langsung maupun tidak langsung pada pemeriksaan radiografi kepala dan *cervical spine*, khusus untuk pasien dewasa, serta

2. membuat fantom kepala yang sesuai untuk diterapkan di Indonesia termasuk menentukan faktor konversinya.

1.4 Manfaat Penelitian

Diharapkan dari penelitian ini dapat memberikan informasi mengenai:

1. nilai ESD atas pemeriksaan radiografi kepala dan *cervical spine* dari berbagai rumah sakit, yang nantinya dapat digunakan oleh berbagai pihak, seperti: sebagai alat kendali kualitas (bagi rumah sakit yang bersangkutan), sebagai tambahan data dalam penentuan DRL lokal maupun nasional, dan lain-lain,
2. kemungkinan penggunaan perhitungan ESD secara tidak langsung apabila pengukuran ESD secara langsung sulit dilakukan, serta
3. pembuatan fantom kepala yang dapat merepresentasikan kepala orang dewasa di Indonesia untuk diterapkan dalam pengukuran ESD secara langsung.

1.5 Batasan Penelitian

Penelitian ini dibatasi pada pembahasan mengenai:

1. pengukuran dosis radiasi yang diterima permukaan kulit pasien (ESD) baik secara langsung maupun tidak langsung pada pemeriksaan radiografi kepala dan *cervical spine* pada pasien dewasa Indonesia dengan reseptor *computed radiography*, serta
2. pembuatan fantom kepala yang sesuai untuk diterapkan di Indonesia berdasar AAPM No. 60.

I.6. Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan dilakukan terdiri dari 2 (dua) tahap yaitu studi kepustakaan dan eksperimen atau pengambilan data di lapangan.

I.7. Sistematika Penulisan

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

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan yang hendak dicapai, manfaat dari terselenggaranya penelitian ini, batasan permasalahan, metode penelitian yang digunakan serta urutan atau sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini penulis menguraikan secara lebih lengkap perkembangan diagnostik dengan sinar-X berikut efek yang mungkin ditimbulkan, dosis radiasi pada pasien dan panduannya, dosimetri dan dosimeter diagnostik, metode pengukuran ESD serta jenis pemeriksaan radiografi kepala dan *cervical spine*.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan alat atau bahan yang digunakan serta metode pengambilan dan pengolahan data.

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berisikan data-data dan analisis pembahasan hasil penelitian serta perbandingannya dengan referensi yang ada.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Radiografi Diagnostik dan Proteksi Radiasi

Penggunaan sinar-X yang masif semenjak penemuannya di tahun 1895 lalu oleh Wilhelm Roentgen khususnya dibidang diagnostik medis, telah menimbulkan implikasi yang sangat besar. Sangat banyak keuntungan yang didapat dari pengguaannya, namun di lain sisi muncul pula kekhawatiran sinar-X dapat berakibat buruk bagi orang yang terpaparnya.

Dalam konferensi yang diadakan oleh IAEA di Malaga, Spanyol tahun 2001 [13] juga menyebutkan bahwa praktik medis yang melibatkan penggunaan radiasi pengion (selanjutnya disebut sebagai radiasi) merupakan penyumbang terbesar pada paparan yang diterima manusia diantara semua sumber radiasi buatan manusia; besarnya sekitar 95 % dari dosis total dari sumber tersebut. Setiap tahun ada sekitar 2 miliar pemeriksaan radiodiagnostik, 32 juta pemeriksaan menggunakan kedokteran nuklir dan 5.5 juta prosedur radioterapi dilakukan. Secara global pemeriksaan medis dengan sinar-X (radiodiagnostik) kecenderungannya akan terus naik. Pada laporan yang dipublikasikan tahun 1988 ada sekitar 280 diantara 1000 populasi di dunia menjalani pemeriksaan ini. Kemudian pada laporan UNSCEAR tahun 1993 (data tahun 1990) naik menjadi 300 per 1000 populasi dan di laporan UNSCEAR tahun 2000 (data tahun 1996) naik lagi menjadi 330 per 1000 populasi.

Radiasi pengion memiliki suatu efek yang merugikan yang secara umum dibagi menjadi 2 (dua) yaitu efek stokastik dan efek deterministik [15]. Efek stokastik adalah efek dari radiasi yang peluang kemunculannya naik dengan kenaikan dosis yang diterima seseorang, namun kemunculan efek ini tidak memiliki ambang batas dosis. Jadi berapapun atau sekecil apapun dosis radiasi yang diterima seseorang ada kemungkinan efek ini akan timbul. Umumnya kemunculan dari efek stokastik ini dalam jangka waktu lama, bisa mencapai puluhan tahun, setelah terkena paparan radiasi. Contoh penyakit yang merupakan efek stokastik adalah leukemia. Sedangkan efek deterministik adalah efek yang kemunculannya ada ambang batas dosis dan tingkat kerusakannya naik seiring

dengan kenaikan dosis yang diterima seseorang. Efek ini berhubungan dengan pembunuhan sel. Jika dosis radiasi yang diterima seseorang cukup tinggi maka sel-sel yang terbunuh akan cukup banyak dan menyebabkan efek klinis yang berbahaya. Contoh dari kasus ini adalah nekrosis kulit. Suatu prosedur radiodiagnostik dengan dosis radiasi yang dipancarkannya cukup kecil sangat tidak mungkin untuk menimbulkan efek deterministik, namun sangat mungkin menjadi penyebab terjadinya efek stokastik.

2.2 Dosis dan Panduannya

Untuk memperkecil kemungkinan munculnya efek radiasi, proteksi radiasi diterapkan dengan tujuan agar pengguna sumber radiasi ataupun publik tidak menerima dosis melebihi tingkat yang diperkenankan. Begitu juga pada pasien yang meski pada pasien tidak diterapkan batasan dosis, namun banyak negara dan berbagai badan internasional telah menetapkan tingkat dosis acuan atau *dose reference level* (DRL) untuk berbagai pemeriksaan radiodiagnostik. Salah satu yang terkenal dan diacu oleh berbagai negara adalah BSS 115 yang dikeluarkan oleh IAEA dan berbagai institusi internasional. BSS 115 ini mengatur kebutuhan proteksi radiasi pada penggunaan di medis dan tingkat panduan (*guidance levels*) dosis untuk berbagai pemeriksaan radiodiagnostik. Dalam berbagai referensi, tingkat panduan dosis ini disebut pula sebagai *dose reference level* atau *diagnostic reference level* (DRL) karena menyangkut diagnostik atau pencitraan medis.

DRL ditentukan dengan maksud untuk mengoptimalkan penerimaan dosis terhadap pasien sehingga pasien tidak perlu menerima dosis radiasi berlebih yang sebenarnya tidak menambah kualitas pencitraan diagnostic [7]. DRL merupakan batasan dosis, bukan batasan jangkauan dosis minimal-maksimal. Kuantitas radiasi yang sering digunakan sebagai patokan DRL adalah nilai dosis masuk permukaan pasien (*entrance surface dose/ESD*). Jika penggunaan peralatan radiodiagnostik memberikan nilai ESD yang melebihi DRL, maka rumah sakit harus mengkaji sumber kesalahannya (teknis atau prosedural) dan memperbaiki sumber kesalahan tersebut sehingga nilai ESD-nya tidak melebihi DRL [9], [13].

Berbagai negara dan badan internasional telah melakukan penelitian tentang ESD dan menetapkan DRL, yang disesuaikan dengan kondisinya masing-masing. Bahkan negara-negara yang digolongkan sebagai negara miskin, seperti Nigeria [23], Sudan [11] dan Kenya [19] telah melakukan penelitian tentang ESD yang akan diajukan sebagai DRL nasionalnya. Di wilayah Asia Tenggara tercatat Thailand [20], [12] dan Malaysia [22] telah melakukan penelitian ini.

Tabel 2.1 menampilkan beberapa perbandingan nilai ESD, yang sudah digunakan ataupun yang sedang diusulkan sebagai standar DRL, yang diterbitkan oleh berbagai negara dan badan internasional.

Tabel 2.1 Perbandingan Nilai ESD Berbagai Negara dan Badan di Dunia (dalam satuan mGy)

Tipe pemeriksaan	Proyeksi	BSS [9]	NRPB [21]	USA CRCPD* [6]	Malaysia* [22]	Brazil [10]	India* [4]	Nigeria* [23]	Thailand ^P [20]
Kepala	AP/PA	5	5	-	4.7	3.3	-	7.5	5
	LAT	3	3	1.6	3	2.1	6.4	5.8	3
	Waters	-	-	-	-	3	-	-	-
Cervical spine	AP	-	-	1.5	0.7	0.7	-	-	-
	LAT	-	-	-	1.5	1.2	5.1	-	-

* nilai median,^P Proposed

PA : posterior-anterior, AP : anterior-posterior, LAT : proyeksi lateral

DRL bagi departemen radiologi merupakan dosis acuan untuk mengukur dan menilai dosis radiasi yang diberikan kepada pasien pada suatu prosedur yang ditetapkan. Tujuan keseluruhan DRL adalah untuk mengatur dosis pasien dalam radiologi diagnostik menggunakan prinsip optimasi proteksi radiasi. Tujuan berfokus pada menghindari dosis radiasi pada pasien yang tidak memberikan kontribusi kepada tujuan klinis pencitraan medis. DRL harus relevan dengan kondisi lokal, misalnya sebuah daerah atau negara di mana mereka diterapkan. Agar relevan, DRL ditentukan dari data survei dosis radiasi. Data gabungan dari survei ini mewakili semua rumah sakit di daerah tertentu atau negara. Dosis survei harus dilakukan oleh rumah sakit terus menerus atau setidaknya secara

teratur dilakukan dalam 3-5 berturut-turut dengan interval tahunan. DRL harus dianggap sebagai parameter yang dinamis yang selalu berubah [26].

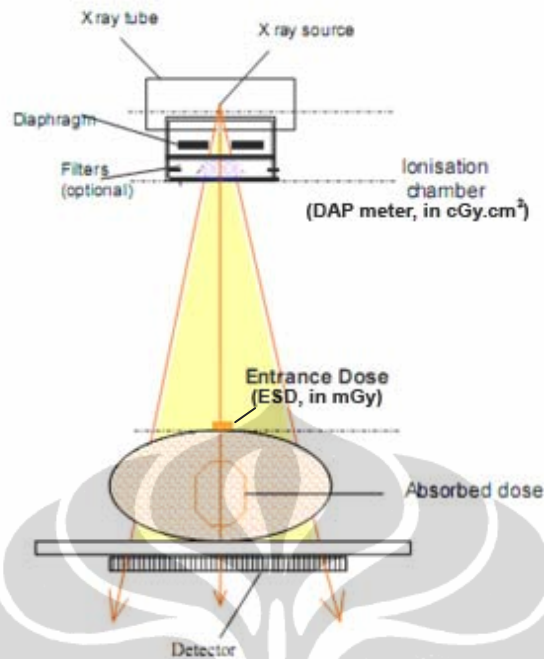
2.3 Dosimetri

Dosimetri radiasi menjadi perhatian utama karena menjadi indikasi resiko kerusakan biologi pada pasien yang menerima dosis radiasi. Dosis efektif dianggap sebagai kuantitas yang paling tepat untuk menaksir resiko stokastik dari radiasi pengion. Dosis efektif dapat pula digunakan untuk membandingkan dosis relatif dari berbagai prosedur diagnostik yang berbeda dan untuk membandingkan penggunaan teknologi dan prosedur yang sama dari rumah sakit atau negara yang berbeda, serta dapat digunakan untuk membandingkan penggunaan teknologi yang berbeda untuk pemeriksaan medis yang sama. ICRP No. 60 [17] mendefinisikan dosis efektif sebagai penjumlahan dosis ekuivalen dengan memperhatikan faktor pemberat untuk setiap jaringan sesuai dengan persamaan di bawah.

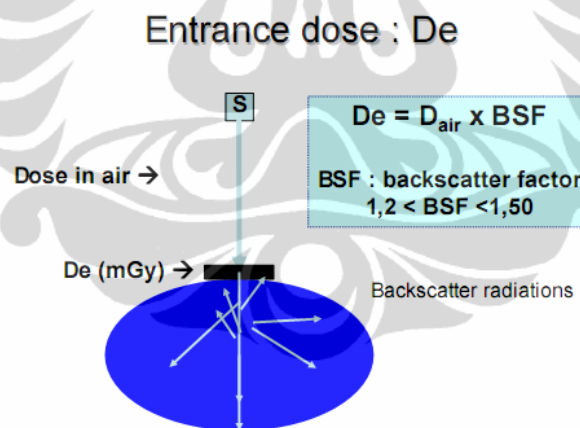
$$E = \sum w_t \sum w_r \cdot D_{TR} \quad (\text{persamaan 1.1})$$

D_{TR} adalah rata-rata dosis yang diserap oleh jaringan T, w_r adalah faktor pemberat radiasi ($w_r = 1$ untuk foton), dan w_t adalah faktor pemberat jaringan T dengan $\sum w_t = 1$.

Lebih lanjut, penilaian dan interpretasi dosis efektif pada pasien yang menerima paparan medis menjadi suatu masalah tersendiri ketika hanya sebagian organ dan jaringan yang menerima radiasi atau paparan yang bersifat heterogen seperti yang umum terjadi di radiologi diagnostik dan intervensional. Dalam kasus ini, laporan dari dosis organ bisa menjadi suatu alternatif. Kuantitas yang sering digunakan adalah pengukuran dosis masuk permukaan atau yang lebih umum dikenal dengan ESD (*entrance surface dose*) atau DE (*dose entrance*) dan dosis produk luasan atau DAP (*dose area product*).



Gambar 2.1 Pengukuran ESD dan DAP
(diadopsi dari Michael H. Bourguignon, IRPA 12 Congress 2008)



Gambar 2.2 Pengukuran ESD dan Persamaan yang Digunakan
(sumber: Michael H. Bourguignon, IRPA 12 Congress)

ESD adalah dosis yang diserap di udara pada permukaan tubuh pasien di sumbu pusat lapangan radiasi, termasuk didalamnya kontribusi dari radiasi hamburan balik dari jaringan di bawah permukaan. ESD umumnya diukur menggunakan *thermoluminescent dosimeter* (TLD). Sedangkan *Dose area product* (DAP) didefinisikan sebagai integral dosis yang diserap di udara (atau kerma udara) atas luasan berkas sinar-X tegak lurus sumbu berkas. DAP diukur

di udara bebas, sehingga tidak ada radiasi dari hamburan balik. Pengukuran ESD sering digunakan untuk pemeriksaan radiografi, sedangkan DAP biasanya digunakan untuk pemeriksaan dengan mode fluoroskopi.

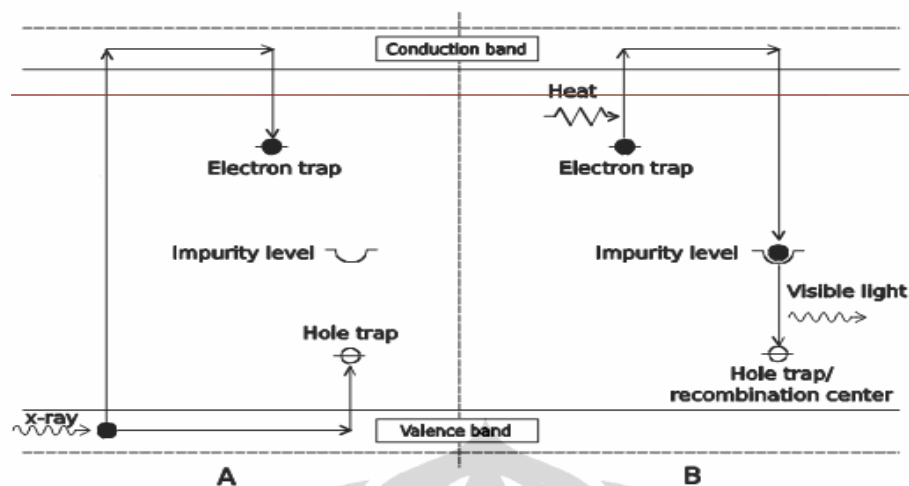
2.4 Dosimeter Diagnostik

Ada berbagai dosimeter yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai ESD dari suatu pemeriksaan radiografi. Untuk mendapatkan ESD pasien dengan metode (pengukuran) langsung umumnya digunakan *thermoluminescence dosimeter* (TLD). Sedangkan untuk pengukuran ESD dengan metode tidak langsung, cukup banyak dosimeter yang dapat digunakan untuk mendapatkan parameter kondisi pesawat, mulai dari dosimeter bilik ionisasi, sintilasi hingga semikonduktor.

1. *Thermoluminescence dosimeter* (TLD)

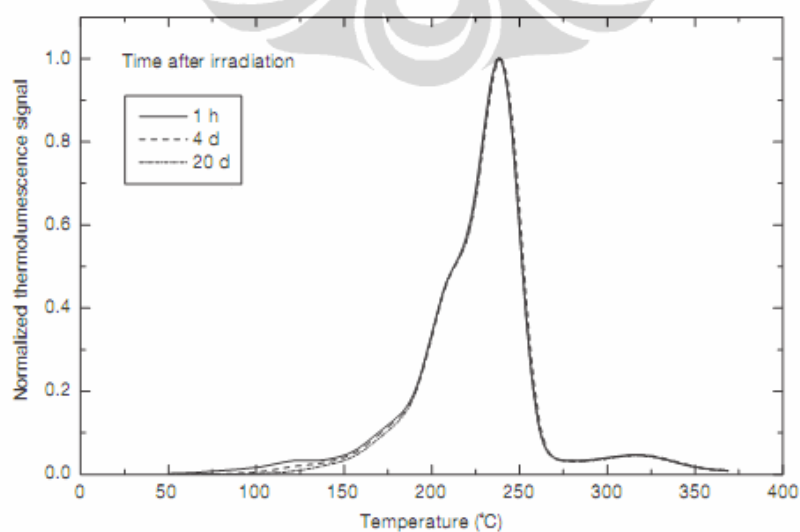
Dosimetri termoluminisensi adalah sebuah teknik dosimetri relatif yang cukup tua yang pertama kali diaplikasikan sekitar 100 tahun lampau. Prinsip kerja dosimeter ini berdasarkan fenomena *thermoluminescence* (TL). Dikutip dari Bushberg [3], dalam penggunaannya, sebuah TLD dipapar dengan radiasi pengion. Pembacaannya dilakukan dengan jalan pemanasan kristal TLD di depan *photomultiplier tube* (PMT). Jumlahnya cahaya yang dipancarkan dari kristal TLD saat dipanasi proporsional dengan jumlah energi yang diserap TLD.

Saat radiasi pengion berinteraksi dengan kristal TLD, maka elektron pada atom-atom kristal melompat ke tingkat energi yang lebih tinggi dimana elektron tersebut menetap terperangkap oleh zat pengotor pada kristal (biasanya digunakan mangan atau magnesium) hingga dipanasi. Untuk pembacaan, TLD dipanasi yang menyebabkan elektron pada kristal kembali ke keadaan awalnya (*ground state*) sambil mengemisikan atau memancarkan foton dengan energi yang sebanding dengan selisih antara kondisi ‘terjebak’ (*trap state*) dengan kondisi awal (*ground state*). Proses pemancaran foton akibat pemanasan ini disebut termoluminisensi. Elektron-elektron juga dapat kembali ke kondisi awalnya namun ini membutuhkan waktu yang sangat lama. Efek ini disebut *fading* yang besarnya bergantung energi radiasi dan material TLD.

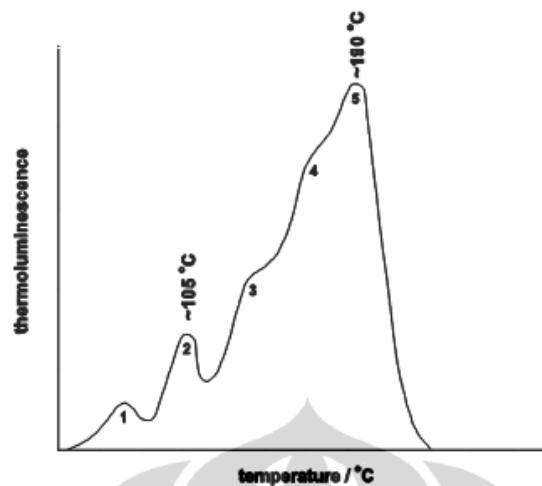


Gambar 2.3 Skema Proses Thermoluminisasi [7]

Spektrum intensitas cahaya memiliki puncak yang terjadi pada temperatur T_m yang disebut *glow peak*. Pada kebanyakan material TL ada lebih dari satu tipe ‘jebakan’. Jebakan-jebakan ini memiliki celah energi yang berbeda-beda, sehingga masing-masing jebakan memiliki temperatur yang berbeda-beda untuk mengosongkan elektron dari jebakan tersebut. Akibatnya semakin banyak pula *glow peak* yang dihasilkan. Kumpulan *glow peak* ini membentuk kurva yang disebut *glow curve* yang dapat diproyeksikan terhadap temperatur maupun waktu seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Tipikal Thermogram (*Glow Curve*) dari LiF:Mg,Ti Diukur Menggunakan TLD Reader dengan Laju Pemasaran Rendah [15]



Gambar 2.5 *Multiple Glow Curve Trap* dari LiF:Mg,Ti [7]

Alat untuk membaca TLD disebut *TLD reader*. Dalam *TLD reader* ini terjadi proses pemanasan TLD hingga terjadi *thermoluminescence*, kemudian cahaya yang diemisikan oleh TLD ini ditangkap oleh *photo-multiplier tube* (PMT) dan intensitas cahaya tersebut dikonversikan kedalam sinyal dengan satuan *nano Coulomb* (nC). Nilai nC ini menggambarkan besarnya muatan yang terjebak. Intensitas total TL sebanding dengan jumlah elektron yang terjebak dan sebanding pula dengan energi radiasi yang diserap. Ini berarti intensitas cahaya yang diemisikan kristal TL berbanding lurus dengan dosis radiasi. Sebelum digunakan, TLD harus di-*anneal* pada temperatur tertentu untuk menghapus sinyal residu.

Secara umum terdapat 2 (dua) jenis TLD yang semuanya tersusun oleh kristal-kristal kecil, yaitu *calcium fluoride* dan *lithium fluoride*. Jenis *calcium fluoride* digunakan untuk mengukur paparan dari radiasi gamma ataupun sinar-X, sedangkan *lithium fluoride* mengukur radiasi gamma (atau sinar-X) dan neutron. TLD yang paling umum digunakan dalam aplikasi medis karena sifat *tissue equivalent*-nya adalah LiF:Mg,Ti, LiF:Mg,Cu,P dan Li₂B₄O₇:Mn yang tersedia dalam berbagai bentuk, seperti bubuk, kepingan (*chip*), batangan dan pita (*ribbon*) [15]. *Lithium fluoride* memiliki keunggulan lain diantaranya yaitu respon terhadap energi yang relatif datar, *fading* rendah dan sensitivitas yang 'layak'. LiF dalam bentuk LiF:Mg,Ti (TLD-100) telah digunakan secara luas

sejak lebih dari 25 tahun lampau dan digunakan sebagai standar pembandingan atas berbagai pengembangan fosfor baru. Salah satu pengembangan TLD-100 yaitu TLD-100H atau LiF:Mg,Cu,P yang memiliki karakteristik hampir sama dengan TLD-100 namun dengan tingkat sensitivitas yang lebih tinggi, -bisa mencapai 25 kali sensitivitas TLD-100, dan hanya memiliki 1 (satu) puncak termoluminisasi (TL) pada 220 °C.

Penggunaan TLD sebagai dosimeter memiliki berbagai keuntungan, selain *tissue equivalen* dan tidak mempengaruhi citra dalam radiodiagnostik, TLD juga memiliki ukuran yang kecil dengan jangkauan yang linier dan luas terhadap radiasi, serta dapat digunakan berulang-ulang. Namun ada juga kekurangan yang menjadi perhatian dalam penggunaan TLD sebagai dosimeter, diantaranya adanya sedikit ketidak-konsistenan sensitivitasnya, mudah mengalami kontaminasi permukaan (akibat gas nitrogen) dan mudah mengalami kerusakan struktural (tergores, dll).

2. Unfors Xi

Unfors Xi adalah salah satu merek multimeter keluaran Unfors Instrument Inc., yang dapat digunakan untuk mengukur karakteristik dari suatu pesawat sinar-X, mulai dari kVp, mAs, waktu, dosis (dan laju dosis), hingga nilai HVL. Detektor dalam multimeter ini menggunakan prinsip *solid state* dan dalam mengukur dosis hanya dapat mengukur besarnya *kerma insiden* (K_i).



Gambar 2.6 Dosimeter Unfors Xi yang Terdiri dari Detektor dan *Base Unit*

Dikutip dari [www.ucl.dk/media\(1315,1030\)/Unfors_Xi_lang.pdf](http://www.ucl.dk/media(1315,1030)/Unfors_Xi_lang.pdf) [30], Unfors tersusun atas sebuah *base unit* dan detektor eksternal yang dihubungkan oleh kabel. Detektor eksternal digunakan untuk mengukur parameter radiasi melalui beberapa lapangan sensor untuk berbagai aplikasi. Terdapat 3 (tiga) sensor dalam detektor ini : *R/F high sensor* yang didesain untuk pengukuran laju dosis tinggi konvensional, -umumnya antara detektor dengan sumber sinar-X tidak ada fantom; *R/F low sensor* yang didesain untuk pengukuran laju dosis rendah konvensional, -umumnya fantom diletakkan diantara detektor dengan sumber sinar-X; dan *Mammo sensor* yang didesain untuk pengukuran laju dosis rendah dan tinggi dalam mammografi. Setiap lapangan sensor secara bersamaan mengukur parameter-parameter radiasi seperti dosis, laju dosis, kVp, waktu, pulsa, dosis per *frame*, *frame rate*, HVL dan *waveform*. Setiap selesai eksposi, semua informasi ini otomatis terpampang pada *base unit*. *Active compensation* dari Unfors Xi secara otomatis mengoreksi dosis (dan laju dosis) yang terpampang ke kualitas berkas dengan nilai HVL antara 1 – 14 mm Al, misalnya penambahan filter 45 mm Al pada 140 kVp memberikan nilai HVL sekitar 13 mm Al.

Unfors Xi juga dilengkapi proteksi terhadap hamburan balik. Ini yang menyebabkan bacaan Unfors Xi akan lebih rendah apabila dibandingkan dengan dosimeter bilik ionisasi saat ditempatkan pada sebuah objek. Namun jika Unfors Xi dan dosimeter bilik ionisasi ditempatkan di udara, maka bacaannya akan mendekati sama [30].

2.5 Pengukuran ESD

IAEA *Technical Report Series* No. 457 [16] menjelaskan secara rinci bagaimana memperoleh nilai ESD dari suatu pemeriksaan radiografi. ESD dapat diperoleh melalui 2 (dua) cara, yaitu:

- metode langsung (*direct*) dengan menggunakan TLD, dan
- metode tidak langsung (*indirect*) dengan perhitungan/kalkulasi.

1. Pengukuran langsung menggunakan TLD

Metode langsung (*direct*) ini diklaim paling mudah dilakukan yakni

pengukuran ESD hanya dengan menempatkan *thermoluminescencedosemeter* (TLD) pada pasien yang akan menjalani pemeriksaan radiodiagnostik. Dosimeter tersebut diletakkan pada permukaan tubuh pasien di sumbu pusat lapangan radiasi dan nantinya dosimeter akan merekam jumlah dosis permukaan pasien termasuk dari radiasi hamburan balik tubuh pasien.

Hampir semua institusi proteksi radiasi baik nasional maupun internasional merekomendasikan pengukuran ESD menggunakan metode ini. Karena menggunakan TLD, maka ESD dari metode ini diistilahkan sebagai ESD_{TLD} . Namun penggunaan TLD dirasa cukup mahal dan membutuhkan perhatian khusus terutama pada penanganan pra dan post-iradiasi. Karena itu ditawarkan satu metode alternatif, yaitu pengukuran tidak langsung.

2. Pengukuran tidak langsung atau metode kalkulasi

Metode tidak langsung (*indirect*) yaitu suatu metode alternatif pengukuran ESD yang didasarkan dari perhitungan atau kalkulasi atas parameter-parameter eksposi (kVp, mAs, FSD dan luas lapangan) dan kondisi keluaran pesawat serta faktor hamburan balik (*BSF/backscatter factor*). Kondisi keluaran pesawat yang dimaksud adalah *output tube* (O/P) yang merupakan jumlah dosis radiasi per mAs pada jarak tertentu. *Output tube* ini bebas dari radiasi hamburan balik dan dapat diukur menggunakan berbagai dosimeter (umumnya dilakukan pada saat uji fungsi pesawat). Dosimeter yang umum digunakan dalam metode ini adalah bilik ionisasi (*ionization chamber*) ataupun multimeter dengan sensor *solid state*.

Untuk mendapatkan suatu nilai *output tube* yang bebas dari radiasi hamburan balik, biasanya pengukuran dilakukan di udara dengan jarak FDD (*focus detector distance*) 100 cm dan jarak minimal detektor dari permukaan meja sekitar 25 cm, tanpa pasien atau fantom. Dosis yang terbaca oleh dosimeter dibagi dengan jumlah mAs saat eksposi adalah nilai *output tube*, dan nilainya spesifik untuk setiap pesawat sinar-X dan setiap nilai beda potensial tabung. Beberapa referensi merujuk nilai ESD yang didapat dari metode tidak langsung ini sebagai ESD_{Calc} ataupun ESAK (*entrance surface air kerma*).

Tidak kurang beberapa publikasi internasional menggunakan metode ini, seperti yang dilakukan oleh Tsapaki, dkk di Yunani [29]; Ciraj, dkk di Serbia-

Montenegro [5]; Halato, dkk di Sudan [11]; Obed, dkk di Nigeria [23]; Skrk, dkk di Slovenia [27]; Krisanachinda, dkk di Thailand [20] dan yang cukup baru dilakukan oleh Hemtiwakorn juga di Thailand pada tahun 2008 [12]. Bahkan Tsapaki, dkk dan Hemtiwakorn secara khusus melakukan perbandingan antara kedua metode pengukuran ESD ini.

3. Komparasi kedua metode

Tsapaki, dkk [29] di Yunani membandingkan dosis yang diterima pasien dengan kedua metode pengukuran ESD pada 4 (empat) jenis pemeriksaan radiografi, yaitu dada PA dan lateral, *supine abdomen*, *erectus abdomen* dan *urinary tract*. Tsapaki mendapatkan perbedaan antara ESD_{TLD} dan ESD_{Calc} sangat kecil, dan selisih ini masih dapat dijelaskan dari faktor ketidak-pastian (*uncertainty*) yang melekat pada kedua metode. Hanya saja untuk pemeriksaan PA dada, ESD_{Calc} 50 % lebih tinggi dari ESD_{TLD} . Hal ini kemungkinan karena untuk pemeriksaan PA dada, ESD_{TLD} mendekati nilai batas minimum deteksi TLD, sehingga akurasinya sedikit dipertanyakan pada kondisi tersebut.

Sedangkan Hemtiwakorn [12] di Thailand pada 2008 meneliti dosis pada 4 (empat) jenis pemeriksaan yaitu *AP abdomen*, *AP lumbar spine*, PA dada dan *lateral skull* dari fantom Alderson Rando. Dosimeter yang digunakan untuk metode tidak langsung adalah 6 cm^3 bilik ionisasi dari Radcal, dan untuk metode pengukuran langsung digunakan TLD-100H yang berbentuk kepingan (*chip*). Hasil penelitiannya menunjukkan ESD_{Calc} sedikit lebih tinggi dibandingkan nilai ESD_{TLD} dengan deviasi sekitar 20 %.

2.6 Radiografi Kepala dan *Cervical Spine*

2.6.1 Pemeriksaan radiografi kepala

Pemeriksaan radiologi terhadap kepala (*cranium*) ditujukan untuk mengetahui struktur tengkorak terutama pada kasus trauma kepala akibat benturan. Disamping itu radiografi kepala juga sangat membantu dalam diagnosa suatu penyakit yang bersumber di kepala misalnya sinusitis, gangguan pendengaran, gangguan penglihatan dan lain-lain.

Berdasar *The American Registry of Radiologic Technologists*[®] (ARRT), ada sekitar 8 (delapan) bidang pemeriksaan untuk radiografi kepala, yaitu: *skull*, *facial bones*, *mandible*, *zygomatic arch*, *temporomandibular joints*, *nasal bones*, *orbits* dan *paranasal sinuses*. Diantara kedelapan pemeriksaan tadi, berdasarkan pengamatan di lapangan, pemeriksaan yang paling umum dilakukan adalah *skull* pada kasus trauma kepala dan *paranasal sinuses* (sinus paranasal) pada kasus sinusitis.

Beberapa jenis proyeksi yang biasa digunakan dalam pemeriksaan radiografi kepala:

1. Pemeriksaan *Skull*
 - a. Proyeksi AP (*Antero-Posterior*) *Skull*



Gambar 2.7 Proyeksi AP *Skull*

Posisi pasien:

Pasien diposisikan tidur *supine* di atas meja pemeriksaan, dengan *MSP* tubuh tepat pada *mid line* meja pemeriksaan. Selanjutnya kepala diposisikan AP, dengan menempatkan *MSP* kepala dan *orbito meatal line* (OML) tegak lurus pada bidang film. Pastikan tidak terjadi perputaran atau pergerakan objek kepala dan letakan marker yang sesuai R atau L.

Central ray diatur tegak lurus bidang film tepat dipertengahan film, dengan menyalakan lampu kolimator dan batasi luas lapangan penyinaran sesuai dengan besarnya objek. *Central point* tepat pada *glabella* atau pada *nasion*, dengan memposisikan *glabella* atau *nasion* tepat dipertengahan bidang film.

Universitas Indonesia

Setelah semua siap maka dilakukan eksposi dengan faktor eksposi yang disesuaikan untuk pemotretan kepala posisi AP dan dilanjutkan pengolahan citra.

Kriteria gambaran:

Seluruh kepala tampak pada proyeksi *antero-posterior*, batas atas verteks, batas bawah *simphysis menti*, kedua sisi tidak terpotong. Ukuran kepala simetris, jarak batas *orbita* dengan lingkaran kepala kiri dan kanan sama. *Sinus frontalis*, *maksilaris*, *sinus ethmoidalis*, dan *crista galli* harus tampak. Begitu pula *Os frontalis* yang tampak jelas dan marker R/L harus tervisualisasi.

b. Proyeksi PA (*Postero-Anterior*) *Skull*



Gambar 2.8 Proyeksi PA *Skull* dengan 0° Angulasi

Posisi pasien:

Pasien tidur pada posisi *prone* di atas meja pemeriksaan, dengan *MSP* tubuh tepat pada *mid line* meja pemeriksaan. Kepala diposisikan PA, dengan menempatkan dahi dan hidung menempel meja pemeriksaan, *MSP* kepala dan *Orbito meatal line* (OML) tegak lurus pada bidang film. Jika memungkinkan, dagu diganjal dengan spons. Pastikan tidak terjadi perputaran atau pergerakan objek kepala.

Central ray diatur tegak lurus bidang film tepat dipertengahan film, dengan menyalakan lampu kolimator dan batasi luas lapangan penyinaran sesuai dengan besarnya objek. *Central point* tepat pada *glabella* atau pada *nasion*, dengan memposisikan *glabella* atau *nasion* tepat dipertengahan bidang film.

Setelah semua siap, lakukan eksposi dengan faktor eksposi yang disesuaikan untuk pemotretan kepala posisi PA dan dilanjutkan pengolahan citra.

Kriteria gambaran:

Keseluruhan *cranium* dengan batas atas vertex, batas bawah *simphysis menti*, bagian samping kanan dan kiri kepala tidak terpotong. *Sinus frontalis*, *maksilaris*, *ethmoidalis*, *dorsum sellae*, *PCA*, bagian *superior sinus ethmoidalis*, *crista galli*, dan lingkaran *orbita* terlihat. Jarak batas lateral kepala simetris serta marker R/L tervisualisasi.

c. Proyeksi Lateral *Skull*



Gambar 2.9 Proyeksi Lateral *Skull*

Posisi pasien:

Pasien tidur pada posisi semi *prone* di atas meja pemeriksaan, dengan *MSP* tubuh tepat pada *mid line* meja pemeriksaan. Kepala diposisikan lateral, dengan menempatkan *MSP* kepala dan *Infra orbito meatal line* (IOML) sejajar pada bidang film serta *Inter pupillary line* (IPL) tegak lurus dengan bidang film. Letakan marker yang sesuai, fiksasi kepala agar tidak terjadi pergerakan objek.

Central ray tegak lurus bidang film tepat dipertengahan film, dengan menyalakan lampu kolimator dan batasi luas lapangan penyinaran sesuai dengan besarnya objek. *Central point* diatur tepat pada daerah 5 cm di atas *meatus acusticus externa* (MAE), dengan memposisikan daerah tersebut tepat dipertengahan bidang film. Setelah siap, lakukan eksposi dengan faktor eksposi

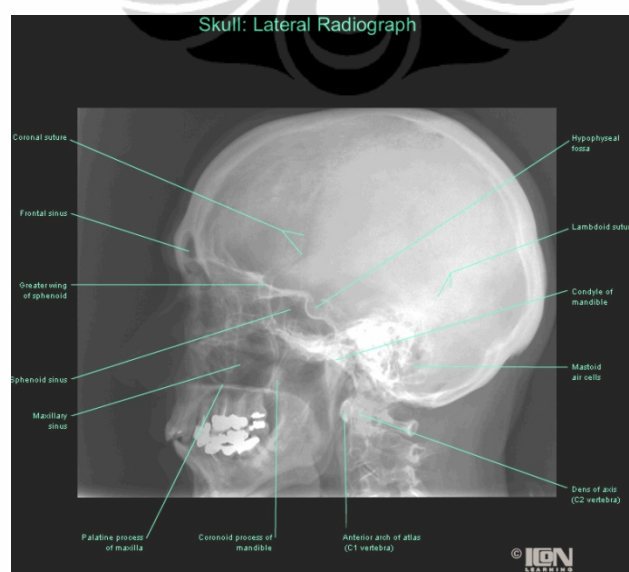
yang disesuaikan untuk pemotretan kepala posisi lateral dan dilanjutkan pengolahan citra.

Kriteria gambaran:

Seluruh *cranium* lateral batas atas vertex, batas belakang *os occipital*, batas depan jaringan lunak hidung. *Sella tursica* tidak berotasi. PCP & PCA, *dorsum sellae* tampak. *Ramus mandibula* super-posisi. *Mastoid* super-posisi. Begitu pula MAE super-posisi.



Gambar 2.10 Hasil Citra AP *Skull* (sumber: ICON Learning System[©])



Gambar 2.11 Hasil Citra Lateral *Skull* (sumber: ICON Learning System[©])

2. Pemeriksaan Sinus Paranasal

a. Proyeksi *Caldwel*

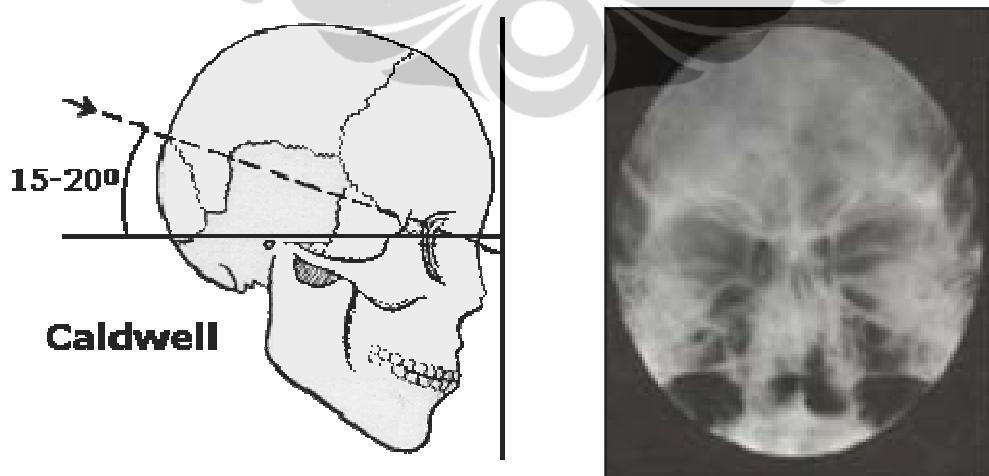
Posisi pasien:

Pasien diposisikan *prone* atau *erect*, dengan MSP tubuh tepat *pada mid line* meja pemeriksaan. Bahu bertumpu sejajar pada bidang transversal dan lengan diletakan disamping tubuh dalam posisi yang nyaman. Kepala diposisikan PA, dengan menempatkan dahi dan hidung menempel diatas kaset. Kepala diatur sehingga *orbito meatal line* (OML) tegak lurus dengan bidang film. Pasien diberitahukan untuk menahan nafas pada saat eksposi.

Central ray 30° *caudally* setinggi pertengahan *orbita*. *Central point* pada pertengahan kedua *orbita*. Jika sudah siap seluruhnya, lakukan eksposi dengan faktor eksposi yang telah disesuaikan untuk pemotretan sinus paranasal posisi *caldwel*. Selesai eksposi lanjutkan pemrosesan film atau CR.

Kriteria gambaran:

Sinus frontalis tampak jelas terproyeksi di atas *sutura frontonasal*. *Sinus ethmoidalis* tampak jelas, *ethmoidal air cells* terproyeksi di atas *petrous ridge*. *Sinus sphenoidalis* terlihat, *petrous ridge* kiri dan kanan simetris terproyeksi di kuadrant ke-3. Jarak batas lateral *orbita* dgn batas lateral kepala kiri dan kanan sama (simetris). Kolimasi sesuai objek yang difoto dan marker R/L harus tampak.



Gambar 2.12 Proyeksi dan Hasil Citra PA *Caldwel*
(sumber: Baylor College of Medicine dan imaging.consult.com)

b. Proyeksi Lateral Sinus Paranasal

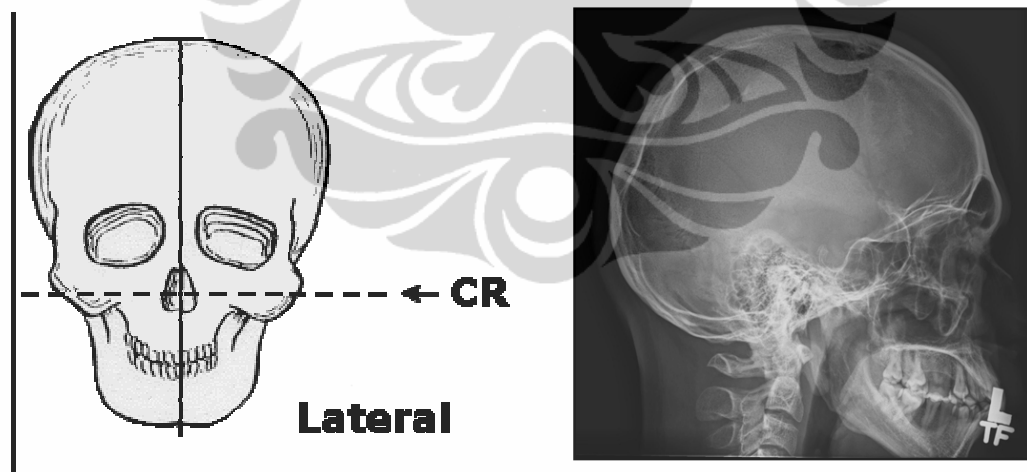
Posisi pasien:

Pasien berdiri menghadap *bucky stand*/standard kaset, posisikan *oblique*. Kepala diposisikan lateral, dengan menempatkan MSP kepala dan *Infra orbita meatal line* (IOML) sejajar pada bidang film. *Inter papillary line* (IPL) tegak lurus dengan bidang film.

Central ray diatur tegak lurus bidang film tepat dipertengahan film, dengan menyalakan lampu kolimator dan batasi luas lapangan penyinaran sesuai dengan besarnya objek. *Central point* diatur 2.5 cm posterior dari *outer cantus*, dengan memposisikan daerah tersebut tepat dipertengahan bidang film. Setelah itu, lakukan eksposi dengan faktor eksposi yang telah disesuaikan untuk pemotretan sinus paranasal posisi lateral dan dilanjutkan pemrosesan citra.

Kriteria gambaran:

Sinus frontalis, maxillaris, sphenoidalis tercakup. *Sella tursica* terproyeksi tanpa rotasi. Cekungan *orbita* dan *ramus mandibula* superposisi. Batas kolimasi sesuai dengan besar objek dan marker R/L harus tampak.



Gambar 2.13 Proyeksi dan Hasil Citra Lateral Sinus Paranasal (sumber: Baylor College of Medicine dan imaging.consult.com)

c. Proyeksi Waters

Posisi pasien:

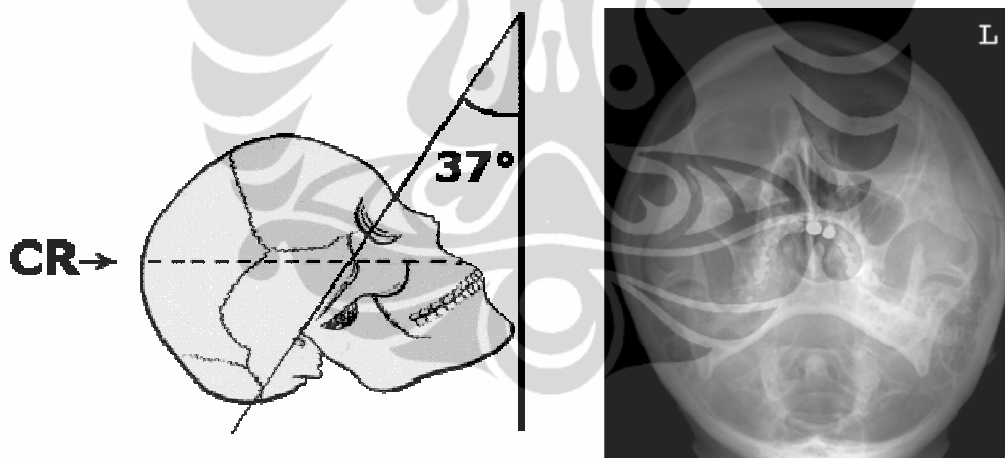
Pasien diposisikan berdiri menghadap *bucky stand*/standar kaset dengan MSP tubuh tepat pada *mid line* kaset. Kedua telapak tangan menempel dinding.

Ekstensikan kepala pada posisi yang benar. Kepala dan dagu diatur sehingga MSP tegak lurus pada bidang film dan OML membentuk sudut 37° dari bidang film.

Central ray tegak lurus bidang film tepat dipertengahan film, dengan menyalakan lampu kolimator dan batasi luas lapangan penyinaran sesuai dengan besarnya objek. *Central point* tepat di *parieto occipital* menembus *acanthion*. Jika sudah siap seluruhnya, lakukan eksposi dengan faktor eksposi yang telah disesuaikan untuk pemotretan sinus paranasal posisi *waters* dan dilanjutkan pemrosesan film atau CR.

Kriteria gambaran:

Sinus maxillaris, *fossa nasalis*, *sinus frontalis* dan *sinus ethmoidalis* (distorsi), batas lateral *orbita* dengan batas lateral kepala kiri dan kanan simetris. *Petrus ridge* terproyeksi di bawah *maxillaries*. Batas kolimasi sesuai dengan besar objek dan marker L/R harus tampak.



Gambar 2.14 Proyeksi dan Hasil Citra *Waters*
(sumber: Baylor College of Medicine dan imaging.consult.com)

2.6.2 Radiografi *Cervical Spine*

Di Amerika Serikat, setiap tahun ada 7000 hingga 10000 pasien yang berobat dengan cedera pada tulang leher. Dan ditambah sekitar 5000 pasien cedera tulang leher yang meninggal di tempat kecelakaan. Hampir setengah dari cedera tulang leher berhubungan dengan cedera sumsum tulang belakang, yang terutama terjadi pada remaja dan dewasa. Tiga penyebab utama cedera ini adalah

Universitas Indonesia

kecelakaan kendaraan bermotor (50%), jatuh (25%) dan cedera akibat olahraga (10%).

Columna vertebrae cervical atau yang lebih umum disebut dengan *cervical spine* terdiri dari tujuh buah tulang yang dimulai tepat di bawah tengkorak dan berakhir di bagian atas tulang *thoracal*. Tulang belakang cervical memiliki backward "C" bentuk (lordotic kurva) dan jauh lebih mobile dari tulang thorakal atau lumbal. Struktur vertebre secara umum memiliki *corpus* atau badan, arcus, dan 7 prosesus yang berada di arcus.

The American Registry of Radiologic Technologist® menyebutkan ada sekitar 10 (sepuluh) posisi dan proyeksi radiografi untuk pemeriksaan *cervical spine*, namun hanya sekitar 4 (empat) proyeksi yang umum digunakan, yaitu:

1. Proyeksi Lateral *Cervical Spine*

Posisi pasien:

Pasien diposisikan erect. Pertengahan MCP tubuh pada pertengahan *bucky stand* dengan kedua tangan pasien di belakang tubuh dan ditarik kebawah agar kedua bahu dalam satu garis horizontal. Elevasikan dagu agar *ramus mandibula* dan tulang *cervical* tidak super-imposisi.

Central ray diarahkan horizontal dengan *central point* pada *cervical IV (cartilage tyroid)*. Jarak focus ke film (*focus film distance/FFD*) sekitar 40 inchi (100 cm).

Kriteria gambaran:

Corpus cervical dalam posisi lateral, pilar *articularis*, interspace antar *cervical*, 5 *zygapophyseal joint* terbawah serta *proccus spinosus* terlihat. Begitu juga ketujuh *columna vertebrae cervical*. Leher ekstensi sehingga *ramus mandibula* tidak overlap dengan *atlas* atau *axis*. Tidak ada rotasi dari *columna vertebrae cervical* yang mencakup terbukanya *zygapophyseal joints* dan *diskus intervertebralis*. *Columna vertebrae cervical IV* berada di pertengahan kaset. Serta terlihat tulang dan jaringan lunak secara detail.



Gambar 2.15 Proyeksi dan Hasil Citra Lateral *Cervical Spine*

2. Proyeksi AP Axial *Cervical Spine*

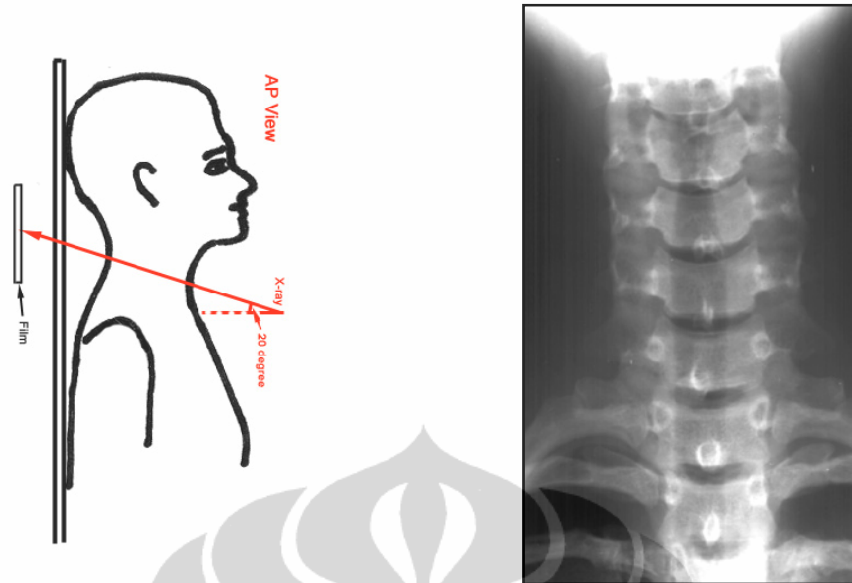
Posisi pasien:

Pasien diposisikan *supine* atau *erect*. Pertengahan MSP tubuh pada pertengahan *bucky stand*/meja pemeriksaan. Daggu pasien diekstensi sehingga *occlusal plane* tegak lurus terhadap *bucky stand*/meja pemeriksaan.

Central ray arah 15° - 20° cephalad dengan *central point* pada *cervical IV* (*cartilage tyroid*). Jarak focus ke film (*focus film distance/FFD*) sekitar 40 inchi (100 cm).

Kriteria gambaran:

5 buah *cervical* terbawah hingga 2 atau 3 korpus tulang *thorakal*, celah *interpediculate*, *prossesus transversum* dan *prossesus artikularis* super-imposisi serta *diskus intervertebralis* terlihat. Bayangan *mandibula* dan *occiput* super-imposisi di atas *atlas* dan sebagian besar dari *axis*. *Diskus intervertebralis* terbuka, jarak *prosesus spinosus* sama jauhnya dari kedua *pedicle* dan berada pada pertengahan korpus *columna vertebrae cervical*. Begitu pula jarak *angulus mandibula* dan *prossesus mastoid* sama jauhnya dari vertebra.



Gambar 2.16 Proyeksi dan Hasil Citra AP Axial Cervical Spine
(sumber: Health Sciences Center Dept. Radiology - University of Virginia)

3. Proyeksi AP Axial Oblique (RPO dan LPO) Cervical Spine

Posisi pasien :

Dalam proyeksi ini pasien bisa diposisikan *semi-supine* atau *erect*. Jika *semi-supine*, pasien diarahkan *supine* di atas meja pemeriksaan. Atur tubuh pasien dalam posisi RPO atau LPO sehingga membentuk sudut 45° terhadap meja pemeriksaan. Jika ada, beriksan alat fiksasi di bawah kepala dan punggung pasien. Elevasikan dagu pasien sehingga *mandibula* tidak super-imposisi dengan tulang *cervical*.

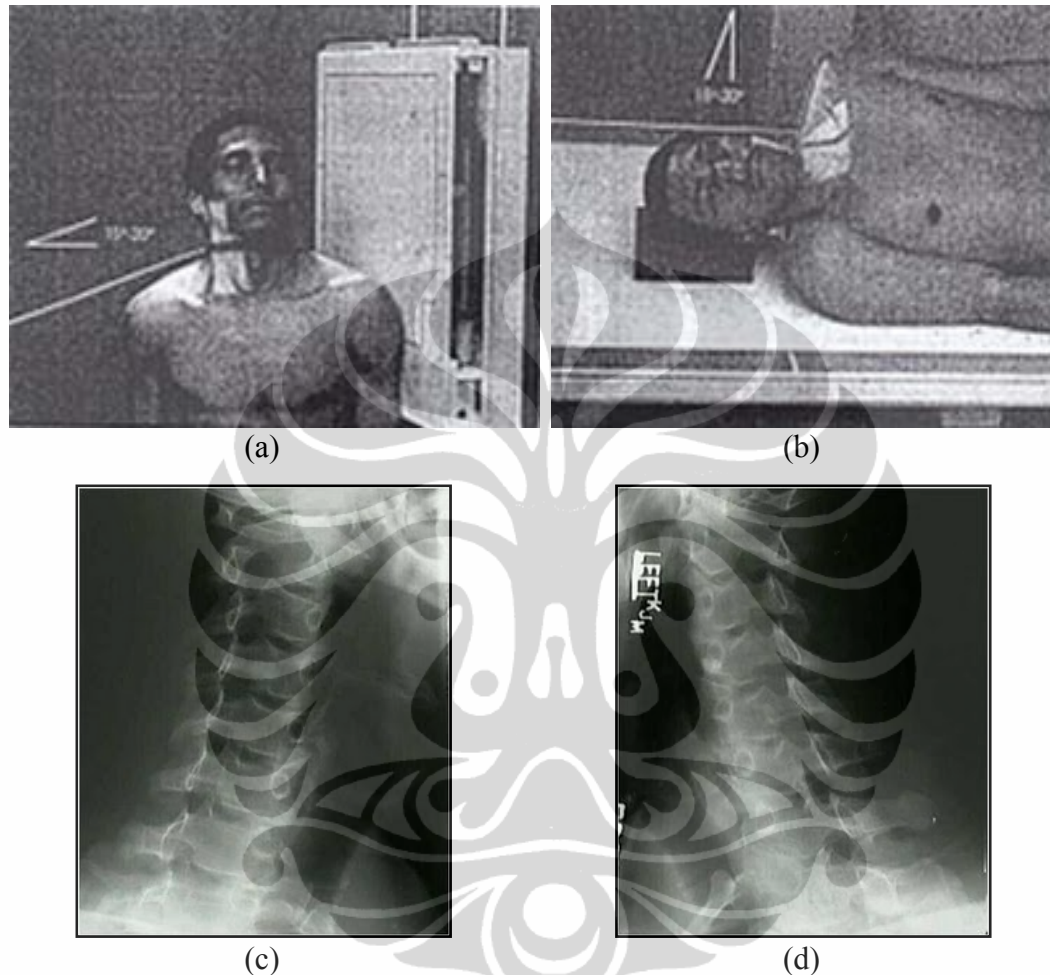
Namun jika pasien diposisikan *erect*, maka pasien diatur berdiri di depan *bucky stand* dengan tubuh pasien dalam posisi RPO atau LPO sehingga membentuk sudut 45° terhadap *bucky stand*. Dagu pasien dielevasikan sehingga *mandibula* tidak super-imposisi dengan tulang *cervical*.

Central ray arah $15^\circ - 20^\circ$ cephalad dengan *central point* pada *cervical IV* (*cartilage tyroid*) dan FFD sejauh 40 inchi (100 cm).

Kriteria evaluasi :

Struktur yang tampak diantaranya *intervertebral foramina*, *pedicle* yang terjauh dari kaset, dan bagian lain dari tulang *cervical*, sert *corpus cervical* dalam posisi *oblique*. Terbukanya *intervertebral foramina* yang terjauh dari kaset, dari *columna vertebrae cervical II-III* sampai *columna vertebrae cervical VII*-

thoracal I. Terbukanya *diskus intervertebralis*. Dielevasikannya dagu sehingga tidak overlap *atlas* dan *axis*. Begitu pula tulang *occipital* tidak overlap dengan *axis*. *Columna vertebrae cervical I-VII* dan *thoracal I* terlihat.



Gambar 2.17 Proyeksi dan Hasil Citra AP Axial Oblique Cervical Spine LPO (a, c) dan RPO (b, d)

4. Proyeksi PA Axial Oblique (RAO dan LAO) Cervical Spine

Posisi pasien :

Di proyeksi ini pasien bisa diposisikan *semi-prone* ataupun *erect*. Untuk posisi *semi-prone*, pasien *supine* di atas meja pemeriksaan. Tubuh pasien dalam posisi RAO atau LAO membentuk sudut 45° terhadap meja pemeriksaan. Beriksan alat fiksasi di bawah kepala dan punggung pasien. Elevasikan dagu pasien sehingga *mandibula* tidak super-imposisi dengan tulang *cervical*.

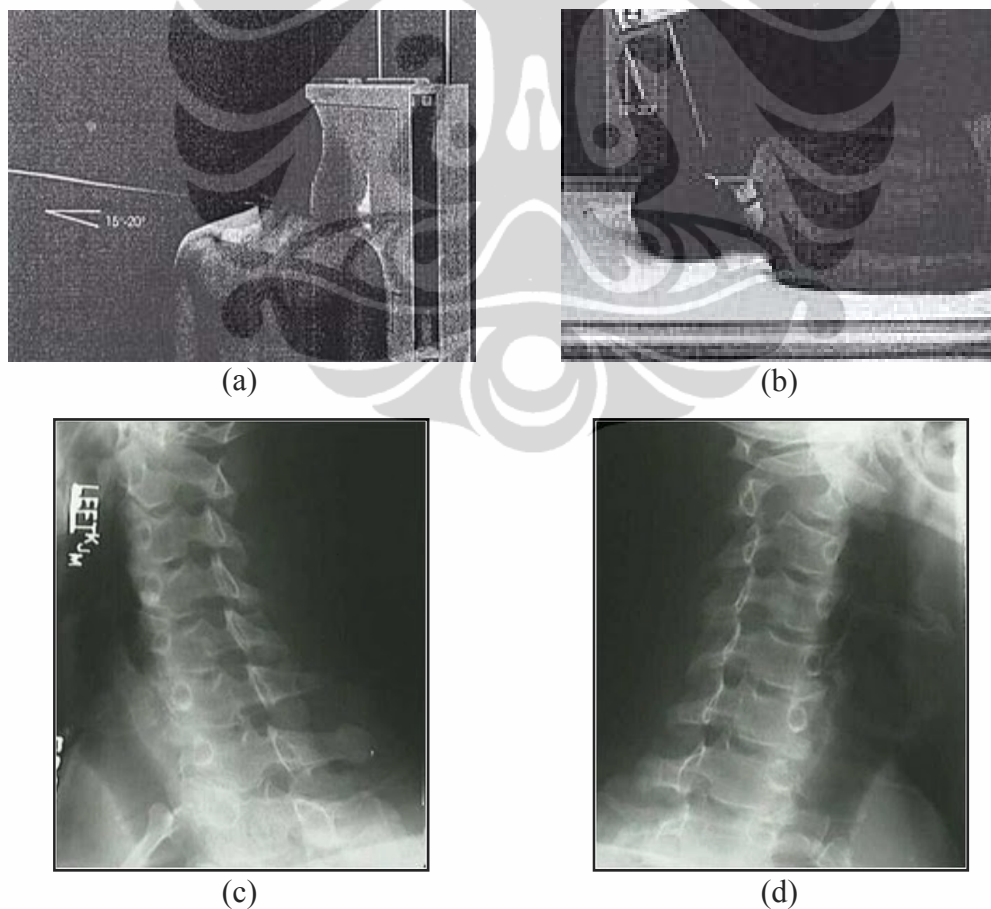
Sedangkan pada posisi *erect* pasien berdiri di depan *bucky stand*. Atur

tubuh pasien dalam posisi RAO atau LAO sehingga membentuk sudut 45° terhadap *bucky stand*. Elevasikan dagu pasien sehingga *mandibula* tidak superimposisi dengan tulang *cervical*.

Central ray diatur $15^\circ - 20^\circ$ cephalad dengan *central point* pada *cervical IV (cartilage tyroid)* dan FFD sekitar 40 inchi (100 cm).

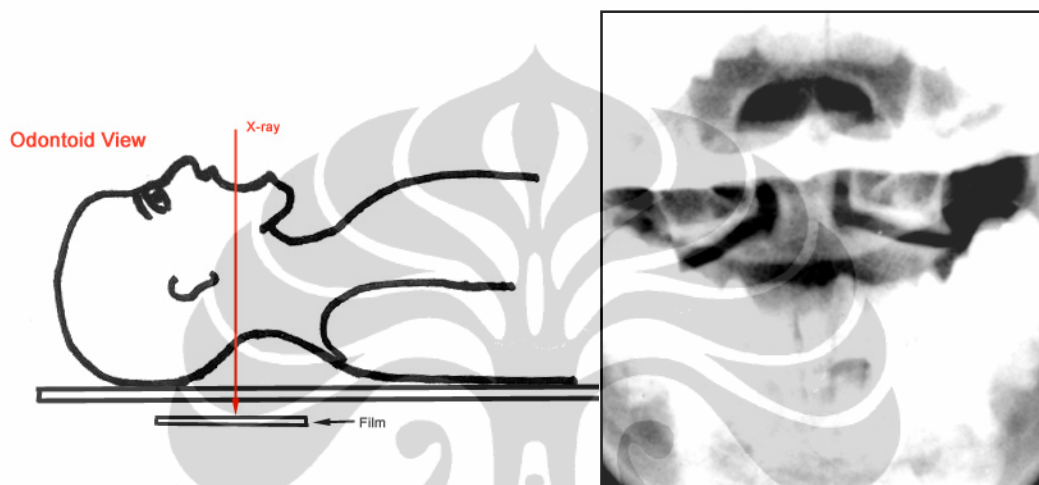
Kriteria gambaran :

Diharapkan didapatkan struktur yang tampak antara lain *Columna vertebrae cervical I-VII* dan *thoracal I*, *intervertebral foramina*, *pedicle* yang terdekat dari kaset, dan bagian lain dari tulang *cervical*, *corpus cervical* dalam posisi *oblique*. Terbukanya *intervertebral foramina* yang terjauh dari kaset, dari *columna vertebrae cervical II-III* sampai *columna vertebrae cervical VII-thoracal I*. Terbukanya *diskus intervertebralis*. Dielevasikannya dagu sehingga tidak overlap *atlas* dan *axis* serta tulang *occipital* tidak *overlapping* dengan *axis*.



Gambar 2.18 Proyeksi dan Hasil Citra PA Axial Oblique Cervical Spine RAO (a, c) dan LAO (b, d)

Selain keempat jenis proyeksi diatas, pada beberapa *pemeriksaan cervical spine* khusus juga dilakukan proyeksi *AP open mouth (odontoid)* dan *swimmer's view*. Proyeksi *AP open mouth* dilakukan untuk mengevaluasi anatomi *atlas (cervical I)* dan *axial (cervical II)* jika citra dari proyeksi *AP axial* maupun lateral serta *oblique* belum dapat memenuhinya. Sedangkan *swimmer's view* dilakukan apabila visualisasi *cervical VII* dan *thoracal I* terhalangi oleh jaringan lunak bahu.



Gambar 2.19 Proyeksi dan Hasil Citra AP *Open Mouth (Odontoid)*
(sumber: Health Sciences Center Dept. Radiology - University of Virginia)



Gambar 2.20 Hasil Citra Proyeksi *Swimmer's View*
(sumber: Health Sciences Center Dept. Radiology - University of Virginia)

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Pesawat Sinar-X

Dalam penelitian ini digunakan 4 (empat) buah pesawat sinar-X dari 3 (tiga) rumah sakit yang berbeda, yaitu:

- 1 (satu) buah pesawat sinar-X milik RS. X buatan tahun 2006 merek **Siemens Iconos R100** model Optillix, tipe insert tube Opti 150/30/50 HC dan nomor seri 1131618 dengan beda potensial maksimum 150 kVp dan arus maksimum 800 mA yang telah mendapatkan izin pemanfaatannya dari BAPETEN No. 013633.1.205.00000.250208. Pesawat ini diberi inisial **1D**.
- 2 (dua) buah pesawat sinar-X milik RS. Y yaitu merek **Siemens Axiom Iconos R100** model Optillix, tipe insert tube Opti 150/30/50 HC dan nomor seri 426136 dengan beda potensial maksimum 150 kVp dan arus maksimum 500 mAs, serta merek **Siemens Vertix U**, tipe 1161525 X 1122 dan nomor seri 02597 dengan beda potensial maksimum 150 kVp dan arus maksimum 800 mAs buatan tahun 1995 yang telah mendapatkan izin pemanfaatannya dari BAPETEN No. 006550.1.204.04000.230710. Pesawat ini masing-masing diberi inisial **1H** untuk Siemens Axiom dan **3H** untuk Siemens Vertix.
- Pesawat sinar-X milik RSUP. Z buatan tahun 1996 merek **Siemens Vertix U**, tipe insert tube 1161525 X 1122 dan nomor seri 03097 S 20 dengan beda potensial maksimum 125 kVp, yang telah mendapatkan izin pemanfaatannya dari BAPETEN No. 005487.1.204.04000.171109. Pesawat ini diberi inisial **1F**.

Sebelum pengambilan data ESD pasien dilakukan, semua pesawat sinar-X ini harus lulus uji fungsi sesuai standar yang ditetapkan.

Reseptor yang digunakan untuk semua rumah sakit adalah sama yaitu CR (*Computed Radiography*) merek Kodak.

3.1.2 Dosimeter

3.1.2.1 Unfors Xi

Dosimeter Unfors Xi ini digunakan untuk uji fungsi pesawat sinar-X yang menentukan apakah suatu pesawat sinar-X layak untuk digunakan atau tidak. Selain itu, hasil dari uji fungsi pesawat sinar-X (*output tube* atau O/P) juga menjadi dasar dari perhitungan ESD secara tidak langsung menggunakan perhitungan atau kalkulasi.

3.1.2.2 *Thermoluminescent Dosimeter* (TLD) dan Sistem TLD

TLD yang digunakan dalam penelitian ini adalah TLD-100 Harshaw terbuat dari Lithium Fluoride: Magnesium, Copper, Phospor (LiF:Mg,Cu,P) yang memiliki nomor atom efektif 8.2 dan ukuran fisik 3.1 x 3.1 mm² dengan ketebalan 0.9 mm. TLD ini dapat digunakan untuk mengukur dosis dalam ukuran 10 uGy hingga 10 Gy dengan respon dosis yang linier. Keunggulan TLD ini adalah mendekati *tissue equivalent*. Puncak thermoluminisasi utama ada pada panjang gelombang 4000 Å dengan *fading* 5 % per tahun pada 20 °C.

TLD reader yang digunakan adalah *TLD reader* milik laboratorium Fisika Medis – Universitas Indonesia dengan merek Harshaw model 3500 buatan Thermo Scientific yang dioperasikan secara manual. *Reader* semacam ini umum digunakan dalam bidang medis, fisika, fisika kesehatan, penelitian, iradiasi makanan dan aplikasi-aplikasi industri. Pada *reader* ini hanya terdapat sebuah laci sampel untuk 1 (satu) elemen TLD. Keunggulan Harshaw model 3500 ini diantaranya adalah dilengkapi pendingin *Thermoelectric PMT* untuk mendapatkan stabilitas yang maksimum, kemampuan pengukuran untuk *quality assurance*, kemampuan substraksi *background* secara otomatis, mudah dalam pengoperasian, perawatan dan perbaikan. Selain itu juga dilengkapi *optional neutral density filter* untuk meningkatkan jangkauan pengukuran yang lebih tinggi, kemampuan pemanasan sampai 600 °C (1112 °F) (untuk model 3500HT), *7 decade glowcurve acquisition range* serta danya fasilitas peringatan dan penghentian jika data TL melebihi batasan yang ditentukan



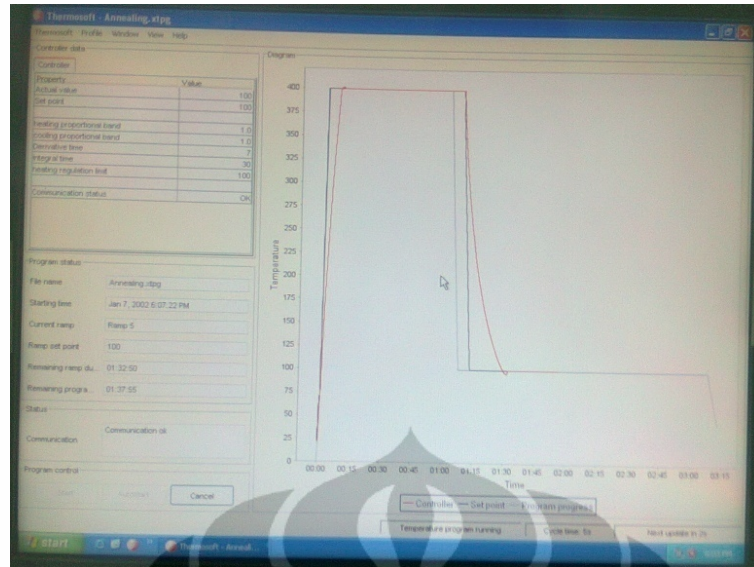
Gambar 3.1 TLD Reader Harshaw Model 3500 dari Thermo Scientific

Software yang digunakan adalah *Windows Radiation Evaluation and Managing Systems (WinREMS)* yang dapat merekam dan menampilkan parameter-parameter bacaan, tanggal dan waktu pembacaan, identifikasi dosimeter, *glowcurve* dan *time/temperature profiles (TTP)* yang disajikan dalam bentuk grafik, integral sampai dengan 4 (empat) ROI (*regions of interest*), *applicable reader calibration factor (RCF)* dan *element correction coefficient (ECC)*, nilai *background* untuk substraksi serta nilai *test light* dan *PMT dark current readings*.

Untuk *annealing* maupun *pre-heating* TLD digunakan oven West model 4100+ dengan software *Thermosoft*.



Gambar 3.2 Oven West Model 4100+



Gambar 3.3 Tampilan Software Thermosoft Saat *Annealing* TLD

3.1.2.3 Bilik Ionisasi

Dosimeter bilik ionisasi (*ionization chamber*) merek Victoreen model 4000M+ milik PTKMR – Batan digunakan pada saat kalibrasi TLD.



Gambar 3.4 Dosimeter Bilik Ionisasi Merek Victoreen 4000M+

3.1.3 Fantom Kepala

Fantom kepala dibuat menggunakan lembaran PMMA atau yang lebih umum dikenal dengan nama *acrylic* dan aluminium tipe 1100 alloy mengacu *AAPM reports* No. 60.

3.1.4 Peralatan Lainnya

Peralatan lainnya yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah alat ukur meteran, timbangan dan *water-pass*.

3.2 Metode

3.2.1 Penentuan Ukuran Standar Orang Indonesia

Penentuan ukuran standar orang Indonesia dilakukan pada awal penelitian. Tujuan dari pengukuran ini adalah untuk mendapatkan gambaran standar ukuran rata-rata tubuh orang dewasa di Indonesia. Survei ini dilakukan di berbagai lokasi pada lebih dari 500 sampel orang dewasa Indonesia yang memiliki ukuran tubuh yang cukup, tidak terlalu gemuk dan tidak terlalu kurus, dilakukan dengan mengukur berat dan tinggi badan, serta mengukur tebal kepala proyeksi *anterior-posterior* (AP) maupun proyeksi lateral.

3.2.2 Uji Fungsi Pesawat Sinar-X

Uji fungsi pesawat sinar-X yang dilakukan sebelum pengambilan data ESD ini dimaksudkan agar pesawat sinar-X yang akan digunakan nanti adalah pesawat yang benar-benar layak pakai dan telah memenuhi standar yang ditetapkan. Pengujian dilakukan dengan menggunakan formulir dari NSW EPA dan dosimeter Unfors Xi.

Beberapa poin penting yang menjadi perhatian dalam uji fungsi pesawat sinar-X radiografi diantaranya keakurasian kVp (*kVp accuracy*), minimum HVL terukur, kemampu-ulangan (*reproducibility*), dan linearitas keluaran (*output linearity*).

Standar yang diacu dalam uji fungsi pesawat radiografi ini adalah *Radiation Safety Act 1975, Workbook 3 Diagnostic X-ray Equipment Compliance Testing* dari *Radiation Council of Western Australia* [25] yang secara prinsip hampir sama dengan *AAPM Report No. 74* [2].

a. Uji keakurasian kVp

Standar RCWA menyatakan bahwa *error* maksimum kVp yang diperbolehkan bagi suatu pesawat radiografi adalah di bawah 5.5 %, sedangkan AAPM 74 maupun EPA mempersyaratkan di bawah 5 %. *Error* maksimum

adalah selisih antara seting kVp dengan kVp terbaca dibagi seting kVp. *Error* maksimum inilah yang menjadi tolok ukur dalam keakurasian kVp.

$$Error_{\max} = \frac{(kVp_{\text{terbaca}} - kVp_{\text{seting}})}{kVp_{\text{seting}}} \cdot 100\% \quad (\text{persamaan 3.1})$$

RCWA juga masih memberikan toleransi dengan beberapa catatan jika *error* maksimum lebih besar dan sama dengan 5.5 % namun masih di bawah 6 %.

b. Uji minimum HVL

HVL atau *half value layer* adalah sebuah indikasi dari kualitas berkas sinar dan diukur sebagai seberapa banyak filter Al yang diperlukan untuk mengurangi dosis menjadi setengahnya. Dengan menggunakan dosimeter Unfors Xi, nilai HVL akan langsung didapatkan sebagai fungsi dari kVp.

RCWA mempersyaratkan minimum HVL adalah sebagaimana tertera pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Nilai HVL Minimum yang Dipersyaratkan oleh RCWA

kVp terukur	HVL, mm Al
70	2.1
80	2.3
90	2.5
100	2.7
110	3.0
120	3.2
130	3.5
140	3.8
150	4.1

c. Uji kemampu-ulangan (*reproducibility*)

Yang dimaksud kemampu-ulangan atau *reproducibility* adalah kemampuan untuk mendapatkan nilai yang sama (atau mendekati sama) ketika dilakukan pengujian pada faktor eksposi yang sama. Umumnya yang diuji dalam tes ini adalah *radiation output* (*output tube* atau O/P), waktu paparan (*time*) dan tegangan tabung. Mengacu RCWA, *reproducibility* dinilai dari koefisien variasinya (CV) yaitu rasio standar deviasi terhadap nilai rata-rata pengukurannya. Batasan yang ditetapkan oleh RCWA yaitu tidak boleh melebihi 0.05.

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} = \frac{1}{\bar{X}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)} \quad (\text{persamaan 3.2})$$

Dengan S adalah standar deviasi, \bar{X} adalah nilai rata-rata pengukuran, X_i adalah pengukuran ke- i dan n adalah jumlah pengukuran.

d. Uji linearitas keluaran (*output linearity*)

Komponen lain yang sangat berpengaruh dalam uji fungsi pesawat sinar-X adalah kelinieran dosis keluaran, -atau yang lebih umum disebut *output linearity*. RCWA menyatakan bahwa *output linearity* dinilai dari besarnya koefisien linearitasnya (CL), yang memiliki persamaan:

$$CL = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{X_{\max} + X_{\min}} \quad (\text{persamaan 3.3})$$

Dengan X_{\max} dan X_{\min} adalah nilai maksimum dan minimum *radiation output tube* dalam satuan uGy/mAs.

Secara umum RCWA mempersyaratkan nilai CL tidak boleh melebihi 0.1.

3.2.3 Preparasi TLD

Secara umum, preparasi TLD dibagi menjadi 2 (dua) tahap yaitu :

- Uji respon dan pengelompokan TLD
- Kalibrasi TLD

A. Uji respon dan pengelompokan TLD

TLD yang digunakan adalah kumpulan TLD dari 4 (empat) tray yang berbeda. Respon dari masing-masing TLD atas radiasi tidaklah sama, karena itu untuk kemudahan penggunaannya diperlukan pengelompokan TLD berdasar respon atau sensitivitasnya. Uji respon dilakukan dengan iradiasi semua TLD dengan dosis yang sama yaitu sebesar 2 mSv dari sumber Cs-137 di laboratorium SSDL – Batan dan besarnya muatan yang terperangkap dalam masing-masing TLD dibaca di laboratorium Fisika Medis – Universitas Indonesia. Setelah didapatkan nilai muatan yang terperangkap di masing-masing TLD dari 4 (empat) tray, kemudian TLD disusun ulang berdasar urutan besarnya muatan yang terperangkap dari yang paling kecil ke yang paling besar dan dibagi ke dalam 4 (empat) kelompok.

B. Kalibrasi TLD

Untuk mengkalibrasi TLD, dari masing-masing kelompok diambil 24 (dua puluh empat) keping TLD, -yang telah dibersihkan dari sisa-sisa radiasi dengan *annealing*, yang dibagi menjadi 2 x 4 (empat) sachet (1 sachet berisi 3 keping TLD), yaitu untuk diiradiasi pada set kVp 60, 70, 80 dan 90. Iradiasi menggunakan pesawat 1D yang telah dilakukan uji fungsi. Untuk mendapatkan hamburan balik yang mendekati nol, TLD ditempatkan diatas 25 cm kardus tipis dan dipapar pada faktor eksposi tertentu (variasi set kVp 60 – 90, 20 mAs, lapangan 10 cm x 10 cm, FDD 82.5 cm). Nantinya bacaan muatan yang terperangkap dalam TLD dapat dianggap sebagai insiden kerma udara (*incident air kerma*).

Berikutnya adalah detektor bilik ionisasi merek Victoreen model 4000M+ milik PTKMR – Batan, -yang telah dikalibrasi, dipapar dengan faktor eksposi yang sama dengan faktor eksposi pada TLD, kecuali bahwa FDD yang digunakan pada detektor bilik ionisasi sebesar 100 cm. Detektor bilik ionisasi ini hanya menangkap insiden kerma udara. Bacaan dari dosimeter bilik ionisasi ini dicatat.

Faktor kalibrasi dari masing-masing kelompok TLD didapatkan dengan membandingkan hasil rata-rata bacaan TLD (satuan nC) untuk masing-masing kelompok, -yang telah dinormalisasi FDD-nya ke 100 cm (sama dengan FDD dosimeter bilik ionisasi), dengan bacaan dosimeter bilik ionisasi (satuan mGy) pada seting kVp yang sama.

$$FK = \frac{\bar{X}_{100}}{\bar{Y}_{100}} \quad (\text{persamaan 3.4})$$

Dengan \bar{X}_{100} adalah bacaan bilik ionisasi dalam satuan mGy dan \bar{Y}_{100} adalah rata-rata bacaan TLD dalam satuan nC.

Untuk dapat digunakan diberbagai jenis pesawat sinar-X, dengan memanfaatkan data hasil uji kendali pesawat sinar-X yang telah dilakukan sebelumnya, faktor kalibrasi yang merupakan fungsi kVp diubah menjadi fungsi HVL. Hal ini dilakukan mengingat kualitas berkas berbeda antara satu pesawat sinar-X dengan pesawat sinar-X yang lain meskipun seting kVp-nya sama.

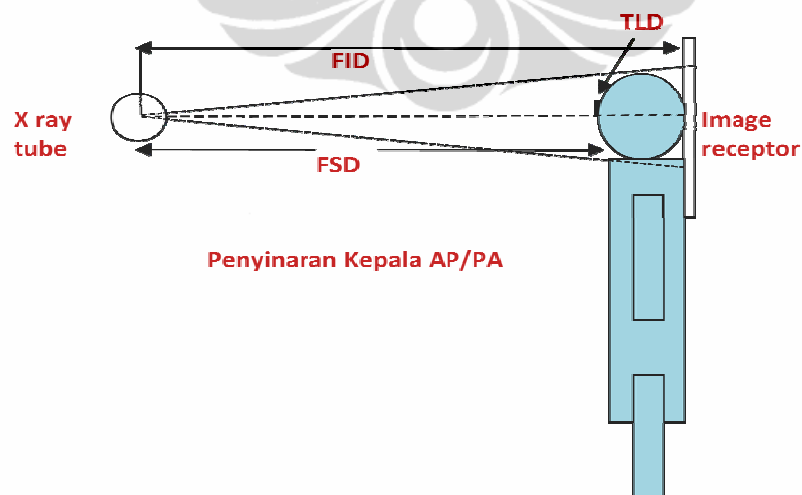
3.2.4 Pengukuran ESD

Pengukuran ESD dilakukan pada pasien dewasa yang menjalani pemeriksaan radiografi kepala (proyeksi AP/PA, lateral dan *waters*) serta *cervical spine* (proyeksi AP dan lateral). Termasuk dalam pemeriksaan kepala AP/PA adalah *skull* AP dan *sinus paranasal* (SPN) PA, sedangkan pemeriksaan kepala lateral meliputi *skull* lateral dan SPN lateral. Untuk pemeriksaan proyeksi *waters*, karena pemosisian pasien dan faktor eksposinya cukup jauh berbeda dengan pemeriksaan kepala AP/PA maka proyeksi ini disendirikan.

Ada 2 (dua) metode pengukuran ESD:

A. Metode langsung (*direct*) dengan menggunakan TLD

Metode langsung ini dilakukan dengan memanfaatkan TLD untuk mengetahui berapa dosis pada permukaan tubuh pasien yang dipapar oleh radiasi sinar-X. 1 (satu) sachet TLD terdiri atas 3 (tiga) keping TLD yang sudah diketahui faktor kalibrasinya dikemas dalam plastik tipis transparan dan ditempelkan dipusat lapangan radiasi pada permukaan tubuh pasien. TLD yang sudah dipapar radiasi dibaca dengan *TLD reader* untuk mengetahui besarnya muatan yang terperangkap dan dikonversikan ke dalam satuan dosis (mGy) sesuai dengan faktor kalibrasinya masing-masing. Tidak lupa dicatat pula faktor eksposi saat penyinaran berlangsung.



Gambar 3.5 Skema Pengukuran ESD secara Langsung Menggunakan TLD pada Pemeriksaan Kepala AP/PA

B. Metode tidak langsung (*indirect*) melalui perhitungan atau kalkulasi

Seperti yang telah diulas di Bab II, metode ini dilakukan dengan menghitung nilai ESD berdasar parameter-parameter eksposi dan *output tube* pesawat. Persamaan yang digunakan adalah:

$$ESAK \text{ atau } ESD_{indirect} \text{ atau } ESD_{Calc} = BSF \cdot mAs \cdot O/P \cdot \left(\frac{FDD}{FSD} \right)^2 \quad (\text{persamaan 3.5})$$

Keterangan :

BSF : faktor hamburan balik yang besarnya antara 1.2 hingga 1.4 bergantung spektrum sinar-X dan luas lapangan radiasi (untuk penelitian ini BSF dianggap tetap 1.38)

mAs : besarnya muatan tabung sinar-X, yang merupakan perkalian arus tabung dengan waktu

O/P : *output tube* pesawat, dalam satuan mGy/mAs, yang didapatkan dari pengukuran pada saat uji fungsi pesawat sinar-X

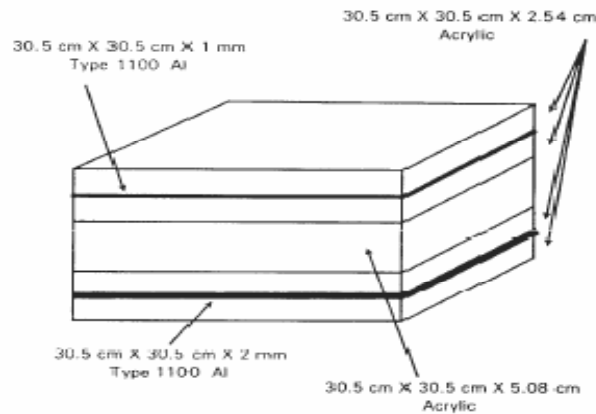
FDD : jarak fokus ke dosimeter pada saat pengukuran *output tube*, dalam satuan cm. Dalam penelitian ini FDD diistilahkan sebagai d_{ref}

FSD : jarak fokus ke permukaan kulit pasien, dalam satuan cm

3.2.5 Pembuatan Fantom Kepala dan Penentuan Faktor Konversi

A. Pembuatan fantom kepala

Fantom kepala ANSI dibuat dengan mengacu pada AAPM (*the American Association of Physicists in Medicine*) Reports No. 60 [1]. Untuk membuat fantom kepala dibutuhkan 4 (empat) lembar acrylic bening dengan ukuran 30.5 cm x 30.5 cm x 2.54 cm, 1 (satu) lembar aluminium tipe 1100 alloy berukuran 30.5 cm x 30.5 cm x 1.0 mm, 1 (satu) lembar aluminium tipe 1100 alloy berukuran 30.5 cm x 30.5 cm x 2.0 mm dan 1 (satu) lembar acrylic dengan ukuran 30.5 x 30.5 x 5.08 cm . Acrylic dan aluminium kemudian disusun seperti Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Skema Fantom Kepala ANSI berdasar AAPM Reports No. 60 [1]

B. Penentuan faktor konversi fantom-pasien

Faktor konversi fantom-pasien perlu dicari karena fantom yang dibuat adalah standar penggunaan untuk orang Amerika dan Eropa, sehingga agar fantom tersebut dapat diterapkan pada orang Indonesia maka dibutuhkan suatu faktor konversi. Yang dimaksud faktor konversi fantom-pasien disini adalah perbandingan antara nilai ESD yang didapatkan dari pengukuran pada pasien terhadap nilai ESD yang didapatkan dari penggunaan fantom baik untuk metode langsung maupun tidak langsung.

Perbandingan terhadap ESD hasil pengukuran langsung :

$$fk_{\text{langsung}} = \frac{ESD_{TLD_{\text{pasien}}}}{ESD_{TLD_{\text{fantom}}}} \quad (\text{persamaan 3.6})$$

Perbandingan terhadap ESD hasil kalkulasi (ESD_{Calc}) :

$$fk_{\text{tidaklangsung}} = \frac{ESD_{\text{Calc pasien}}}{ESD_{TLD_{\text{fantom}}}} \quad (\text{persamaan 3.7})$$

Dengan :

$ESD_{TLD_{\text{pasien}}}$: ESD pada pasien dari pengukuran langsung menggunakan TLD

$ESD_{\text{Calc pasien}}$: ESD pada pasien dari perhitungan atau kalkulasi faktor eksposi

$ESD_{TLD_{\text{fantom}}}$: ESD pada fantom dari pengukuran langsung menggunakan TLD

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Ukuran Standar Orang Indonesia

Berdasarkan pengukuran terhadap 538 orang dewasa yang terdiri dari 274 perempuan dan 264 laki-laki dari usia 18 hingga 86 tahun didapatkan data sebagaimana tersaji pada tabel-tabel di Lampiran A.

Dibandingkan dengan publikasi Tanaka dan Kawamura [28] yang menyatakan bahwa *reference man model* untuk laki-laki Asia dengan ras *Mongoloid* dan *South Caucasoid* adalah usia 35 tahun dengan berat 60 kg dan tinggi 170 cm, dan untuk model perempuan adalah usia 35 tahun dengan berat 51 kg dan tinggi 160 cm, maka didapatkan dalam penelitian ini ukuran tinggi badan yang sedikit lebih pendek namun dengan berat badan yang sedikit lebih berat khususnya pada perempuan yaitu berat 60 kg dan tinggi 165 cm untuk laki-laki serta berat 55.3 kg dan tinggi 152.8 cm untuk perempuan. Sama halnya dengan penelitian di Malaysia yang dilakukan oleh Ng, dkk [22] yang menggunakan sampel pasien dengan berat rata-rata sekitar 60 kg [45 – 75 kg] dan penelitian Oktivasari, dkk [24] di RSPP yang mendapatkan rata-rata berat dan tinggi untuk laki-laki 65 – 71 kg dan 166 – 169 cm serta untuk perempuan 57 – 62 kg dan 154 – 157 cm bervariasi sesuai pengelompokan usia.

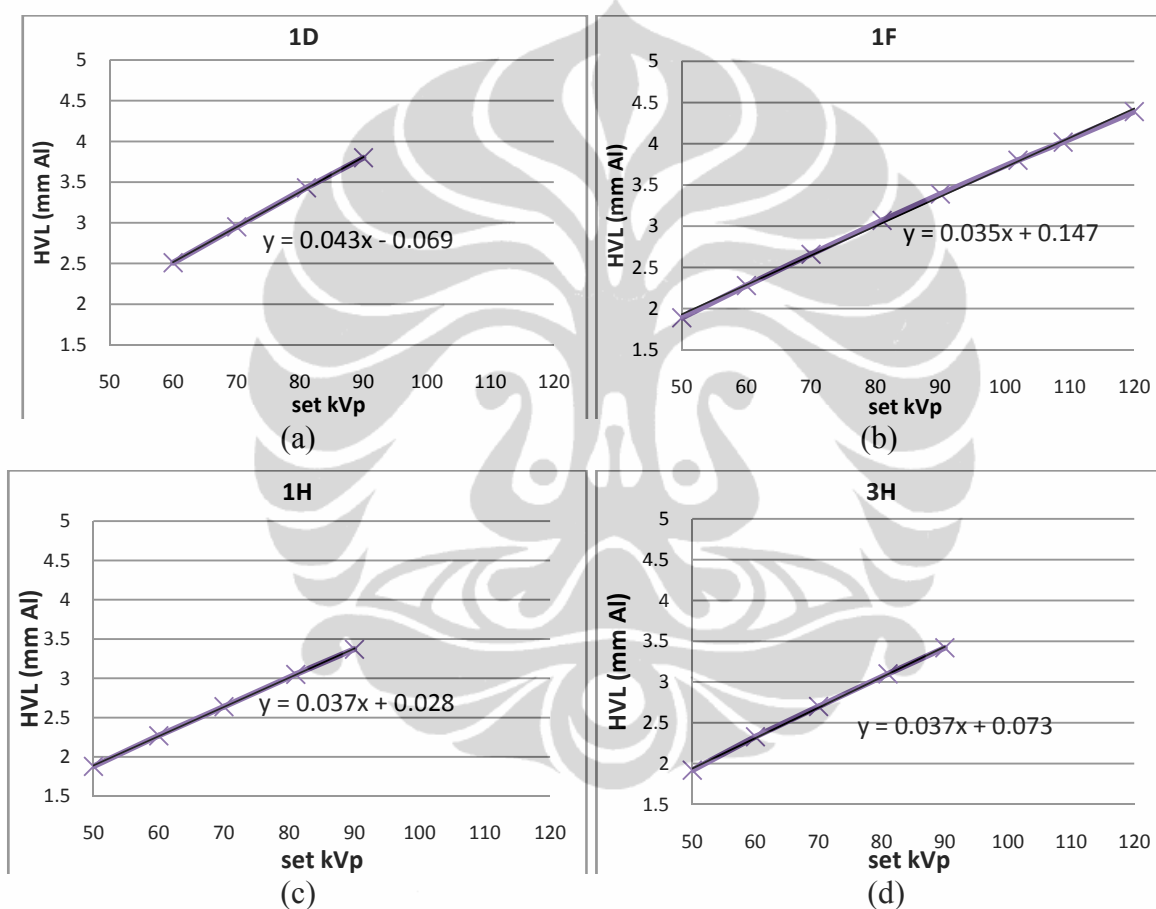
Untuk ukuran tebal kepala orang dewasa standar internasional, sampai saat ini belum ada publikasi yang dapat dipertanggungjawabkan. Hanya ada satu informasi [32] yang menyatakan bahwa ukuran tebal kepala arah AP antara 21 – 22 cm dan arah lateral 17 – 18 cm, namun hal ini belum dapat dipastikan validitasnya. Sedangkan dari penelitian ini didapatkan hasil pengukuran yang jauh lebih kecil, yaitu 17.5 ± 1.0 cm untuk arah AP dan 15.4 ± 0.7 cm untuk arah lateral.

4.2 Uji Fungsi Pesawat Sinar-X

Berdasarkan pengukuran kVp, didapatkan *error* maksimum untuk semua pesawat sinar-X yang akan digunakan dalam penelitian antara 0.2 % sampai 2.7 % sehingga dinyatakan semuanya lulus uji keakurasian kVp karena memiliki

nilai *error* maksimum lebih kecil dari batas standar yang ditetapkan RCWA [25] maupun AAPM *report* No. 74 [2] yakni sebesar 5.5 % (RCWA) dan 5 % (AAPM *report* 74).

Sementara itu, ditinjau dari kualitas berkas sinar-X (HVL) dari masing-masing pesawat, ternyata untuk seting kVp yang sama nilai HVL yang terukur berbeda-beda seperti tampak pada grafik di Gambar 4.1 dengan data tersaji pada Tabel B.2 sampai Tabel B.5 di Lampiran B.



Gambar 4.1 Perbandingan Nilai HVL terhadap Seting kVp untuk Pesawat 1D (a), Pesawat 1F (b), Pesawat 1H (c) dan Pesawat 3H (d)

Dari kurva diatas tampak bahwa pada seting kVp yang sama HVL pesawat 1D paling tinggi sedangkan HVL pesawat 1F paling rendah. Sebaliknya, dosis keluaran tabung pesawat 1F paling tinggi sedangkan pesawat 1D paling rendah dosisnya.

Banyak faktor yang mungkin mempengaruhi perbedaan nilai HVL ini antara lain material anoda, ukuran titik fokus, fase tegangan, keakuratan tegangan, ketebalan dan material filter. Berdasarkan hasil pengukuran dan dibandingkan dengan Tabel 3.1 tentang persyaratan minimum HVL standar RCWA, ternyata nilai HVL yang diperoleh dalam penelitian ini masih cukup jauh diatas standar minimum HVL yang ditetapkan yakni pada rentang 3.05 – 3.43 mmAl untuk seting tegangan 81 kVp sedangkan persyaratan minimum HVL [25] sebesar 2.3 mm Al pada tegangan 80 kVp.

Dari uji kemampu-ulangan (*reproducibility*) didapatkan nilai CV (koefisien variasi) antara 0.001 hingga 0.003 untuk parameter kVp dan *output tube*, serta antara 0 hingga 0.015 untuk parameter *time* atau waktu paparan untuk semua pesawat. Dengan standar RCWA yang mempersyaratkan nilai CV tidak boleh melebihi 0.05 maka ini berarti tingkat *reproducibility* semua pesawat sinar-X yang diuji masih dalam batas yang diijinkan atau memenuhi standar.

Sedangkan untuk uji linearitas keluaran (*output linearity*), penilaian dilihat dari besarnya koefisien linearitas (CL). RCWA mempersyaratkan nilai CL tidak boleh melebihi 0.1, sedangkan dari hasil pengujian didapatkan nilai antara 0.0005 hingga 0.0034 yang artinya semua pesawat sinar-X yang diuji telah lulus uji *output linearity*.

Selanjutnya perlu ditinjau pula hubungan antara tegangan tabung (kVp) dengan paparan radiasi keluaran tabung (*output tube* atau O/P). Ini menjadi penting terlebih karena data atau persamaan dari hubungan tersebut nantinya akan digunakan dalam perhitungan ESD dengan metode tidak langsung atau kalkulasi. Yang harus juga diingat adalah nilai O/P ini adalah bebas dari pengaruh radiasi hamburan balik (BSF).

Sebagaimana disebutkan oleh Tsapaki, dkk [29], berbagai literatur telah mengkaji hubungan antara tegangan tabung (kVp) dengan *output tube* (O/P), mulai dari polinomial orde 2 hingga polinomial orde 3. Ada juga yang menyetujui bahwa persamaan power $O/P = a(kVp)^b$ lebih dapat menggambarkan hubungan antara tegangan tabung dengan *output tube*. Namun Tsapaki, dkk, akhirnya lebih menyetujui penggunaan polinomial orde 2 untuk menggambarkan hubungan tersebut. Hal ini juga diperkuat oleh Bushberg, dkk [3] yang

menyatakan hubungan paparan (keluaran tabung) sebanding dengan kVp^2 dan penelitian Krisanachinda, dkk [20] yang menyatakan hubungan O/P terhadap kVp adalah polinomial orde 2.

Dalam uji fungsi pesawat sinar-X ini pun hubungan antara kVp dengan O/P juga cenderung ke persamaan polinomial orde 2 sebagaimana ditunjukkan dari perbandingan tingkat *error* dari persamaan power maupun polinomial orde 2 seperti pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.4.

Tabel 4.1 Hubungan kVp dengan *Output Tube* Pesawat 1D pada FDD 92 cm

set kV	Output terukur (uGy/mAs)	Persamaan Power $y = 0.002x^{2.299}$		Polinomial orde 2 $y = 0.008x^2 + 0.065x - 8.524$	
		Nilai	Δ /terukur	Nilai	Δ /terukur
60	26.6	24.5	7.9%	24.2	9.0%
70	38.4	34.9	9.1%	35.2	8.3%
81	53.6	48.8	9.0%	49.2	8.2%
90	67.5	62.2	7.8%	62.1	7.9%
Mean error			8.4%	8.4%	
Max error			9.1%	9.0%	
Min error			7.8%	7.9%	

Persamaan untuk pesawat 1D adalah $y = 0.008x^2 + 0.065x - 8.524$ pada d_{ref} (FDD) sebesar 92 cm, dengan y adalah besarnya O/P dalam satuan uGy/mAs dan x adalah seting kVp.

Tabel 4.2 Hubungan kVp dengan *Output Tube* Pesawat 1F pada FDD 100 cm

set kV	Output terukur (uGy/mAs)	Persamaan Power $y = 0.004x^{2.133}$		Polinomial orde 2 $y = 0.007x^2 + 0.240x - 11.77$	
		Nilai	Δ /terukur	Nilai	Δ /terukur
50	19.6	16.8	14.1%	17.7	9.5%
60	31.0	24.8	19.8%	27.8	10.1%
70	43.5	34.5	20.7%	39.3	9.5%
81	59.1	47.1	20.3%	53.6	9.3%
90	73.3	58.9	19.6%	66.5	9.2%
102	93.9	77.0	18.0%	85.5	8.9%
109	106.8	88.7	16.9%	97.6	8.6%
120	130.0	108.9	16.2%	117.8	9.4%
Mean error			18.2%	9.3%	
Max error			20.7%	10.1%	
Min error			14.1%	8.6%	

Persamaan untuk pesawat 1F adalah $y = 0.007x^2 + 0.240x - 11.77$ pada d_{ref} (FDD) sebesar 100 cm, dengan y adalah besarnya O/P dalam satuan uGy/mAs dan x adalah seting kVp.

Tabel 4.3 Hubungan kVp dengan *Output Tube* Pesawat 1H pada FDD 107 cm

set kV	Output terukur (uGy/mAs)	Persamaan Power $y = 0.004x^{2.157}$		Polinomial orde 2 $y = 0.007x^2 + 0.376x - 15.27$	
		Nilai	Δ /terukur	Nilai	Δ /terukur
50	21.4	18.5	13.5%	21.0	1.5%
60	32.4	27.4	15.5%	32.5	0.2%
70	45.6	38.2	16.2%	45.4	0.5%
81	62.0	52.3	15.5%	61.1	1.4%
90	75.6	65.7	13.1%	75.3	0.4%
Mean error		14.8%		0.8%	
Max error		16.2%		1.5%	
Min error		13.1%		0.2%	

Persamaan untuk pesawat 1H adalah $y = 0.007x^2 + 0.376x - 15.27$ pada d_{ref} (FDD) sebesar 107 cm, dengan y adalah besarnya O/P dalam satuan uGy/mAs dan x adalah seting kVp.

Tabel 4.4 Hubungan kVp dengan *Output Tube* Pesawat 3H pada FDD 107 cm

set kV	Output terukur (uGy/mAs)	Power $y = 0.002x^{2.225}$		Polinomial orde 2 $y = 0.006x^2 + 0.071x - 5.366$	
		Nilai	Δ /terukur	Nilai	Δ /terukur
50	14.9	12.1	19.0%	13.2	11.4%
60	23.4	18.1	22.6%	20.5	12.3%
70	32.4	25.5	21.4%	29.0	10.6%
81	44.4	35.3	20.5%	39.8	10.4%
90	55.6	44.6	19.7%	49.6	10.7%
Mean error		20.6%		11.1%	
Max error		22.6%		12.3%	
Min error		19.0%		10.4%	

Persamaan untuk pesawat 3H adalah $y = 0.006x^2 + 0.071x - 5.366$ pada d_{ref} (FDD) sebesar 107 cm, dengan y adalah besarnya O/P dalam satuan uGy/mAs dan x adalah seting kVp.

Secara umum pesawat sinar-X yang menjalani uji fungsi masih memenuhi batasan standar yang ditetapkan. Hasil uji fungsi pesawat sinar-X secara lengkap disajikan dalam Lampiran B.

4.3 Preparasi TLD

Preparasi TLD terdiri atas 2 (dua) tahapan yaitu uji respon dan kalibrasi TLD. Sebelum uji respon, TLD yang terdiri dari 4 (empat) tray dengan total sejumlah 480 keping (120 keping TLD per tray) di-*annealing* untuk menghilangkan muatan akibat radiasi latar. Selanjutnya semua TLD tadi diiradiasi bersamaan dengan menggunakan sumber Cs-137 di SSDL – Batan dengan dosis 2 mSv. Sebelum dilakukan pembacaan menggunakan *TLD reader* milik Laboratorium Fisika Medis – UI, TLD dilakukan *preheat* dengan oven West 4100+ pada temperatur 100 °C selama sekitar 30 menit untuk membersihkan TLD dari muatan-muatan pengotornya. Setelah dibaca berapa muatan yang terjebak dalam masing-masing keping TLD, TLD kemudian diurutkan sesuai urutan nilai bacaan (nC) dari yang terendah hingga tertinggi.

Dari 480 keping TLD ternyata hanya ada sejumlah 467 keping yang dapat digunakan dan dibagi ke dalam 4 (empat) kelompok besar. Kelompok I sejumlah 107 keping TLD yang disusun dalam tray nomor 5 (TL ID 5a01 hingga 5l07) dengan nilai rata-rata 18.308 ± 1.304 nC [14.301 – 19.989 nC], Kelompok II sejumlah 133 keping TLD yang disusun dalam tray nomor 5 dan 6 (TL ID 5l08 hingga 5m10 dan 6a01 hingga 6m10) dengan nilai rata-rata 21.305 ± 0.711 nC [20.004 – 22.589 nC], Kelompok III sejumlah 119 keping TLD yang disusun dalam tray nomor 7 (TL ID 7a01 hingga 7m09) dengan nilai rata-rata 23.733 ± 0.828 nC [22.590 – 25.249 nC], dan Kelompok IV sejumlah 108 keping TLD yang disusun dalam tray nomor 8 (TL ID 8a01 hingga 8l08) dengan nilai rata-rata 27.542 ± 1.888 nC [25.269 – 33.571 nC]. Hasil lengkap uji repon dan pengelompokan TLD ditampilkan pada Tabel C.1 di Lampiran C.

Sedangkan kalibrasi TLD dalam penelitian ini dilakukan setelah pengambilan data untuk pengukuran ESD pasien selesai. Kalibrasi dilakukan menggunakan sumber radiasi dari pesawat ID dan dosimeter bilik ionisasi Victoreen 4000M+.

8 (delapan) sachet yang terdiri dari 24 (duapuluh empat) keping TLD yang mewakili masing-masing kelompok diambil untuk dipapar pada seting kVp yang berbeda-beda. Untuk masing-masing kelompok, 2 (dua) sachet dipapar pada 60 kVp, 2 (dua) sachet dipapar pada 70 kVp, 2 (dua) sachet dipapar pada 80 kVp, dan 2 (dua) sachet dipapar pada 90 kVp. Untuk mendapatkan nilai kerma insiden, TLD ditempatkan pada kardus tipis setinggi 25 cm. Eksposi dilakukan dengan 20 mAs dan jarak fokus – TLD (FDD) sejauh 82 cm. Setelah semua TLD dipapar, berikutnya adalah dosimeter bilik ionisasi dipapar pada jarak fokus – dosimeter (FDD) sejauh 100 cm, 20 mAs, serta variasi kVp dari 60, 70, 80 dan 90 (masing-masing 3 kali eksposi untuk tiap variasi kVp).

Berdasar referensi yang ada [16], pembacaan dosimeter bilik ionisasi perlu dikalikan dengan faktor koreksi temperatur dan tekanan udara. Namun mengingat temperatur ruangan yang sebesar 21.67 °C sedangkan dosimeter bilik ionisasi dikalibrasi pada temperatur 20 °C dan tekanan udara yang (dianggap) tetap, maka faktor koreksi temperatur dan tekanan ini dianggap (mendekati) 1.

Untuk mendapatkan nilai faktor kalibrasi (FK) TLD, nilai rata-rata bacaan dosimeter bilik ionisasi (dalam satuan mGy) dibagi nilai rata-rata pembacaan TLD (dalam satuan nC) yang sudah dikonversikan FDD-nya ke 100 cm menggunakan *inverse square law*, -sama dengan FDD dosimeter bilik ionisasi, untuk masing-masing variasi kVp yang sama.

Persamaan konversi bacaan TLD dari FDD 82 cm ke 100 cm :

$${}_j^i \bar{X}_{100} = {}_j^i \bar{X}_{82} \cdot \left(\frac{82}{100} \right)^2, \text{ dalam satuan nC} \quad (\text{persamaan 4.1})$$

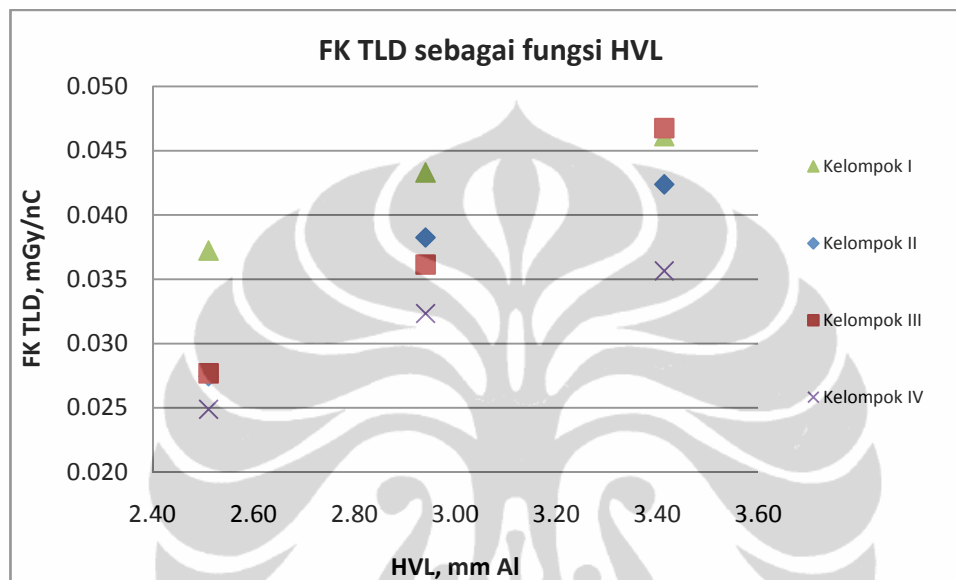
Dimana ${}_j^i \bar{X}_{82}$ adalah rata-rata nilai bacaan TLD (satuan nC) dari kelompok i pada variasi kVp j dengan FDD 82 cm. Sedangkan ${}_j^i \bar{X}_{100}$ adalah rata-rata nilai bacaan TLD (satuan nC) dari kelompok i pada variasi kVp j dengan FDD 100 cm.

Persamaan FK TLD untuk kelompok i pada variasi kVp j adalah :

$${}_j^i FK = \frac{{}_j^i \bar{Y}_{100}}{{}_j^i \bar{X}_{100}}, \text{ dalam satuan mGy/nC} \quad (\text{persamaan 4.2})$$

Dengan ${}_j^i \bar{Y}_{100}$ adalah rata-rata bacaan dosimeter bilik ionisasi (satuan mGy) pada variasi kVp j dengan FDD 100 cm.

Faktor kalibrasi (FK) TLD yang didapatkan spesifik untuk kelompok dan seting kVp tertentu dari pesawat 1D. Agar FK TLD dapat digunakan untuk pengukuran pada pesawat sinar-X lain, maka perlu dibuat persamaan FK TLD sebagai fungsi HVL. Dengan berdasar dari hasil uji fungsi pesawat 1D, maka nilai kVp dikonversi ke nilai HVL sehingga didapatkan grafik pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Hubungan FK TLD terhadap Nilai HVL

Dari grafik pada Gambar 4.2 diatas dapat dibuat persamaan faktor kalibrasi (FK) TLD sebagai fungsi dari HVL untuk masing-masing kelompok TLD. Untuk kelompok I berlaku hubungan $y = 0.015x - 0.002$, untuk kelompok II berlaku $y = 0.015x - 0.008$, untuk kelompok III berlaku $y = 0.018x - 0.017$, dan untuk kelompok IV berlaku $y = 0.015x - 0.013$, dengan y menyatakan FK TLD dan x menyatakan nilai HVL (dalam satuan mm Al).

Hasil lengkap penentuan faktor kalibrasi (FK) TLD ditampilkan pada Tabel C.2 pada Lampiran C.

4.4 Pengukuran ESD

Pengukuran ESD pada pemeriksaan kepala dilakukan pada sebanyak 20 orang pasien yang menjalani pemeriksaan dengan 2 (dua) proyeksi (AP/PA dan lateral) dengan 7 (tujuh) orang pasien diantaranya mendapat tambahan

pemeriksaan *sinus paranasal* proyeksi *waters*. Sedangkan pengukuran ESD untuk *cervical spine* dilakukan pada 16 orang pasien dengan 2 (dua) proyeksi pemeriksaan (AP dan lateral) serta ditambah 1 (satu) orang pasien yang hanya menjalani pemeriksaan proyeksi AP.

Informasi jumlah pasien per pemeriksaan per pesawat dan faktor eksposi yang digunakan ditampilkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Pengelompokan Jenis Penyinaran dan Faktor Eksposi yang Digunakan

Tipe pemeriksaan		Pesawat	ΣPasien	Usia (tahun)	kVp	mAs	HVL (mm Al)	FSD (cm)
Kepala AP/PA	Skull AP	1D	6	54.3 [47-64]	70.7 [70-71.5]	11.8 [10-15]	2.97 [2.94-3.01]	88.2 [82-91]
		1H	6	35.7 [23-54]	70.7 [68-73]	21 [16-32]	2.64 [2.54-2.73]	88.4 [82-101]
	SPN PA	3H	2	64.5 [62-67]	69 [68-70]	17 [16-18]	2.63 [2.59-2.66]	91.5 [90-93]
		1F	7	37.1 [18-66]	82.4 [73-85]	24.3 [20-28]	3.03 [2.70-3.12]	87.3 [82.5-101]
<i>Waters</i>	SPN W	1F	7	37.1 [18-66]	89.3 [85-90]	31 [25-32]	3.27 [3.12-3.30]	82.3 [77.5-96]
Kepala lateral	Skull lat	1D	6	54.3 [47-64]	69.8 [68-71]	11.4 [8-14.5]	2.93 [2.86-2.98]	89.8 [82.5-93.5]
		1H	6	35.7 [23-54]	68.8 [63-73]	18.3 [16-22]	2.57 [2.36-2.73]	95.3 [88-109]
	SPN lat	3H	2	64.5 [62-67]	69 [68-70]	17 [16-18]	2.63 [2.59-2.66]	87 [84-90]
		1F	6	35.3 [18-66]	81.2 [68-85]	22.7 [20-25]	2.99 [2.53-3.12]	90 [87.5-94]
<i>Cervical spine</i> AP		1D	1	47	66	11	2.77	97
		1H	7	53.4 [35-85]	71.7 [66-77]	16.1 [12.5-20]	2.68 [2.47-2.88]	94 [90.5-105.5]
		3H	3	46.7 [40-52]	67.3 [66-68]	15.5 [12.5-18]	2.56 [2.52-2.59]	98 [95-104]
		1F	6	59.8 [36-83]	74.8 [71.5-81]	21.7 [18-28]	2.76 [2.65-2.98]	95.4 [90-100]
<i>Cervical spine</i> lateral		1D	1	47	73	16	3.07	90
		1H	7	53.4 [35-85]	72.3 [68-79]	16.4 [12.5-20]	2.70 [2.54-2.95]	83.6 [81-93]
		3H	2	50 [48-52]	68 [66-70]	14.3 [12.5-16]	2.59 [2.52-2.66]	94.5 [94-95]
		1F	6	59.8 [36-83]	76 [73-81]	22 [18-28]	2.81 [2.70-2.98]	78.1 [72-82]

Proyeksi *waters* hanya dilakukan oleh radiographer dengan pesawat 1F dengan tujuan untuk mendiagnosa *sinus paranasal* pasien. Meskipun proyeksi

waters ini ditujukan untuk pemeriksaan kepala, namun karena sudut berkas datang dan pemosisian pasien sangat berbeda dengan pemeriksaan *skull* AP/PA maupun SPN PA maka proyeksi *waters* ini disendirikan pengelompokannya seperti halnya yang dilakukan oleh Freitas dan Yoshimura di Brazil [10].

Berdasar Tabel 4.5 diketahui bahwa pesawat 1F selalu menggunakan seting kVp dan mAs yang tinggi. Hal ini lebih disebabkan karena untuk seting kVp yang sama, pesawat 1F memiliki kualitas berkas (HVL) terendah bila dibandingkan dengan pesawat lain, sedangkan pesawat 1D memiliki HVL yang tertinggi sehingga pesawat 1F membutuhkan kVp yang lebih tinggi untuk mendapatkan kualitas berkas (HVL) yang mendekati pesawat lain.

Dibandingkan dengan penelitian di Malaysia yang dilakukan oleh Ng, dkk [22], nilai seting kVp yang digunakan dalam penelitian ini hampir sama, kecuali untuk pemeriksaan *cervical spine* lateral dan pesawat 1F. Radiografer pesawat 1F selalu menggunakan seting kVp yang lebih tinggi untuk semua jenis pemeriksaan. Namun untuk parameter mAs, pada penelitian ini cenderung lebih kecil daripada penelitian di Malaysia. Begitu juga ketika dibandingkan dengan hasil penelitian Oktivasari, dkk [24] di RSPP yang menggunakan faktor eksposi 70-80 kVp, 16-80 mAs dan FSD 100 cm untuk pemeriksaan kepala serta 63-77 kVp, 16-40 mAs dan FSD 100 cm untuk pemeriksaan *cervical spine* maka penelitian ini cenderung sama nilainya untuk parameter kVp dan cenderung lebih kecil untuk parameter mAs dan FSD. Dengan temuan ini seharusnya nilai ESD yang didapatkan dalam penelitian ini mendekati nilai ESD dari Oktivasari, mengingat tingginya mAs pada penelitian Oktivasari ditujukan untuk mengkompensasi jarak FSD.

Nilai ESD_{TLD} yang didapatkan dari pengukuran langsung menggunakan TLD maupun turunannya (ESD per mAs) ditampilkan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6 ESD_{TLD} dan ESD_{TLD}/mAs dari Metode Pengukuran Langsung

Tipe pemeriksaan		Pesawat	Σ Pasien	ESD _{TLD} (mGy)					ESD _{TLD} /mAs (mGy/mAs)				
				Mean	Max	Min	3 rd quartile	Median	Mean	Max	Min	3 rd quartile	Median
Kepala AP/PA	Skull AP	1D	6	0.603	0.733	0.502	0.693	0.573	0.052	0.073	0.040	0.051	0.050
		1H	6	2.090	3.463	0.693	2.587	2.103	0.096	0.173	0.043	0.115	0.084
	SPN PA	3H	2	-n.a./indirect measurements-					-n.a./indirect measurements-				
		1F	7	1.191	1.549	0.802	1.299	1.200	0.049	0.062	0.039	0.052	0.050
Waters	SPN W	1F	7	1.951	2.310	1.282	2.138	2.034	0.063	0.072	0.051	0.067	0.064
Kepala lateral	Skull lat	1D	6	0.562	0.750	0.451	0.607	0.538	0.051	0.070	0.038	0.062	0.044
		1H	6	1.334	1.940	0.613	1.804	1.298	0.074	0.120	0.038	0.090	0.070
	SPN lat	3H	2	-n.a./indirect measurements-					-n.a./indirect measurements-				
		1F	6	1.207	1.451	0.815	1.356	1.273	0.053	0.066	0.041	0.058	0.052
Cervical spine AP		1D	1	0.497					0.045				
		1H	7	1.278	2.319	0.458	1.747	1.050	0.078	0.125	0.029	0.105	0.084
		3H	3	0.484					0.027				
		1F	6	0.992	1.311	0.729	1.226	0.956	0.046	0.056	0.037	0.048	0.047
Cervical spine lateral		1D	1	0.837					0.052				
		1H	7	1.167	1.960	0.625	1.680	0.922	0.076	0.122	0.035	0.110	0.067
		3H	2	-n.a./indirect measurements-					-n.a./indirect measurements-				
		1F	6	1.185	1.624	0.850	1.377	1.153	0.053	0.065	0.041	0.058	0.055

Nilai ESD_{Calc} atau nilai ESD yang diperoleh melalui metode kalkulasi atas faktor eksposi pasien serta asumsi BSF sebesar 1.38 ditampilkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 ESD_{Calc} dan ESD_{Calc}/mAs dari Metode Tidak Langsung (Kalkulasi)

Tipe pemeriksaan		Pesawat	Σ Pasien	ESD _{Calc} , mGy					ESD _{Calc} /mAs, mGy/mAs				
				Mean	Max	Min	3 rd quartile	Median	Mean	Max	Min	3 rd quartile	Median
Kepala AP/PA	Skull AP	1D	6	0.623	0.728	0.523	0.668	0.607	0.053	0.063	0.049	0.057	0.050
		1H	6	1.881	2.883	0.983	2.195	1.842	0.088	0.103	0.061	0.097	0.091
	SPN PA	3H	2	0.957	1.013	0.901	0.985	0.957	0.056	0.056	0.056	0.056	0.056
		1F	7	2.692	3.244	1.873	3.076	2.951	0.110	0.130	0.087	0.123	0.118
Waters	SPN W	1F	7	4.597	5.278	2.396	5.177	4.831	0.147	0.165	0.096	0.162	0.151
Kepala lateral	Skull lat	1D	6	0.569	0.670	0.360	0.645	0.581	0.050	0.061	0.045	0.053	0.046
		1H	6	1.318	1.735	0.844	1.472	1.357	0.072	0.094	0.053	0.078	0.072
	SPN lat	3H	2	1.058	1.081	1.034	1.070	1.058	0.062	0.060	0.065	0.064	0.062
		1F	6	2.281	2.884	1.415	2.604	2.315	0.100	0.115	0.071	0.109	0.104

Tipe pemeriksaan	Pesawat	Σ Pasien	ESD _{Calc} , mGy					ESD _{Calc} /mAs, mGy/mAs				
			Mean	Max	Min	3 rd quartile	Median	Mean	Max	Min	3 rd quartile	Median
<i>Cervical spine AP</i>	1D	1	0.412					0.037				
	1H	7	1.291	1.835	0.901	1.422	1.211	0.080	0.094	0.056	0.090	0.084
	3H	3	0.731	0.910	0.527	0.833	0.757	0.047	0.051	0.042	0.049	0.047
	1F	6	1.649	2.484	1.133	1.801	1.528	0.075	0.089	0.063	0.082	0.073
<i>Cervical spine lateral</i>	1D	1	0.871					0.054				
	1H	7	1.687	2.204	1.159	1.916	1.773	0.103	0.121	0.072	0.110	0.108
	3H	2	0.722	0.757	0.688	0.739	0.722	0.051	0.047	0.055	0.053	0.051
	1F	6	2.573	3.417	1.770	2.878	2.661	0.116	0.132	0.098	0.127	0.118

Selain itu, dari nilai ESD yang didapatkan dalam penelitian ini, dapat dihitung rasio antara nilai maksimum ESD terhadap nilai minimumnya maupun nilai koefisien variasinya (CV), seperti yang ditampilkan pada Tabel 4.8.

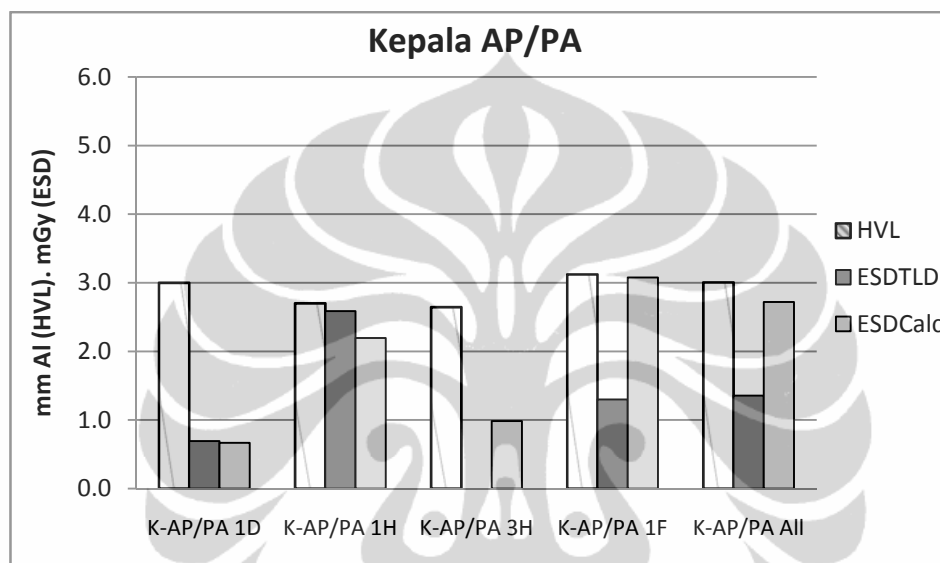
Tabel 4.8 Rasio ESD Maksimum-Minimum dan Koefisien Variasinya (CV)

Tipe pemeriksaan	ESD _{TLD}			ESD _{Calc}		
	Rasio max/min pasien individual	CV untuk pasien individual	Rasio max/min dari Mean ESD	Rasio max/min pasien individual	CV untuk pasien individual	Rasio max/min dari Mean ESD
Kepala AP/PA	6.9	65%	3.5	6.2	58%	4.3
Kepala lateral	4.3	46%	2.4	8.0	56%	4.0
<i>Waters</i>	1.8	18%		2.2	22%	
<i>Cervical spine AP</i>	5.1	53%	2.0	6.0	41%	4.0
<i>Cervical spine lateral</i>	3.1	39%	1.9	5.0	43%	4.7

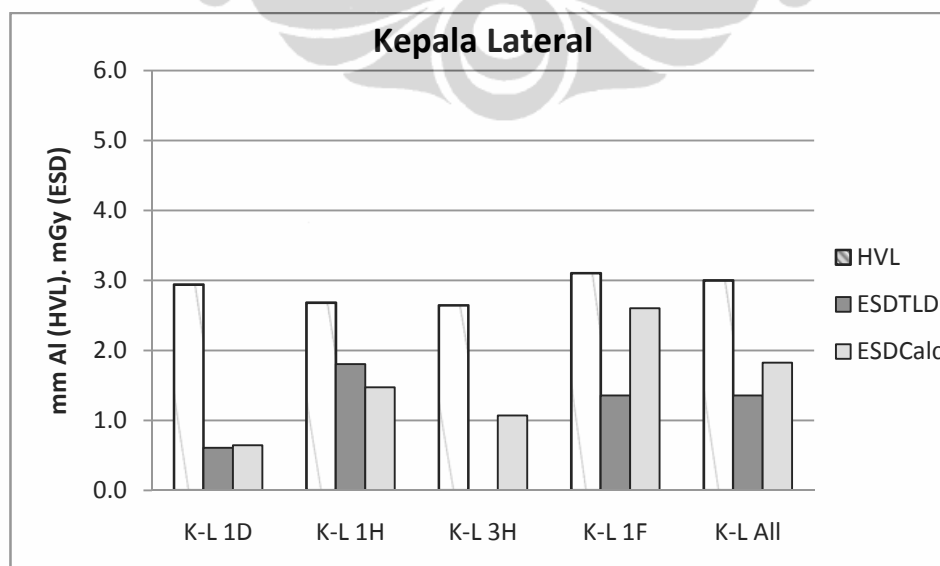
Nilai rasio ESD maksimum-minimum maupun koefisien variasi (CV) yang didapatkan dalam penelitian ini lebih kecil dari hasil penelitian Ng, dkk [22] di Malaysia, kecuali untuk nilai CV pasien individual pada pemeriksaan kepala AP/PA. Ng, dkk [22] mendapatkan nilai CV untuk pasien individual sebesar 46 % (skull AP/PA), 63 % (skull lateral), 78 % (*cervical spine AP*) dan 69 % (*cervical spine lateral*). Sama halnya jika dibandingkan dengan penelitian Obed, dkk [23] di Nigeria yang mendapatkan nilai CV untuk pasien individual sebesar 54 % (skull AP/PA), 59 % (skull lateral). Ini berarti rentang atau jangkauan ESD

yang didapatkan lebih kecil dari kedua penelitian tersebut kecuali untuk pemeriksaan kepala AP/PA.

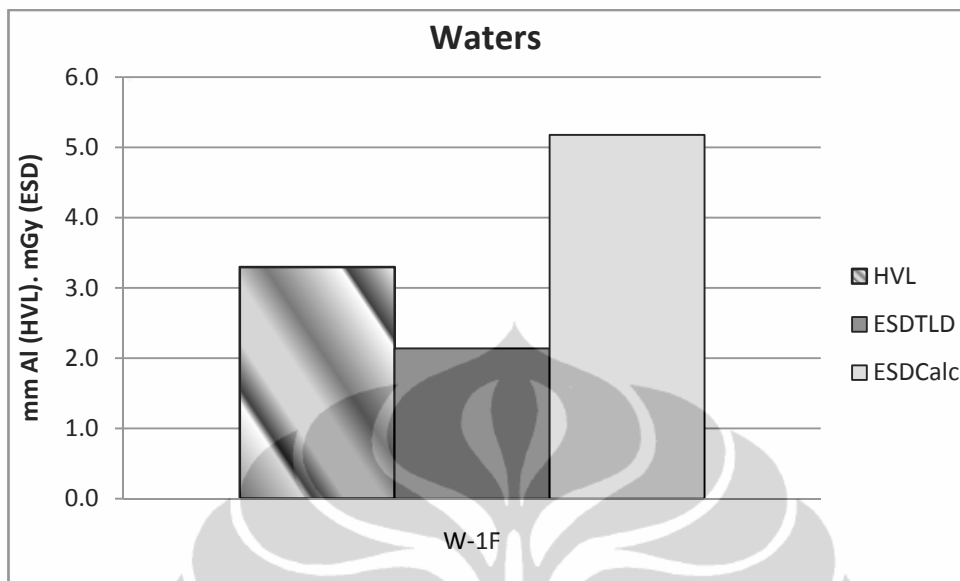
Selanjutnya untuk mengetahui kecenderungan nilai ESD, dilakukanlah perbandingan antara nilai kuartil ke-3 dari ESD hasil metode langsung dengan hasil kalkulasi untuk setiap kelompok pemeriksaan beserta nilai HVL-nya, seperti yang disajikan dalam Gambar 4.3 hingga Gambar 4.7.



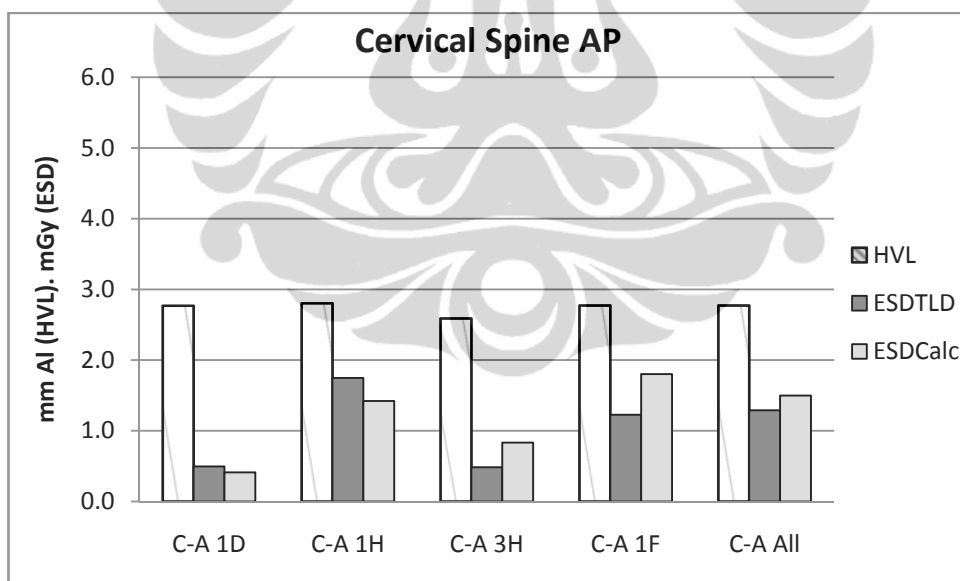
Gambar 4.3 Grafik Nilai HVL (mm Al) dan ESD (mGy) untuk Pemeriksaan Kepala AP/PA pada Setiap Pesawat



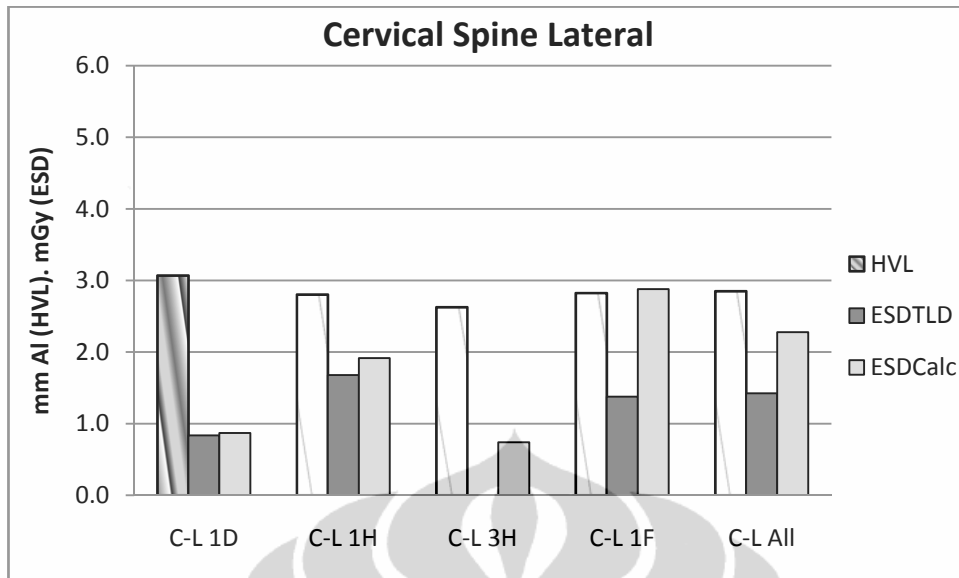
Gambar 4.4 Grafik Nilai HVL (mm Al) dan ESD (mGy) untuk Pemeriksaan Kepala Lateral pada Setiap Pesawat



Gambar 4.5 Grafik Nilai HVL (mm Al) dan ESD (mGy) untuk Pemeriksaan *Waters* pada Pesawat 1F



Gambar 4.6 Grafik Nilai HVL (mm Al) dan ESD (mGy) untuk Pemeriksaan *Cervical Spine AP* pada Setiap Pesawat



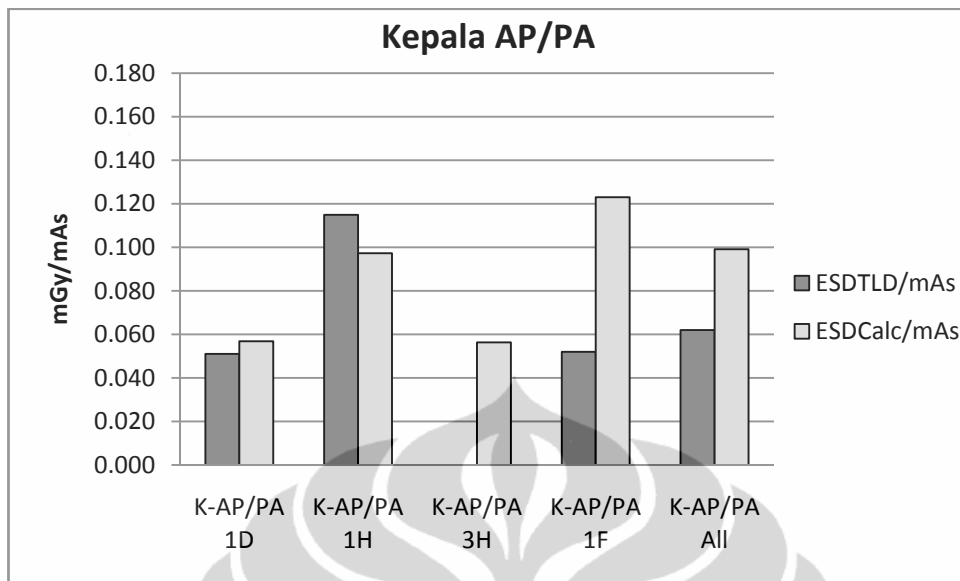
Gambar 4.7 Grafik Nilai HVL (mm Al) dan ESD (mGy) untuk Pemeriksaan *Cervical Spine Lateral* pada Setiap Pesawat

Keterangan :

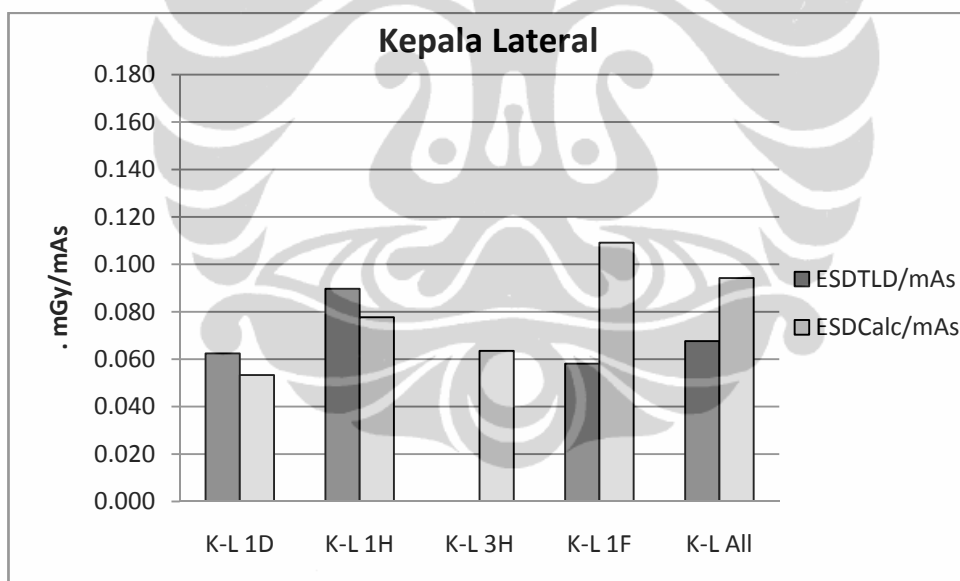
- K-AP/PA : pemeriksaan kepala proyeksi AP/PA
- K-L : pemeriksaan kepala proyeksi lateral
- W : pemeriksaan *waters*
- C-AP : pemeriksaan *cervical spine* proyeksi AP
- C-L : pemeriksaan *cervical spine* proyeksi lateral

Dari Gambar 4.3 hingga Gambar 4.7 terlihat bahwa meskipun nilai HVL yang relatif konstan untuk masing-masing tipe pemeriksaan, namun nilai ESD_{TLD} maupun ESD_{Calc} yang didapatkan sangat bervariasi terhadap jenis pesawat yang digunakan. ESD_{TLD} tertinggi didapatkan dari pesawat 1H dan yang terendah didapatkan dari pesawat 1D. Sedangkan ESD_{Calc} tertinggi dihasilkan oleh pesawat 1F dan yang terendah masih didapatkan oleh pesawat 1D. Selisih yang cukup jauh antara nilai ESD dari satu pesawat dengan pesawat lain kemungkinan lebih disebabkan karena perbedaan mAs dan FSD yang digunakan. Namun hal ini tidak berlaku untuk ESD_{TLD} pada pesawat 1H. Nilai ESD_{TLD} pesawat 1H selalu lebih tinggi daripada ESD_{TLD} pada pesawat lainnya maupun terhadap ESD_{Calc} -nya sendiri. Hal ini dapat terjadi karena pada dalam pengambilan citra radiodiagnostik dengan pesawat 1H beberapa radiographer menggunakan prosedur pemeriksaan pasien yang berbeda dengan standar operasinya.

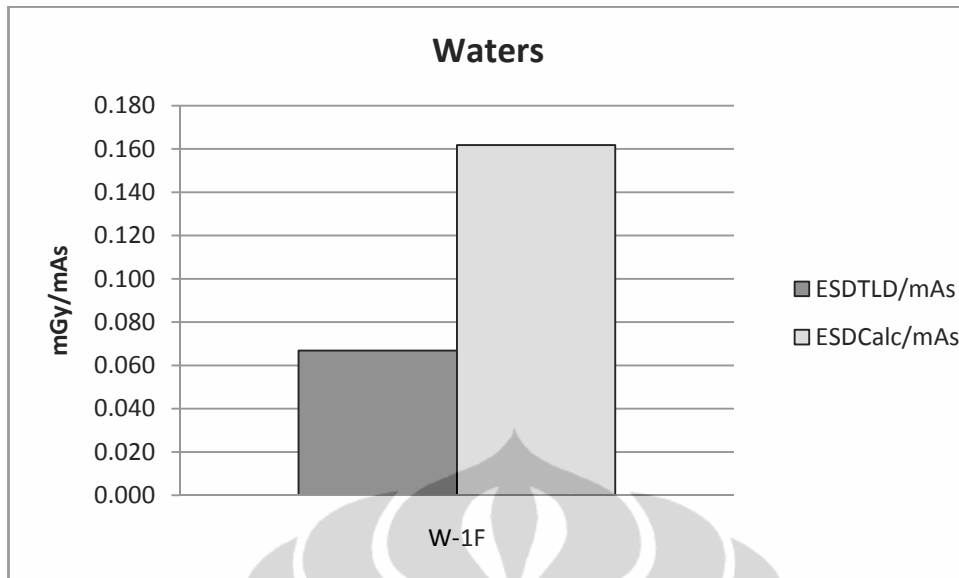
Sedangkan nilai ESD/mAs untuk setiap jenis pemeriksaan ditampilkan pada Gambar 4.8 hingga Gambar 4.12.



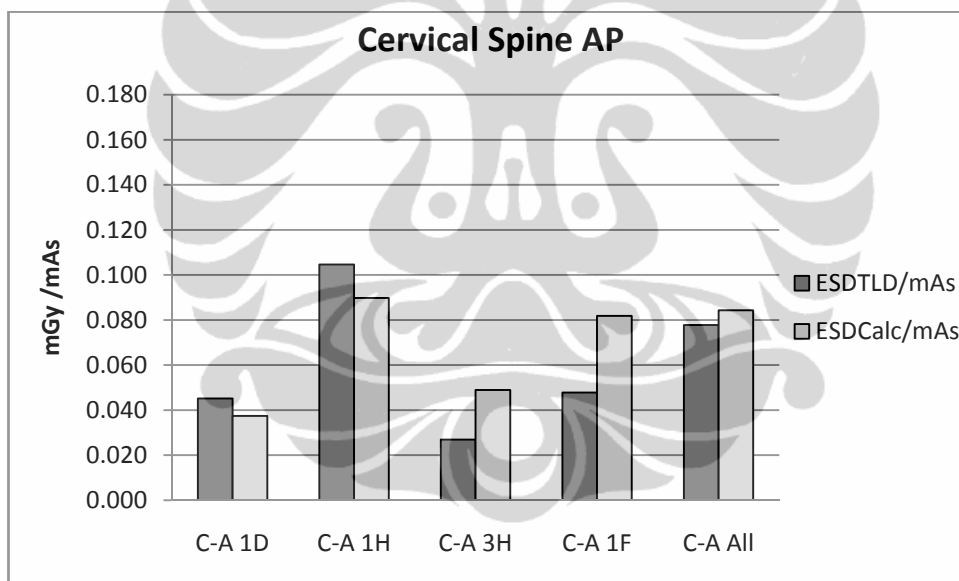
Gambar 4.8 Grafik Nilai ESD/mAs untuk Pemeriksaan Kepala AP/PA



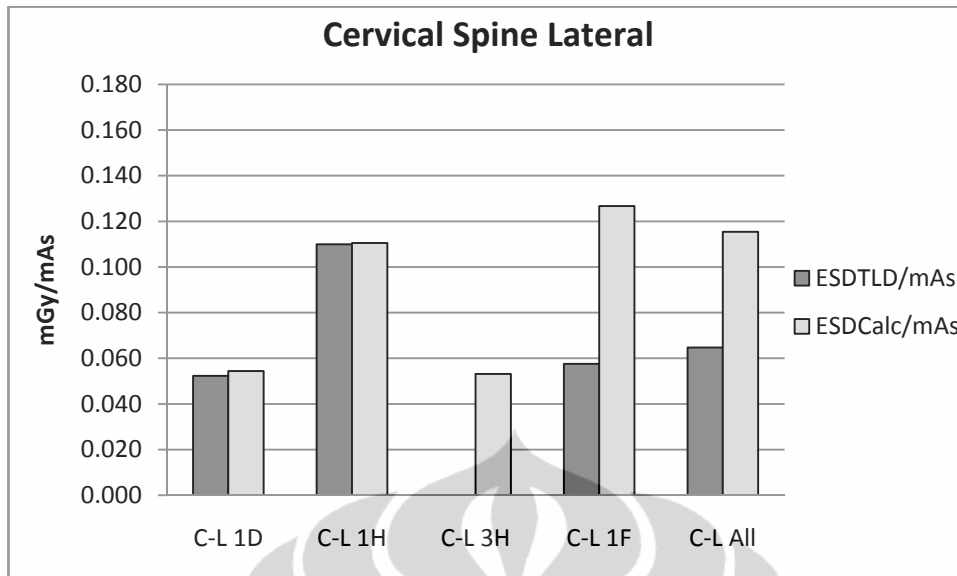
Gambar 4.9 Grafik Nilai ESD/mAs untuk Pemeriksaan Kepala Lateral



Gambar 4.10 Grafik Nilai ESD/mAs untuk Pemeriksaan *Waters*



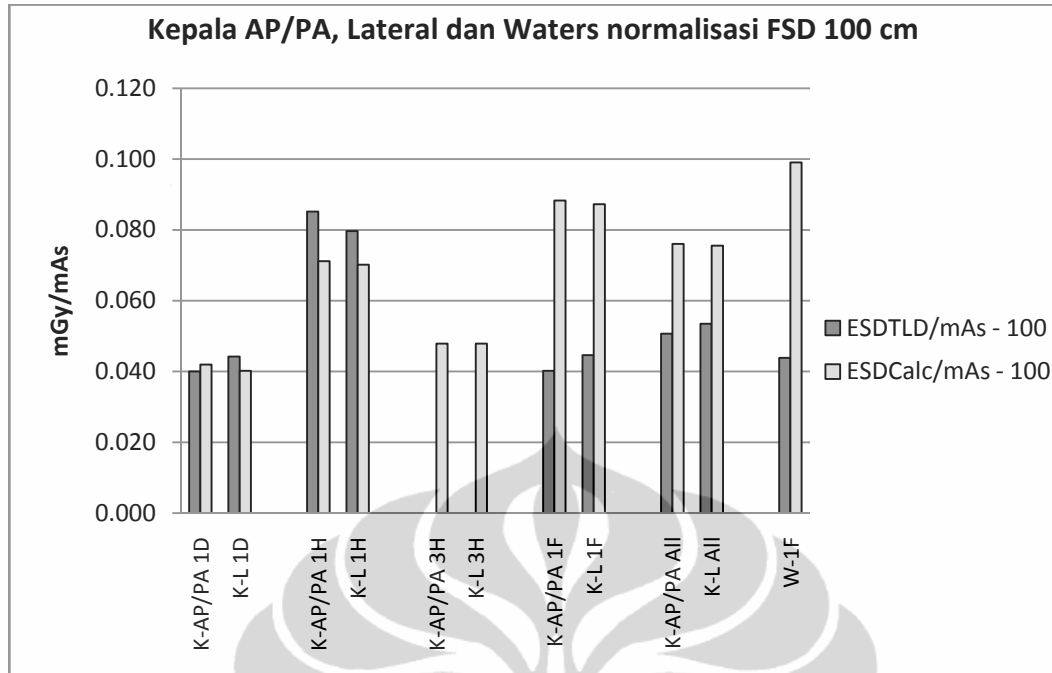
Gambar 4.11 Grafik Nilai ESD/mAs untuk Pemeriksaan *Cervical Spine AP*



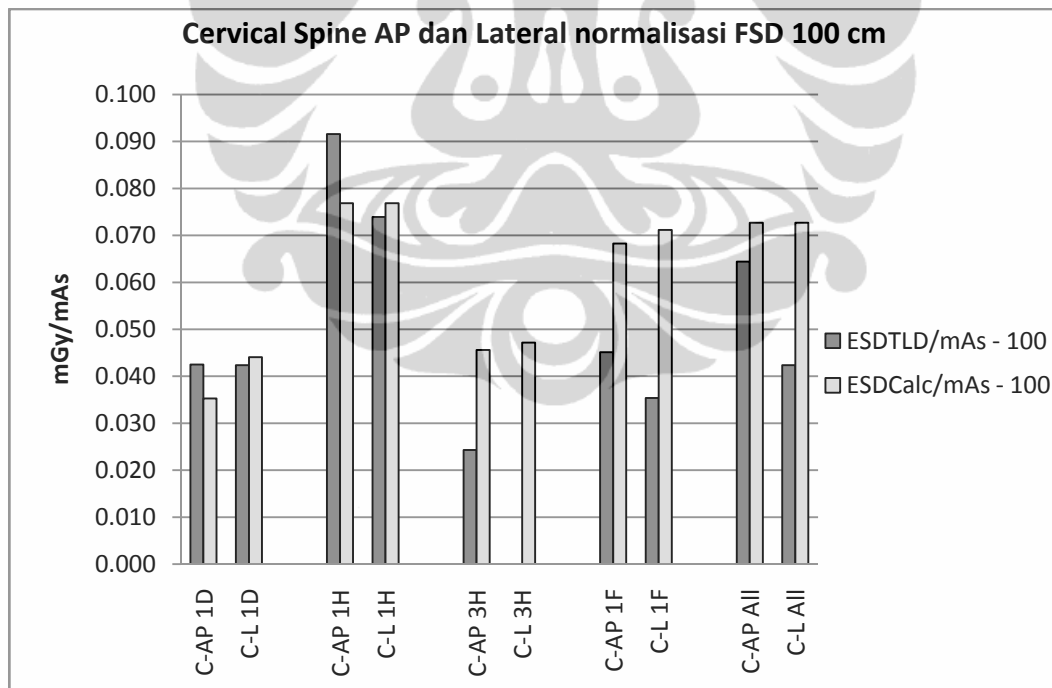
Gambar 4.12 Grafik Nilai ESD/mAs untuk Pemeriksaan *Cervical Spine Lateral*

Menilik Gambar 4.8 hingga Gambar 4.12, ESD_{TLD}/mAs antara pesawat 1D dan 1F dari satu pemeriksaan ke pemeriksaan lain hampir konstan, tetapi ini tidak berlaku untuk nilai ESD_{Calc}/mAs . Pesawat 1F memiliki ESD_{Calc}/mAs yang sangat tinggi bahkan bisa mencapai 2.5 kali nilai ESD_{TLD}/mAs -nya seperti yang terlihat pada pemeriksaan *waters*. Sampai saat ini belum diketahui kenapa hal tersebut hanya terjadi di pesawat 1F. Muncul satu kecurigaan bahwa pada selang waktu antara pelaksanaan uji fungsi pesawat sinar-X dengan pengukuran ESD pasien dilakukan, pesawat 1F pernah rusak dan diperbaiki yang menyebabkan nilai karakteristik pesawatnya berbeda dengan hasil uji fungsinya semula. Dugaan ini diperkuat dengan kondisi di lapangan dimana tegangan listrik penyuplai daya bagi pesawat 1F sangat berfluktuasi yang menyebabkan pesawat sinar-X mudah rusak.

Apabila FSD semua pemeriksaan tersebut dinormalisasi ke 100 cm, maka didapatkan perbandingan nilai ESD/mAs untuk setiap jenis pemeriksaan sebagaimana Gambar 4.13 dan Gambar 4.14. Dengan demikian nilai ESD/mAs pada gambar tersebut hanya dipengaruhi oleh pengaturan kVp dan karakteristik masing-masing pesawat.



Gambar 4.13 Perbandingan Nilai ESD_{TLD}/mAs dan ESD_{Calc}/mAs pada Normalisasi FSD 100 cm untuk Pemeriksaan Kepala dan Waters



Gambar 4.14 Perbandingan Nilai ESD_{TLD}/mAs dan ESD_{Calc}/mAs pada Normalisasi FSD 100 cm untuk Pemeriksaan *Cervical Spine*

Dari Gambar 4.13 dan Gambar 4.14 dimana FSD sudah dibuat sama (100 cm) dan ESD pun sudah dibuat per mAs semakin menguatkan pembahasan sebelumnya bahwa ada ‘sesuatu yang salah’ dengan nilai ESD_{TLD} pada pesawat 1H dan ESD_{Calc} pada pesawat 1F.

Selanjutnya, untuk melihat kecenderungan nilai ESD pasien terhadap referensi lainnya, maka nilai ESD dari masing-masing pesawat digabung dan ditentukan nilai median serta kuartil ke-3.

Tabel 4.9 Perbandingan Nilai ESD dengan Referensi

Jenis Pemeriksaan	Keterangan/ Referensi	kV	FSD (cm)	mAs	HVL (mm Al)	ESD_{TLD} (mGy)	ESD_{Calc} (mGy)
KEPALA AP/PA	Quartile 3	79.0	91.0	25.0	3.0	1.355	2.719
	Mean	74.4	88.3	19.1	2.9	1.195	1.704
	Median	71.5	88.5	20.0	2.9	1.094	1.701
	IAEA BSS 115/EUR 96/EC 99/NRPB 99					5.0	
	Indonesia (IAEA Tecdoc 1423) [14]					2.7	
Malaysia survey: Median [22]					4.7		
KEPALA LATERAL	Quartile 3	75.5	93.1	22.0	3.0	1.356	1.825
	Mean	72.9	91.2	17.4	2.8	1.035	1.356
	Median	70.0	91.5	17.0	2.9	0.996	1.222
	IAEA BSS 115/EUR 96/EC 99/NRPB 99					3.0	
	Indonesia (IAEA Tecdoc 1423) [14]					2.6	
Malaysia survey: Median [22]					3.0		
WATERS	Quartile 3	90.0	82.5	32.0	3.3	2.138	5.177
	Mean	89.3	82.3	31.0	3.3	1.951	4.597
	Median	90.0	81.0	32.0	3.3	2.034	4.831
	Brazil Survey [10]					2.8	
CERVICAL SPINE AP	Quartile 3	75.0	97.0	20.0	2.8	1.290	1.499
	Mean	71.7	95.4	17.6	2.7	1.064	1.267
	Median	73.0	95.0	16.0	2.7	0.951	1.211
	Malaysia survey: Median [22]					0.7	
	USA CRCPD 92 DRL [6]					1.5	
CERVICAL SPINE LATERAL	Quartile 3	75.5	88.5	20.5	2.9	1.424	2.278
	Mean	73.2	83.3	18.2	2.8	1.150	1.848
	Median	73.0	82.0	17.0	2.8	1.071	1.838
	Malaysia survey: Median [22]					1.5	

Berdasar Tabel 4.9, untuk pemeriksaan kepala AP/PA, nilai kuartil ke-3 ESD_{TLD} dari hasil pengukuran langsung pada penelitian ini masih di bawah nilai ESD Indonesia seperti yang tercantum dalam IAEA Tecdoc 1423 [14] sebesar 2.7 mGy ataupun DRL yang ditetapkan oleh berbagai badan internasional (IAEA BSS 115/EUR 96/EC 99/NRPB 99) sebesar 5 mGy. Begitu juga jika dibandingkan dengan penelitian Ng, dkk di Malaysia [22] yang mendapatkan nilai median ESD sebesar 4.7 mGy ataupun penelitian Oktivasari, dkk [24] dengan nilai ESD pada kuartil ke-3 sebesar 2.8 mGy. Namun ini tidak berlaku untuk ESD_{Calc} , yang didapat dari metode kalkulasi, yang nilainya sama dengan nilai ESD Indonesia [14] dan penelitian Oktivasari, dkk [24] sebesar 2.7 mGy.

Untuk pemeriksaan kepala lateral, baik nilai ESD_{TLD} maupun ESD_{Calc} didapatkan nilai yang lebih kecil dari ESD Indonesia seperti yang tercantum dalam IAEA Tecdoc 1423 (2.6 mGy) dan BSS 115 (3 mGy). Pun demikian ketika dibandingkan dengan penelitian Ng, dkk [22].

Pada proyeksi *waters* dengan tujuan untuk mendiagnosa *sinus paranasal* pasien sampai saat ini belum ada institusi internasional yang mengeluarkan panduan dosisnya, kecuali satu penelitian yang dilakukan oleh Freitas dan Yoshimura di Brazil [10]. Freitas dan Yoshimura mendapatkan nilai ESD pada kuartil ke-3 sebesar 2.8 mGy yang jika dibandingkan dengan penelitian ini terlihat bahwa nilai ESD_{TLD} lebih kecil, namun nilai ESD_{Calc} justru lebih tinggi yakni pada kisaran 5.2 mGy.

Untuk pemeriksaan *cervical spine* AP referensi DRL pembanding yang digunakan adalah USA CRCPD tahun 1992 [6] dengan nilai ESD sebesar 1.5 mGy (nilai median). Penelitian ini sendiri mendapatkan nilai median sebesar 0.95 mGy untuk ESD_{TLD} dan 1.21 mGy untuk ESD_{Calc} yang berarti lebih tinggi masih dibawah USA CRCPD. Sama halnya ketika nilai ESD pada kuartil ke-3 di penelitian ini jika dibandingkan dengan penelitian Skrk, dkk [27] di Slovenia (1.8 mGy). Namun jika dibandingkan dengan penelitian Ng, dkk [22] di Malaysia yang hanya mendapatkan nilai ESD 0.7 mGy (nilai median), penelitian Freitas dan Yoshimura [10] di Brazil sebesar 0.72 mGy (kuartil ke-3) ataupun penelitian Oktivasari, dkk [24] di RSPP sebesar 1.07 mGy (kuartil ke-3) maka nilai ESD hasil penelitian ini dirasa cukup tinggi.

Begitu juga untuk pemeriksaan *cervical spine* lateral, dimana pada penelitian ini mendapatkan nilai ESD_{TLD} pada kuartil ke-3 sebesar 1.4 mGy dan 2.3 mGy untuk ESD_{Calc} , sedangkan Malaysia [22] mendapatkan ESD sebesar 1.5 mGy (nilai median) dan Brazil [10] sebesar 1.2 mGy.

Beberapa hal yang menyebabkan seringkali ESD dalam penelitian ini lebih tinggi ataupun kadang juga lebih rendah dari referensi lainnya umumnya lebih dipengaruhi oleh perbedaan faktor eksposi. Sebagai contohnya adalah jika dibandingkan dengan penelitian di Brazil yang menggunakan kVp sedikit lebih rendah namun mAs yang digunakannya mencapai 2 hingga 3 kali mAs yang digunakan dalam penelitian ini. Selain itu, pada pengukuran ESD dengan metode pengukuran langsung, penempatan TLD dan proses preparasi hingga pengolahan TLD sangat berpengaruh. Sedangkan untuk pengukuran ESD dengan metode tidak langsung melalui kalkulasi, sangat dipengaruhi oleh keakuratan dan konsistensi uji fungsi pesawat.

Pada penelitian ini, khususnya untuk pemeriksaan kepala, pengaruh ukuran kepala terhadap nilai ESD sulit untuk dibuktikan mengingat sangat bervariasinya parameter eksposi sedangkan deviasi dari ukuran kepala sangatlah kecil (standar deviasi pengukuran kepala hanya 1 cm). Meski demikian secara umum, nilai ESD yang didapatkan dalam penelitian ini masih relatif lebih rendah dari referensi atau penelitian lainnya.

Dalam penelitian ini juga didapatkan nilai nilai faktor hamburan balik (BSF) hitung. BSF hitung didapat dengan membandingkan antara ESD_{TLD} terhadap nilai kerma insidennya. Untuk penelitian ini, BSF hitung yang didapat sebesar 1.01 ± 0.43 . Kontributor terbesar penyebab kecilnya nilai BSF hitung maupun tingginya deviasi ini yaitu kondisi pesawat 1F dimana selisih antara ESD_{Calc} dengan ESD_{TLD} sangat tinggi.

Hasil lengkap penelitian dan komparasi terhadap beberapa referensi atau publikasi internasional tersaji pada Tabel D.1 dan D.2 pada Lampiran D.

4.5 Pembuatan Fantom Kepala dan Penentuan Faktor Konversinya

Pada fantom kepala yang telah dibuat dengan mengacu AAPM *report* No. 60 (atau No. 31) dilakukan pengukuran nilai ESD-nya untuk pemeriksaan *skull*

AP dan lateral dengan menggunakan TLD dan sumber sinar-X dari pesawat 1D. Untuk mendapatkan faktor konversi fantom-pasien yang sesuai untuk diterapkan di Indonesia, dilakukan perbandingan antara nilai ESD pasien dengan ESD fantom dimana semua parameter faktor eksposi (kVp, mAs, luas area dan FSD) adalah sama.

Dari perhitungan didapatkan nilai $fk_{langsung}$ (rasio ESD_{TLD} pasien terhadap ESD_{TLD} fantom) sebesar 0.64 ± 0.08 (12 %) untuk pemeriksaan *skull* AP dan 0.77 ± 0.17 (22.6 %) untuk *skull* lateral. Sedangkan $fk_{tidaklangsung}$ (rasio ESD_{Calc} pasien terhadap ESD_{TLD} fantom) sebesar 0.72 ± 0.04 (5 %) untuk *skull* AP dan 0.66 ± 0.12 (18.7 %) untuk *skull* lateral.

Dari hasil tersebut, diketahui bahwa fantom kepala dapat digunakan untuk menggantikan pasien orang dewasa Indonesia dalam pengukuran ESD proyeksi *skull* AP, namun kurang akurat jika digunakan untuk proyeksi *skull* lateral. Hasil penentuan faktor konversi fantom-pasien selengkapnya ditampilkan pada Lampiran E.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil yang didapatkan dalam penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan :

1. Nilai ESD yang didapatkan dalam penelitian ini sangat dipengaruhi oleh banyak faktor. Selain pengaturan parameter eksposi sebagai faktor utamanya, faktor lain yang juga sangat berpengaruh diantaranya yaitu: penata-laksanaan pemeriksaan pasien, preparasi TLD, penempatan TLD di pasien hingga proses pembacaan dan *annealing* TLD, karakteristik pesawat, dan masih banyak faktor-faktor lainnya.
2. Didapat ukuran standar orang dewasa Indonesia, yaitu tebal kepala arah AP 17.5 cm, tebal kepala arah lateral 15.4 cm, usia 36.4 tahun, tinggi badan 158.8 cm dan berat badan 57.6 kg.
3. Pengukuran ESD pada dasarnya dapat menggunakan 2 (dua) metode: pengukuran langsung menggunakan TLD dan perhitungan atau kalkulasi dengan keunggulan dan kekurangannya masing-masing.
4. Didapatkan nilai ESD pada kuartil ke-3 untuk pengukuran langsung menggunakan TLD sebesar 1.4 mGy, 1.4 mGy dan 2.1 mGy untuk pemeriksaan kepala AP/PA, lateral dan *waters*; serta 1.3 mGy dan 1.4 mGy untuk pemeriksaan *cervical spine* AP dan lateral. Sedangkan dari kalkulasi faktor eksposi didapatkan nilai ESD pada kuartil ke-3 sebesar 2.7 mGy, 1.8 mGy dan 5.2 mGy untuk pemeriksaan Kepala AP/PA, lateral dan *waters*; serta 1.5 mGy dan 2.3 mGy untuk pemeriksaan *cervical spine* AP lateral, yang secara umumnya masih di bawah referensi internasional.
5. Didapatkan nilai BSF hitung sebesar 1.01 ± 0.43 .
6. Didapatkan nilai faktor konversi pasien-fantom sebesar 0.6 – 0.7 untuk pemeriksaan *skull* AP dan 0.7 – 0.8 pada pemeriksaan *skull* lateral.

5.2 Saran/Rekomendasi

Penelitian ini masih sangat kurang sempurna dikarenakan berbagai keterbatasan yang ada. Karena itu direkomendasikan untuk :

1. Melakukan penelitian lebih lanjut dengan jumlah sampel pasien lebih banyak, waktu yang lebih lama, dan lebih banyak jenis pesawat maupun rumah sakit yang dilibatkan.
2. Preparasi TLD yang lebih detail dan berulang-ulang untuk mendapatkan TLD yang lebih presisi dan akurat.
3. Uji fungsi pesawat sinar-X secara regular.

Sedangkan khusus untuk menghindari 'kasus' yang terjadi pada pesawat 1F, disarankan apabila akan melakukan pengukuran ESD dengan metode kalkulasi faktor eksposi maka setelah uji fungsi pesawat sinar-X selesai dilakukan sesegera mungkin dilakukan pengukuran ESD. Sedangkan penetapan dan pengaplikasian SOP yang benar atas pemeriksaan radiodiagnostik dapat memperkecil kemungkinan 'kasus' pesawat 1D terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. American Association of Physicist in Medicine. (1998). *Instrumentation requirements of diagnostic radiological physicists (general listing)*. Report No. 60. Madison, USA: Medical Physics Publishing.
- [2]. American Association of Physicist in Medicine. (2002). *Quality control in diagnostic radiology*. Report No. 74. Madison-USA: Medical Physics Publishing
- [3]. Bushberg, J.T., Seibert, J.A., Leidholdt, E.M., & Boone, J.M. (2002). *The essential physics of medical imaging* (second edition ed.). Philadelphia, PA, USA: Lippincott Williams & Wilkins.
- [4]. Chougule, A. (2005). Reference doses in radiological imaging. *Pol J Med Phys Eng*, 11(2) , 115-126
- [5]. Ciraj, O., Markovic, S., & Kosutic, D. (2004). Patient dose from conventional diagnostic radiology procedures in Serbia and Montenegro. *The Journal of Preventive Medicine*, 12(3-4): 26-34.
- [6]. Council of Radiation Control Program Directors/Center for Device and Radiological Health. (1992). *Average patient exposure/dose guides 1992*. CRCPD Pub 92-4, Frankfurt: CRCPD.
- [7]. DeWerd, L.A., Bartol, L., & Davis , S. (n.d.). *Thermoluminescence dosimetry*.
<http://www.aapm.org/meetings/09SS/documents/24DeWerd-TLDs.pdf>
- [8]. European Commission. (1999). *Radiation protection 109: Guidance on diagnostic reference levels (DRLs) for medical exposures*. Directorate-General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection
- [9]. Food and Agriculture Organization of the United Nations; International Atomic Energy Agency; International Labour Organisation; OECD Nuclear Energy Agency; Pan American Health Organization, World Health Organization. (1996). *International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources*. Safety Series No. 115. Vienna: IAEA

- [10]. Freitas, M., & Yoshimura, E. (2009). Diagnostic reference levels for the most frequent radiological examinations carried out in Brazil. *Rev Panam Salud Publica/Pan Am J Public Health*, 25(2): 95-104
- [11]. Halato, M.A., Suliman, I.I., Kafi, S.T., Ahmed, A.M., Ibrahim, Z., & Suliman, M.F. (2008, November). *Dosimetry for patients undergoing radiographic examinations in Sudan*. Proceeding of IX Radiation Physics & Protection Conference, Nasr City-Cairo: 157-164.
- [12]. Hemtiwakorn, K. (2008). *Measurements of entrance surface dose and organ dose in four common radiographic examinations- A comparative study between free-in-air method and thermoluminescent dosimetry*. Mahidol University, Thailand.
<http://www.mulinet10.li.mahidol.ac.th/e-thesis/4837709.pdf>
- [13]. International Atomic Energy Agency. (2001, March). *Radiological protection of patients in diagnostic and interventional radiology, nuclear medicine and radiotherapy*. Proceeding of an International Conference Held in Malaga, Spain, organized by the International Atomic Energy Agency and co-sponsored by the European Commission, the Pan American Health Organization and the World Health Organization. STI/PUB/1113, Vienna: IAEA
- [14]. International Atomic Energy Agency. (2004). *Optimization of the radiological protection of patients undergoing radiography, fluoroscopy and computed tomography*. TECDOC-1423. Vienna: IAEA.
- [15]. International Atomic Energy Agency. (2005). *Radiation oncology physics: A handbook for teachers and students*. STI/PUB/1196. Vienna: IAEA
- [16]. International Atomic Energy Agency. (2007)., *Dosimetry in diagnostic radiology : An international code of practice*. Technical Report Series No. 457, Vienna: IAEA.
- [17]. International Commission on Radiological Protection. (1990). *Recommendations of the international commission on radiological protection*. Publication No. 60. Oxford: Pergamon Press.

- [18]. Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir No. 01-P /Ka-BAPETEN/ I-03 Tentang *Pedoman Dosis Pasien Radiodiagnostik*.
- [19]. Korir, G.K., Wambani, J.S., & Ochieng, B.O.M. (2007, April). *Optimization of the radiological protection on patients in diagnostic radiology department at Kenyatta national hospital in Kenya. Phase I*. Proceeding of The Second All African IRPA Regional Radiation Protection Congress, Ismailia Egypt: 161-170.
- [20]. Krisnachinda A, et.al. *The image quality and patient doses in simple radiographic examination: Establishing guidance level and comparison with international standards*. Bangkok-Thailand.
http://www.tmps.or.th/meeting2008/DIAGSymposium09/KCMH_Pt%20Doses%20in%20Radiography.pdf
- [21]. National Radiological Protection Board. (1992). *National protocol for patient dose measurements in diagnostic radiology dosimetry. Report of a working party of the institute of physical sciences in medicine*. Chilton: NRPB.
- [22]. Ng, KH., Rassiah, P., Wang, HB., Hambali, AS., Muthuvellu, P., & Lee, HP. (1998). Doses to patients in routine x-ray examinations in Malaysia. *The British Journal of Radiology*, 71: 654-660
- [23]. Obed, RI., Ademola, AK., Adewoyin, KA., & Okunade, OA. (2007). Doses to patients in routine x-ray examination of chest, skull, abdomen and pelvis in nine selected hospitals in Nigeria. *Medwell Journals : Research Journals of Medical Sciences 1*, 4: 209-214
- [24]. Oktivasari, P., Nuraeni, N., & Soejoko, D. S. (2008, Oktober). *Pengukuran entrance surface dose (ESD) computed radiography (CR) dengan menggunakan thermoluminescence dosimeter (TLD)*. Proceeding of SEACOMP Vietnam.
- [25]. Radiological Council of Western Australia. (2006). *Radiation safety act 1975 : Diagnostic x-ray equipment compliance testing, workbook 3*. Department of Health of Western Australia. ISBN 0-9775570-3-0

- [26]. Seeram, Euclid, Brennan, & Patrick, C. (2006) *Diagnostic reference levels in radiology*. Radiologic Technology. May-June, 2006.
http://www.entrepreneur.com/tradejournals/article/146630002_2.html.
- [27]. Skrk, D., Zdesar, U., Zontar, D. (2006). Diagnostic reference levels for x-ray examinations in Slovenia. *Radiol Oncol*, 40(3): 189-195
- [28]. Tanaka, GI., Kawamura, H. (n.d). *Reference man models based on normal data for human populations*. Japan.
<http://www.irpa.net/irpa10/cdrom/00602.pdf>.
- [29]. Tsapaki, V., Tsalafoutas, A., Chinofoti, I., Karageorgi, A., Carinou, E., Kamenopoulou, V., et al. (2007). Radiation doses to patients undergoing standard radiographic examinations: A comparison between two methods. *The British Journal of Radiology*, 80: 107-112
- [30]. Unfors Inc. (n.d.). *Unfors Xi User Manual*.
[http://www.ucl.dk/media\(1315,1030\)/Unfors_Xi_lang.pdf](http://www.ucl.dk/media(1315,1030)/Unfors_Xi_lang.pdf).
- [31]. United Nations Scientific Comitee on the Effects of Atomic Radiation. (2000). *Reports to the general assembly: With annexes*. United Nations, New York. [http:// www.unscear.org/docs/reports/annexd.pdf](http://www.unscear.org/docs/reports/annexd.pdf)
- [32]. [wiki.answers.com/Q/What is the size of the average human skull](http://wiki.answers.com/Q/What_is_the_size_of_the_average_human_skull)

LAMPIRAN A
PENENTUAN UKURAN STANDAR ORANG DEWASA INDONESIA

Tabel A.1 Data Sampel Orang Dewasa Berdasar Jenis Kelamin dan Usia

Jenis Kelamin	Usia (tahun)	Jumlah	Total
Laki-laki	Usia >50	44	264
	$30 \leq \text{Usia} \leq 50$	128	
	Usia <30	92	
Perempuan	Usia >50	25	274
	$30 \leq \text{Usia} \leq 50$	161	
	Usia <30	88	
Total Sampel			538

Tabel A.2 Data Ukuran Tubuh Standar Orang Dewasa Indonesia (1)

Statistik	Jenis Kelamin	Usia (tahun)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Tebal Kepala (cm)	
					AP	Lateral
Mean	Laki-laki	36.8	165.0	60.0	17.6	15.5
stdev	Laki-laki	12.8	6.4	12.1	0.9	0.8
Mean	Perempuan	36.1	152.8	55.3	17.5	15.3
stdev	Perempuan	10.8	5.5	11.2	1.0	0.6
Mean	Total	36.4	158.8	57.6	17.5	15.4
stdev	Total	11.8	8.6	11.9	1.0	0.7

Tabel A.3 Data Ukuran Tubuh Standar Orang Dewasa Indonesia (2)

Statistik	Usia (tahun)	Tinggi (cm)	Berat (kg)	Tebal Kepala (cm)	
				AP	Lateral
MAX	86	185	110	21.5	20
MIN	18	140	32	14.5	13.4
3 th Quartile	44	165	64	18	16
MEAN	36.4	158.8	57.6	17.5	15.4
STDEV	11.8	8.6	11.9	1.0	0.7
MEDIAN	35	158	55	17.5	15.5
MODUS	30	165	50	17.5	15

LAMPIRAN B
UJI FUNGSI PESAWAT SINAR-X

Tabel B.1 Rangkuman Hasil Uji Fungsi atas 4 (empat) Pesawat Sinar-X yang Digunakan dalam Penelitian

Parameter	Kriteria Penerimaan	Pesawat 1F	Pesawat 1D	Pesawat 3H	Pesawat 1H
kVp Accuracy	Max Error < 5 %	1.2 %	2.7 %	0.2 %	0.2 %
		(0.5 - 1.7 %) [50 - 120 kVp]	(1.5 - 3.6 %) [60 - 90 kVp]	(0.1 - 0.7 %) [50 - 90 kVp]	(0.1 - 0.7 %) [50 - 90 kVp]
HVL pada 81 kVp	HVL > 2.3 mm Al	3.07 mm Al	3.43 mm Al	3.1 mm Al	3.05 mm Al
Reproducibility pada 81 kVp, 20 mAs	CV < 0.05	0.001 (kVp)	0.0002 (kVp)	0.002 (kVp)	0.003 (kVp)
		0.003 (output tube)	0.001 (output tube)	0.002 (output tube)	0.003 (output tube)
Output tube Linearity	CL < 0.1	0 (time)	0.002 (time)	0.012 (timer)	0.015 (time)
		0.0034	0.0005	0.0026	0.0032
Penilaian		Lulus	Lulus	Lulus	Lulus

Keterangan : Kriteria penerimaan mengacu gabungan AAPM report No. 74 dan RCWA
CV adalah coefficient of variation (koefisien variasi)

Tabel B.2 Hasil Uji Fungsi Pesawat 1D

Lembar Uji Fungsi Pesawat Sinar-X **Pesawat 1D**

Unit Id 013633 **Site** Radiagnostik 1D

Test Equipment

Dosemeter UNFORS **Focus** **Large**

kVp Accuracy Test

Set mA - **Collimation (cmxcm)** 35x35
FFD (cm) 115
 Time(s) - **FTD (cm)** 107.5
 mAs 20 **FDD Unfors (cm)** 92

Kalibrasi tgl 18 Mei 2010

(diatas pmma 15 cm)

Set kVp	kVp	% Error	uGy	uGy/mAs	HVL (mmAl)	Time (ms)	mGy/ menit	uGy/s
60	60.88	1.5	531.6	26.6	2.51	25.55	1.248	20.806
70	71.49	2.1	768	38.4	2.95	30.44	1.514	25.23
81	83.89	3.6	1072.7	53.6	3.43	36.07	1.784	29.738
90	93.1	3.4	1349	67.5	3.80	40.55	1.996	33.26

EPA Specifications: kVp accuracy must be within 5%**Compliance**

PASS

Reproducibility, Minimum HVL and Output Linearity Test

Set kVp 81 **Set mA :** - **Time(s) :** - **mAs:** 20

	kVp Avg.	Time (ms)	uGy	HVL (mmAl)	mGy/ menit	
	83.91	36.00	1072.0	3.43	1.787	
	83.87	36.11	1073.0	3.42	1.783	
	83.88	36.11	1073.0	3.43	1.783	
Measure:	Mean	83.887	36.073	1072.67		
	stdev	0.021	0.064	0.577		CL = (Xmax-Xmin)/(Xmax+Xmin)
	CV	0.0002	0.002	0.001		CL
EPA Spec:	CV	<0.02	<0.05	<0.05		CL
						0.00047
						<0.1

Minimum HVL > 2.3 mm Al @ 80 kVp**Compliance**

PASS

PASS

PASS

PASS

PASS

Tabel B.3 Hasil Uji Fungsi Pesawat 1F

Lembar Uji Fungsi Pesawat Sinar-X **Pesawat 1F**

Unit Id 005487 **Site** Radiodiagnostik 1F

Test Equipment

Dosemeter UNFORS **Focus** **Large**

kVp Accuracy Test

Collimation (cmxcm)

Set mA - **FFD (cm)**

Time(s) - **FTD (cm)**

mAs 20 **FSD Unfors (cm)** **100**

Kalibrasi tgl 10 Februari 2010

Set kVp	kVp	% Error	uGy	uGy/mAs	HVL (mmAl)	Time (ms)	mGy/ menit	uGy/s
50	49.44	-1.1	391.7	19.6	1.89	29.88	0.786	13.11
60	58.97	-1.7	619.4	31.0	2.28	36.55	1.017	16.95
70	68.92	-1.5	869.3	43.5	2.66	43.44	1.201	20.01
81	80.25	-0.9	1182	59.1	3.07	51.11	1.388	23.13
90	89.26	-0.8	1466	73.3	3.39	57.55	1.528	25.47
102	100.6	-1.4	1878	93.9	3.8	66	1.707	28.45
109	107.1	-1.7	2135	106.8	4.02	71.11	1.801	30.02
120	119.4	-0.5	2600	130.0	4.39	79.44	1.964	32.73

EPA Specifications: kVp accuracy must be within 5%

Compliance

PASS

Reproducibility, Minimum HVL and Output Linearity Test

Set kVp 81 Set mA : - Time(s) : - mAs: 20

		kVp Avg.	Time (ms)	uGy	HVL (mmAl)	mGy/ menit	
		80.25	51.11	1182.0	3.07	1.388	
		80.1	51.11	1174.0	3.07	1.378	
		80.38	51.11	1179.0	3.07	1.384	
		80.31	51.11	1181.0	3.06	1.386	
		80.28	51.11	1182.0	3.07	1.387	
		80.25	51.11	1182.0	3.07	1.388	
Measure:	Mean	80.264	51.11	1179.6			
	stdev	0.104	0	3.362			CL = (Xmax-Xmin)/(Xmax+Xmin)
	CV	0.001	0	0.003		CL	0.0034
EPA Spec:	CV	<0.02	<0.05	<0.05		CL	<0.1

Minimum HVL > 2.3 mm Al @ 80 kVp

Compliance

PASS

PASS

PASS

PASS

PASS

Universitas Indonesia

Tabel B.4 Hasil Uji Fungsi Pesawat 1H

Lembar Uji Fungsi Pesawat Sinar-X **Pesawat 1H**

Unit Id - **Site** Radiodiagnostik 1H

Test Equipment

Dosemeter UNFORS Focus **Large**

kVp Accuracy Test

Collimation (cmxcm)

Set mA - **FFD (cm)**

Time(s) - **FTD (cm)**

mAs 20 **FSD Unfors (cm)** **107**

Kalibrasi tgl 30 April 2010

Set kVp	kVp	% Error	uGy	uGy/mAs	HVL (mmAl)	Time (ms)	mGy/ menit	uGy/s
50	50.07	0.1	427.2	21.4	1.88	25.55	1.003	16.72
60	59.61	-0.7	648.5	32.4	2.27	25.66	1.516	25.27
70	69.98	0.0	911.7	45.6	2.64	30.22	1.810	30.17
81	80.86	-0.2	1239	62.0	3.05	36.33	2.046	34.10
90	89.85	-0.2	1511	75.6	3.37	39.22	2.312	38.53

EPA Specifications: kVp accuracy must be within 5%

Compliance

PASS

Reproducibility, Minimum HVL and Output Linearity Test

Set kVp 81 Set mA : - Time(s) : - mAs: 20

	kVp Avg.	Time (ms)	uGy	HVL (mmAl)	mGy/ menit		
	81.23	35.33	1231.0	3.05	1.388		
	80.97	35.33	1232.0	3.05	1.378		
	81.41	35.11	1232.0	3.04	1.384		
	80.86	36.33	1239.0	3.05	1.386		
Measure: Mean	81.118	35.525	1233.5	CL = (Xmax-Xmin)/(Xmax+Xmin)			
stdev	0.249	0.547	3.697				
CV	0.003	0.015	0.003			CL	0.0032
EPA Spec: CV	<0.02	<0.05	<0.05			CL	<0.1

Minimum HVL > 2.3 mm Al @ 80 kVp

Compliance

PASS

PASS

PASS

PASS

PASS

Tabel B.5 Hasil Uji Fungsi Pesawat 3H

Lembar Uji Fungsi Pesawat Sinar-X **Pesawat 3H**

Unit Id - **Site** Radiodiagnostik 3H

Test Equipment

Dosemeter UNFORS Focus **Large**

kVp Accuracy Test

Collimation (cmxcm)

Set mA - **FFD (cm)**

Time(s) - **FTD (cm)**

mAs 20 **FSD Unfors (cm)** **107**

Kalibrasi tgl 30 April 2010

Set kVp	kVp	% Error	uGy	uGy/mAs	HVL (mmAl)	Time (ms)	mGy/ menit	uGy/s
50	50.06	0.1	297.7	14.9	1.92	25	0.714	11.91
60	60.4	0.7	467.2	23.4	2.33	25.33	1.107	18.44
70	70.11	0.2	648.6	32.4	2.7	26.77	1.454	24.23
81	80.94	-0.1	887.5	44.4	3.1	30.22	1.762	29.37
90	89.84	-0.2	1111	55.6	3.42	33.66	1.980	33.01

EPA Specifications: kVp accuracy must be within 5%

Compliance

PASS

Pass/Fail

Reproducibility, Minimum HVL and Output Linearity Test

Set kVp 81 Set mA : - Time(s) : - mAs: 20

	kVp Avg.	Time (ms)	uGy	HVL (mmAl)	mGy/ menit		
	80.78	31.00	892.1	3.1	1.388		
	80.64	30.33	888.7	3.1	1.378		
	80.93	30.33	890.6	3.1	1.384		
	80.94	30.22	887.5	3.1	1.386		
Measure: Mean	80.823	30.47	889.7	CL = (Xmax-Xmin)/(Xmax+Xmin)			
stdev	0.142	0.357	2.034				
CV	0.002	0.012	0.002			CL	-0.0026
EPA Spec: CV	<0.02	<0.05	<0.05			CL	<0.1

Minimum HVL > 2.3 mm Al @ 80 kVp

Compliance

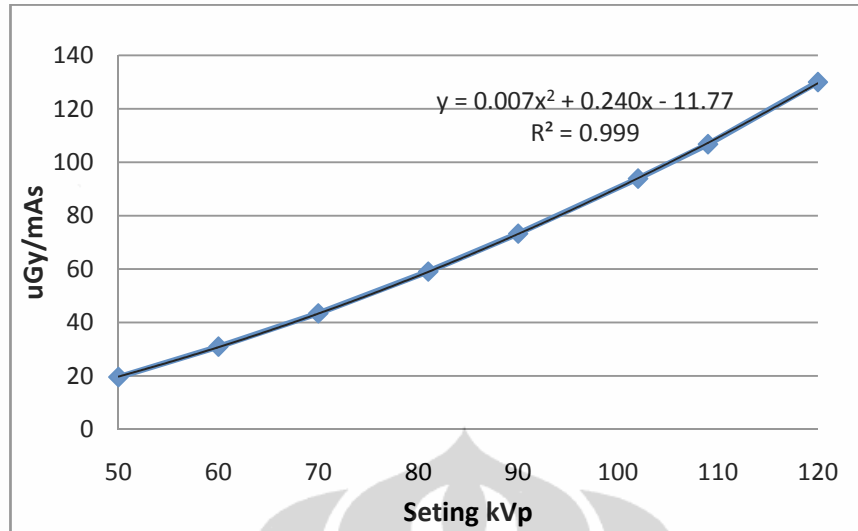
PASS

PASS

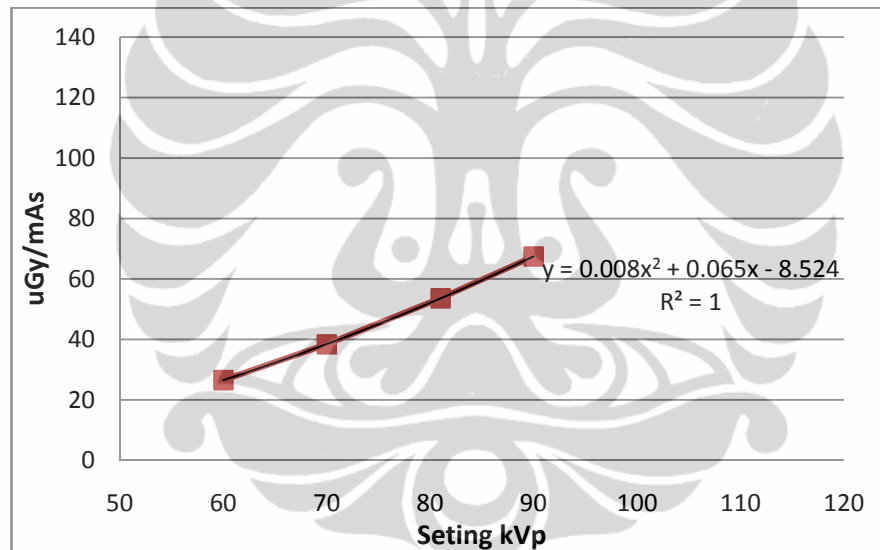
PASS

PASS

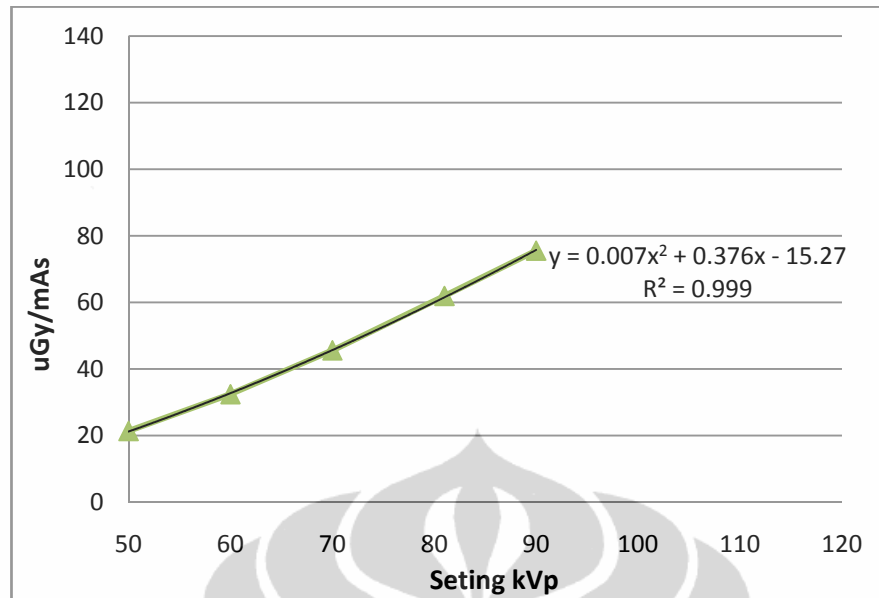
PASS



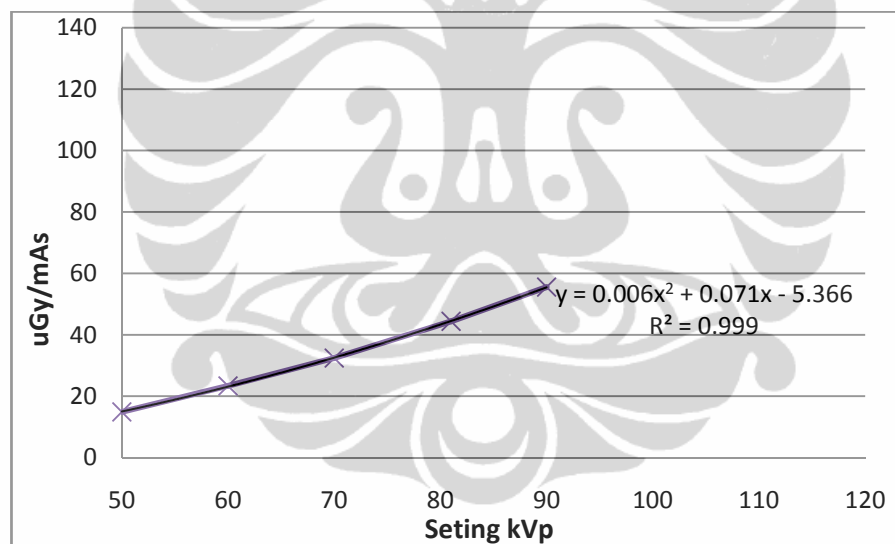
Gambar B.1 Grafik Respon *Output Tube (O/P)* (dalam uGy/mAs) terhadap Perubahan Seting kVp Pesawat **1F** dengan FDD 100 cm



Gambar B.2 Grafik Respon *Output Tube (O/P)* (dalam uGy/mAs) terhadap Perubahan Seting kVp Pesawat **1D** pada FDD 92 cm



Gambar B.3 Grafik Respon *Output Tube (O/P)* (dalam uGy/mAs) terhadap Perubahan Seting kVp Pesawat **1H** pada FDD 107 cm



Gambar B.4 Grafik Respon *Output Tube (O/P)* (dalam satuan uGy/mAs) terhadap Perubahan Seting kVp Pesawat **3H** pada FDD 107 cm

LAMPIRAN C

PREPARASI TLD

Tabel C.1 Hasil Uji Respon dan Pengelompokan TLD

Kelompok I : 5a01-5l07 (107 keping)

Mean TLD signal = 18.308 nC

Group	TL ID	TL Signal (nC)	Mean	SD	%SD	CF
5a01-10	5a01	14.301	15.590	0.707	4.534	1.174
	5a02	14.814				
	5a03	15.170				
	5a04	15.200				
	5a05	15.545				
	5a06	15.945				
	5a07	15.954				
	5a08	16.229				
	5a09	16.277				
	5a10	16.464				
5b01-10	5b01	16.566	16.863	0.265	1.569	1.086
	5b02	16.566				
	5b03	16.571				
	5b04	16.631				
	5b05	16.773				
	5b06	17.047				
	5b07	17.059				
	5b08	17.090				
	5b09	17.122				
	5b10	17.203				
5c01-10	5c01	17.203	17.354	0.172	0.990	1.055
	5c02	17.213				
	5c03	17.222				
	5c04	17.272				
	5c05	17.295				
	5c06	17.307				
	5c07	17.344				
	5c08	17.352				
	5c09	17.656				
	5c10	17.673				
5d01-10	5d01	17.698	17.809	0.086	0.485	1.028
	5d02	17.729				
	5d03	17.745				
	5d04	17.776				

Group	TL ID	TL Signal (nC)	Mean	SD	%SD	CF
	5d05	17.788				
	5d06	17.798				
	5d07	17.807				
	5d08	17.839				
	5d09	17.953				
	5d10	17.954				
5e01-10	5e01	18.060	18.248	0.121	0.661	1.003
	5e02	18.118				
	5e03	18.136				
	5e04	18.149				
	5e05	18.276				
	5e06	18.292				
	5e07	18.340				
	5e08	18.343				
	5e09	18.377				
	5e10	18.388				
5f01-10	5f01	18.397	18.567	0.165	0.891	0.986
	5f02	18.430				
	5f03	18.430				
	5f04	18.451				
	5f05	18.479				
	5f06	18.495				
	5f07	18.658				
	5f08	18.683				
	5f09	18.801				
	5f10	18.844				
5g01-10	5g01	18.880	19.017	0.106	0.558	0.963
	5g02	18.887				
	5g03	18.947				
	5g04	18.990				
	5g05	18.998				
	5g06	18.999				
	5g07	19.010				
	5g08	19.119				
	5g09	19.148				
	5g10	19.195				
5h01-10	5h01	19.199	19.252	0.050	0.259	0.951
	5h02	19.206				
	5h03	19.223				
	5h04	19.224				
	5h05	19.233				
	5h06	19.251				

Group	TL ID	TL Signal (nC)	Mean	SD	%SD	CF
	5h07	19.262				
	5h08	19.263				
	5h09	19.294				
	5h10	19.368				
5i01-10	5i01	19.368	19.501	0.101	0.520	0.939
	5i02	19.384				
	5i03	19.440				
	5i04	19.444				
	5i05	19.451				
	5i06	19.471				
	5i07	19.587				
	5i08	19.593				
	5i09	19.633				
	5i10	19.634				
5k01-10	5k01	19.639	19.755	0.074	0.377	0.927
	5k02	19.651				
	5k03	19.715				
	5k04	19.723				
	5k05	19.737				
	5k06	19.787				
	5k07	19.795				
	5k08	19.805				
	5k09	19.841				
	5k10	19.856				
5l01-07	5l01	19.866	19.915	0.048	0.239	0.919
	5l02	19.869				
	5l03	19.878				
	5l04	19.916				
	5l05	19.927				
	5l06	19.961				
	5l07	19.989				

Kelompok II : 5l08-5m10 dan 6a01-6m10 (133 keping)

Mean TLD signal = 21.305 nC

Group	TL ID	TL Signal (nC)	Mean	SD	%SD	CF
5l08-10	5l08	20.004	20.023	0.031	0.153	1.064
	5l09	20.006				
	5l10	20.058				
5m01-10	5m01	20.060	20.152	0.068	0.337	1.057
	5m02	20.083				
	5m03	20.084				
	5m04	20.098				

Group	TL ID	TL Signal (nC)	Mean	SD	%SD	CF
	5m05	20.145				
	5m06	20.168				
	5m07	20.194				
	5m08	20.199				
	5m09	20.242				
	5m10	20.243				
6a01-10	6a01	20.269	20.429	0.073	0.355	1.043
	6a02	20.381				
	6a03	20.401				
	6a04	20.405				
	6a05	20.409				
	6a06	20.443				
	6a07	20.480				
	6a08	20.488				
	6a09	20.499				
	6a10	20.510				
6b01-10	6b01	20.526	20.619	0.064	0.308	1.033
	6b02	20.552				
	6b03	20.562				
	6b04	20.583				
	6b05	20.630				
	6b06	20.634				
	6b07	20.636				
	6b08	20.651				
	6b09	20.694				
	6b10	20.726				
6c01-10	6c01	20.746	20.848	0.061	0.292	1.022
	6c02	20.789				
	6c03	20.800				
	6c04	20.814				
	6c05	20.843				
	6c06	20.864				
	6c07	20.872				
	6c08	20.903				
	6c09	20.916				
	6c10	20.935				
6d01-10	6d01	20.948	21.043	0.041	0.194	1.012
	6d02	21.012				
	6d03	21.026				
	6d04	21.031				
	6d05	21.053				
	6d06	21.065				
	6d07	21.066				

Group	TL ID	TL Signal (nC)	Mean	SD	%SD	CF
	6d08	21.069				
	6d09	21.072				
	6d10	21.088				
6e01-10	6e01	21.116	21.185	0.045	0.213	1.006
	6e02	21.121				
	6e03	21.164				
	6e04	21.166				
	6e05	21.187				
	6e06	21.187				
	6e07	21.193				
	6e08	21.228				
	6e09	21.235				
	6e10	21.250				
6f01-10	6f01	21.259	21.342	0.055	0.260	0.998
	6f02	21.285				
	6f03	21.299				
	6f04	21.309				
	6f05	21.319				
	6f06	21.359				
	6f07	21.366				
	6f08	21.400				
	6f09	21.408				
	6f10	21.416				
6g01-10	6g01	21.424	21.491	0.035	0.162	0.991
	6g02	21.462				
	6g03	21.466				
	6g04	21.477				
	6g05	21.489				
	6g06	21.491				
	6g07	21.516				
	6g08	21.522				
	6g09	21.529				
	6g10	21.532				
6h01-10	6h01	21.543	21.616	0.053	0.246	0.986
	6h02	21.543				
	6h03	21.561				
	6h04	21.605				
	6h05	21.612				
	6h06	21.629				
	6h07	21.649				
	6h08	21.659				
	6h09	21.669				
	6h10	21.691				

Group	TL ID	TL Signal (nC)	Mean	SD	%SD	CF
6i01-10	6i01	21.711	21.803	0.087	0.400	0.977
	6i02	21.719				
	6i03	21.731				
	6i04	21.762				
	6i05	21.763				
	6i06	21.764				
	6i07	21.811				
	6i08	21.901				
	6i09	21.919				
	6i10	21.944				
6k01-10	6k01	21.971	22.095	0.070	0.316	0.964
	6k02	21.999				
	6k03	22.063				
	6k04	22.080				
	6k05	22.088				
	6k06	22.118				
	6k07	22.134				
	6k08	22.142				
	6k09	22.167				
	6k10	22.188				
6l01-10	6l01	22.213	22.257	0.051	0.228	0.957
	6l02	22.214				
	6l03	22.215				
	6l04	22.234				
	6l05	22.246				
	6l06	22.247				
	6l07	22.251				
	6l08	22.284				
	6l09	22.291				
	6l10	22.379				
6m01-10	6m01	22.382	22.472	0.075	0.335	0.948
	6m02	22.390				
	6m03	22.397				
	6m04	22.405				
	6m05	22.474				
	6m06	22.474				
	6m07	22.531				
	6m08	22.535				
	6m09	22.542				
	6m10	22.589				

Kelompok III : 7a01-7m09 (119 keping)

Mean TLD signal = 23.733 nC

Group	TL ID	TL Signal (nC)	Mean	SD	%SD	CF
7a01-10	7a01	22.590	22.634	0.030	0.132	1.049
	7a02	22.598				
	7a03	22.614				
	7a04	22.618				
	7a05	22.631				
	7a06	22.640				
	7a07	22.641				
	7a08	22.667				
	7a09	22.670				
	7a10	22.675				
7b01-10	7b01	22.686	22.753	0.041	0.180	1.043
	7b02	22.707				
	7b03	22.730				
	7b04	22.741				
	7b05	22.746				
	7b06	22.754				
	7b07	22.760				
	7b08	22.782				
	7b09	22.802				
	7b10	22.820				
7c01-10	7c01	22.823	22.900	0.061	0.267	1.036
	7c02	22.826				
	7c03	22.828				
	7c04	22.871				
	7c05	22.894				
	7c06	22.919				
	7c07	22.933				
	7c08	22.945				
	7c09	22.979				
	7c10	22.980				
7d01-10	7d01	22.982	23.071	0.069	0.301	1.029
	7d02	22.989				
	7d03	23.023				
	7d04	23.029				
	7d05	23.034				
	7d06	23.082				
	7d07	23.099				

Group	TL ID	TL Signal (nC)	Mean	SD	%SD	CF
	7d08	23.149				
	7d09	23.160				
	7d10	23.163				
7e01-10	7e01	23.165	23.242	0.059	0.254	1.021
	7e02	23.169				
	7e03	23.182				
	7e04	23.209				
	7e05	23.238				
	7e06	23.269				
	7e07	23.278				
	7e08	23.279				
	7e09	23.293				
	7e10	23.339				
7f01-10	7f01	23.442	23.524	0.051	0.216	1.009
	7f02	23.449				
	7f03	23.475				
	7f04	23.524				
	7f05	23.528				
	7f06	23.546				
	7f07	23.560				
	7f08	23.561				
	7f09	23.568				
	7f10	23.583				
7g01-10	7g01	23.602	23.729	0.082	0.347	1.000
	7g02	23.607				
	7g03	23.660				
	7g04	23.718				
	7g05	23.729				
	7g06	23.762				
	7g07	23.782				
	7g08	23.789				
	7g09	23.803				
	7g10	23.840				
7h01-10	7h01	23.878	24.052	0.085	0.353	0.987
	7h02	23.945				
	7h03	24.006				
	7h04	24.057				
	7h05	24.073				
	7h06	24.081				
	7h07	24.104				
	7h08	24.115				
	7h09	24.125				
	7h10	24.140				

Group	TL ID	TL Signal (nC)	Mean	SD	%SD	CF
7i01-10	7i01	24.201	24.376	0.110	0.453	0.974
	7i02	24.226				
	7i03	24.232				
	7i04	24.388				
	7i05	24.420				
	7i06	24.443				
	7i07	24.452				
	7i08	24.454				
	7i09	24.463				
	7i10	24.476				
7k01-10	7k01	24.496	24.628	0.106	0.431	0.964
	7k02	24.520				
	7k03	24.523				
	7k04	24.557				
	7k05	24.578				
	7k06	24.648				
	7k07	24.694				
	7k08	24.729				
	7k09	24.756				
	7k10	24.777				
7l01-10	7l01	24.777	24.871	0.080	0.324	0.954
	7l02	24.778				
	7l03	24.817				
	7l04	24.820				
	7l05	24.847				
	7l06	24.855				
	7l07	24.895				
	7l08	24.933				
	7l09	24.991				
	7l10	24.996				
7m01-09	7m01	25.052	25.159	0.059	0.236	0.943
	7m02	25.101				
	7m03	25.121				
	7m04	25.153				
	7m05	25.174				
	7m06	25.184				
	7m07	25.191				
	7m08	25.203				
	7m09	25.249				

Kelompok IV: 8a01-8l08 (108 keping)

Mean TLD signal = 27.542 nC

Group	TL ID	TL Signal (nC)	Mean	SD	%SD	CF
8a01-10	8a01	25.269	25.360	0.086	0.339	1.086
	8a02	25.269				
	8a03	25.275				
	8a04	25.282				
	8a05	25.313				
	8a06	25.389				
	8a07	25.445				
	8a08	25.449				
	8a09	25.454				
	8a10	25.458				
8b01-10	8b01	25.467	25.618	0.103	0.402	1.075
	8b02	25.492				
	8b03	25.492				
	8b04	25.612				
	8b05	25.618				
	8b06	25.646				
	8b07	25.676				
	8b08	25.691				
	8b09	25.731				
	8b10	25.754				
8c01-10	8c01	25.849	25.988	0.091	0.350	1.060
	8c02	25.854				
	8c03	25.901				
	8c04	25.982				
	8c05	26.013				
	8c06	26.015				
	8c07	26.030				
	8c08	26.052				
	8c09	26.081				
	8c10	26.106				
8d01-10	8d01	26.107	26.261	0.098	0.371	1.049
	8d02	26.166				
	8d03	26.190				
	8d04	26.218				
	8d05	26.243				
	8d06	26.249				
	8d07	26.311				
	8d08	26.334				
	8d09	26.358				
	8d10	26.429				

Group	TL ID	TL Signal (nC)	Mean	SD	%SD	CF
8e01-10	8e01	26.447	26.726	0.174	0.651	1.031
	8e02	26.449				
	8e03	26.664				
	8e04	26.698				
	8e05	26.731				
	8e06	26.782				
	8e07	26.800				
	8e08	26.803				
	8e09	26.899				
	8e10	26.989				
8f01-10	8f01	26.997	27.216	0.191	0.702	1.012
	8f02	26.997				
	8f03	27.074				
	8f04	27.133				
	8f05	27.174				
	8f06	27.183				
	8f07	27.183				
	8f08	27.434				
	8f09	27.479				
	8f10	27.507				
8g01-10	8g01	27.550	27.746	0.141	0.509	0.993
	8g02	27.589				
	8g03	27.653				
	8g04	27.679				
	8g05	27.682				
	8g06	27.744				
	8g07	27.809				
	8g08	27.849				
	8g09	27.925				
	8g10	27.975				
8h01-10	8h01	28.039	28.280	0.131	0.462	0.974
	8h02	28.085				
	8h03	28.210				
	8h04	28.287				
	8h05	28.295				
	8h06	28.342				
	8h07	28.348				
	8h08	28.376				
	8h09	28.391				
	8h10	28.430				

Group	TL ID	TL Signal (nC)	Mean	SD	%SD	CF
8i01-10	8i01	28.528	28.707	0.159	0.555	0.959
	8i02	28.534				
	8i03	28.567				
	8i04	28.602				
	8i05	28.648				
	8i06	28.721				
	8i07	28.766				
	8i08	28.803				
	8i09	28.933				
	8i10	28.968				
8k01-10	8k01	29.032	29.924	0.567	1.894	0.920
	8k02	29.401				
	8k03	29.523				
	8k04	29.773				
	8k05	29.858				
	8k06	29.885				
	8k07	29.912				
	8k08	30.276				
	8k09	30.791				
	8k10	30.793				
8l01-10	8l01	31.018	32.035	0.945	2.951	0.860
	8l02	31.191				
	8l03	31.216				
	8l04	31.596				
	8l05	32.071				
	8l06	32.598				
	8l07	33.019				
	8l08	33.571				

Tabel C.2 Hasil Kalibrasi TLD (dengan Pesawat 1D)**Kelompok I :**

TL ID	TL Signal, nC	Mean nC	kV	HVL	Chamber, mGy	FK, mGy/nC
5b01	11.750	12.787	60	2.51	0.476	0.037
5b02	12.160					
5b03	12.667					
5b10	12.911					
5c01	13.718					
5c02	13.512					
5d05	14.759	15.772	70	2.94	0.683	0.043
5d06	18.594					
5d07	13.344					
5h03	14.679					
5h04	15.659					
5h05	17.599					
5g04	19.601	20.357	81	3.41	0.939	0.046
5g05	19.909					
5g06	22.193					
5i09	19.684					
5i10	21.133					
5k01	19.624					
5i03	19.364	19.885	90	3.80	1.171	0.059
5i04	20.499					
5i05	20.596					
5l01	18.133					
5l02	19.643					
5l03	21.078					

Kelompok II :

TL ID	TL Signal, nC	Mean nC	kV	HVL	Chamber, mGy	FK, mGy/nC
6a03	13.738	17.336	60	2.51	0.476	0.027
6a04	16.378					
6a05	19.204					
6b05	14.529					
6b06	18.823					
6b07	21.346					
6d06	16.690	17.854	70	2.94	0.683	0.038
6d07	19.856					
6d08	19.322					
6e05	17.561					
6e06	16.568					
6e07	17.128					

TL ID	TL Signal, nC	Mean nC	kV	HVL	Chamber, mGy	FK, mGy/nC
6i04	18.698	22.158	81	3.41	0.939	0.042
6i05	22.707					
6i06	21.230					
6l01	19.627					
6l02	23.986					
6l03	26.697					
6g08	22.273	24.423	90	3.80	1.171	0.048
6g09	25.562					
6g10	24.100					
6l05	22.437					
6l06	24.396					
6l07	27.767					

Kelompok III :

TL ID	TL Signal, nC	Mean nC	kV	HVL	Chamber, mGy	FK, mGy/nC
7c01	14.255	17.191	60	2.51	0.476	0.028
7c02	16.687					
7c03	18.256					
7c10	16.444					
7d01	19.116					
7d02	18.386					
7d09	19.724	18.894	70	2.94	0.683	0.036
7d10	16.789					
7e01	18.911					
7f07	18.654					
7f08	17.397					
7f09	21.889					
7a03	18.876	20.080	81	3.41	0.939	0.047
7a04	22.546					
7a05	18.856					
7k10	21.895					
7l01	18.970					
7l02	19.335					
7i06	23.331	23.330	90	3.80	1.171	0.050
7i07	24.443					
7i08	21.361					
7m07	24.270					
7m08	23.188					
7m09	23.385					

Kelompok IV :

TL ID	TL Signal, nC	Mean nC	kV	HVL	Chamber, mGy	FK, mGy/nC
8a01	18.392	19.127	60	2.51	0.476	0.025
8a02	20.237					
8a03	21.878					
8a07	20.919					
8a08	18.356					
8a09	14.981					
8b01	20.183	21.121	70	2.94	0.683	0.032
8b02	20.042					
8b03	24.786					
8e06	21.900					
8e07	23.556					
8e08	16.262					
8k05	26.981	26.335	81	3.41	0.939	0.036
8k06	24.618					
8k07	24.726					
8k09	28.035					
8k10	26.891					
8l01	26.757					
8e10	25.494	25.366	90	3.80	1.171	0.046
8f01	22.894					
8f02	25.451					
8l06	31.675					
8l07	26.770					
8l08	19.911					

Catatan : Faktor kalibrasi (FK) ini hanya berlaku untuk pesawat 1D. Agar bisa diterapkan untuk pesawat lain, maka harus diubah ke persamaan FK sebagai fungsi HVL.

LAMPIRAN D
DATA ESD

Tabel D.1 ESD Hasil Pengukuran Langsung dan Kalkulasi (Asumsi BSF = 1.38)

Pemeriksaan : Kepala AP/PA (1)							Pengukuran langsung					Kalkulasi			mGy/mAs					
No	Room	Type Exam	Exposure Factor				Field size cmxcm	TL Signal, nC					FK*	ESD _{TLD} mGy	Incident Kerma Ki, mGy	ESD _{Calc} mGy	BSF Hitung = ESD / Ki	ESD _{TLD} /mAs	ESD _{Calc} /mAs	
			kV	mAs	HVL, mmAl	FSD, cm		1	2	3	Mean	Stdv/ Mean								
1	1D	KEPALA AP/PA	Skull AP	70	12.5	2.94	91	35.6x35.6	11.475	11.267	13.017	11.920	8%	0.042	0.502	0.440	0.607	1.142	0.040	0.049
2	1D			70	15	2.94	91	35.6x35.6	18.978	15.257	18.009	17.415	11%	0.042	0.733	0.527	0.728	1.391	0.049	0.049
3	1D			70	12.5	2.94	91	35.6x35.6	11.803	14.886	14.899	13.863	13%	0.042	0.584	0.440	0.607	1.328	0.047	0.049
4	1D			71	10	2.98	89	35.6x35.6	19.748	20.109	19.641	19.833	1%	0.037	0.729	0.379	0.523	1.922	0.073	0.052
5	1D			71.5	10	3.01	85	35.6x35.6	13.770	14.019	13.408	13.732	2%	0.037	0.509	0.422	0.583	1.206	0.051	0.058
6	1D			71.5	11	3.01	82	35.6x35.6	15.271	15.005	21.852	15.138	1%	0.037	0.561	0.499	0.689	1.125	0.051	0.063
7	1H	KEPALA AP/PA	SPN PA	73	16	2.73	89	19.9x18							12.027	1.064	1.468		-	0.092
8	1H			68	16	2.54	101	28.9x27.7	27.485	25.943	18.761	24.063	19%	0.029	0.693	0.712	0.983	0.973	0.043	0.061
9	1H			70	20	2.62	82	19.9x19.9							3.463	1.436	1.982		0.173	0.099
10	1H			73	22	2.73	84	19.9x19.9	145.673	157.499	149.822	150.998	4%	0.028	4.218	1.642	2.267			0.103
11	1H			70	32	2.62	86	19.9x18	79.131	74.587	74.885	76.201	3%	0.030	2.295	2.089	2.883	1.099	0.072	0.090
12	1H			70	20	2.62	88.5	19.9x18	56.983	62.615	70.569	63.389	11%	0.030	1.910	1.233	1.701	1.549	0.095	0.085
13	3H			70	18	2.66	93	26x19	(indirect measurements)							0.734	1.013			0.056
14	3H			68	16	2.59	90	26x30	(indirect measurements)							0.653	0.901			0.056

Pemeriksaan : Kepala AP/PA (2)								Pengukuran langsung					Kalkulasi			mGy/mAs			
No	Room	Type Exam	Exposure Factor				Field size cmxcm	TL Signal, nC					FK*	ESD _{TLD} , mGy	Incident Kerma Ki, mGy	ESD _{Calc} , mGy	BSF Hitung = ESD / Ki	ESD _{TLD} /mAs	ESD _{Calc} /mAs
			kV	mAs	HVL, mmAl	FSD, cm		1	2	3	Mean	Stdv/ Mean							
15	1F		85	25	3.12	83.5	40.699	37.244	41.749	39.897	6%	0.039	1.549	2.295	3.167	0.675	0.062	0.127	
16	1F		79	28	2.91	88.5	38.614	38.551	29.829	35.665	14%	0.031	1.094	1.970	2.719	0.555	0.039	0.097	
17	1F		73	20	2.70	83	24.294	26.413	37.011	25.354	6%	0.032	0.802	1.357	1.873	0.591	0.040	0.094	
18	1F		85	25	3.12	82.5	35.002	34.121	34.569	34.564	1%	0.039	1.355	2.351	3.244	0.576	0.054	0.130	
19	1F		85	25	3.12	86.5	32.751	30.044	32.340	31.712	5%	0.039	1.243	2.138	2.951	0.581	0.050	0.118	
20	1F		85	25	3.12	86	n.a	31.120	30.110	30.615	2%	0.039	1.200	2.163	2.985	0.555	0.048	0.119	
21	1F		85	22	3.12	101	26.377	31.011	26.314	27.901	10%	0.039	1.094	1.380	1.905	0.792	0.050	0.087	
											Quartile 3		1.355		2.719	1.236	0.062	0.099	
											Mean		1.195		1.704	1.004	0.061	0.083	
											Median		1.094		1.701	1.036	0.050	0.087	

Pemeriksaan : Waters								Pengukuran langsung					Kalkulasi			mGy/mAs			
No	Room	Type Exam	Exposure Factor				Field size cmxcm	TL Signal, nC					FK*	ESD _{TLD} , mGy	Incident Kerma Ki, mGy	ESD _{Calc} , mGy	BSF Hitung = ESD / Ki	ESD _{TLD} /mAs	ESD _{Calc} /mAs
			kV	mAs	HVL, mmAl	FSD, cm		1	2	3	Mean	Stdv/ Mean							
1	1F	WATERS SPN W	90	32	3.30	78.5		56.908	50.767	59.503	55.726	8%	0.041	2.310	3.727	5.144	0.620	0.072	0.161
2	1F		90	32	3.30	83.5		51.300	44.119	48.151	47.857	8%	0.036	1.745	3.294	4.546	0.530	0.055	0.142
3	1F		90	32	3.30	78		49.692	54.515	49.282	51.163	6%	0.042	2.167	3.775	5.210	0.574	0.068	0.163
4	1F		90	32	3.30	77.5		46.760	44.960	52.369	48.030	8%	0.042	2.034	3.824	5.278	0.532	0.064	0.165
5	1F		90	32	3.30	81.5		47.813	47.883	46.833	47.510	1%	0.042	2.012	3.458	4.772	0.582	0.063	0.149
6	1F		90	32	3.30	81		52.961	48.397	48.152	49.837	5%	0.042	2.110	3.501	4.831	0.603	0.066	0.151
7	1F		85	25	3.12	96		30.736	31.671	35.708	32.705	8%	0.039	1.282	1.736	2.396	0.738	0.051	0.096
											Quartile 3		2.138		5.177	0.611	0.067	0.162	
											Mean		1.951		4.597	0.597	0.063	0.147	
											Median		2.034		4.831	0.582	0.064	0.151	

Pemeriksaan : Kepala Lateral (1)							Pengukuran langsung						Kalkulasi			mGy/mAs			
No	Room	Type Exam	Exposure Factor				Field size cmxcm	TL Signal, nC					FK*	ESD _{TLD} , mGy	Incident Kerma Ki, mGy	ESD _{Calc} , mGy	BSF Hitung = ESD / Ki	ESD _{TLD} /mAs	ESD _{Calc} /mAs
			kV	mAs	HVL, mmAl	FSD, cm		1	2	3	Mean	Stdv/ Mean							
1	1D	Skull Lat	70	14.5	2.94	93.5	35.6X35.6	14.820	13.331	16.206	14.786	10%	0.042	0.623	0.483	0.666	1.289	0.043	0.046
2	1D		70	12.5	2.94	93	35.6X35.6	11.946	11.361	10.463	11.257	7%	0.042	0.474	0.421	0.581	1.126	0.038	0.046
3	1D		70	12.5	2.94	93	35.6X35.6	11.193	12.244	13.340	12.259	9%	0.042	0.516	0.421	0.581	1.227	0.041	0.046
4	1D		68	8	2.86	91.5	35.6X35.6	17.342	14.811	35.060	16.077	11%	0.035	0.560	0.261	0.360	2.146	0.070	0.045
5	1D		70	10	2.94	85	35.6X35.6	13.075	10.617	13.790	12.494	13%	0.036	0.451	0.403	0.556	1.120	0.045	0.056
6	1D		71	11	2.98	82.5	35.6X35.6	20.335	21.705	19.189	20.410	6%	0.037	0.750	0.486	0.670	1.545	0.068	0.061
7	1H	KEPALA LATERAL SPN Lat	73	16	2.73	88	19.9x18	57.140	60.927	57.222	58.430	4%	0.033	1.924	1.088	1.502	1.768	0.120	0.094
8	1H		68	16	2.54	109	28.9x27.7	20.051	22.538		21.295	8%	0.029	0.613	0.612	0.844	1.002	0.038	0.053
9	1H		68	18	2.54	92	19.9x19.9	29.627	35.747	27.422	30.932	14%	0.030	0.933	0.966	1.333	0.966	0.052	0.074
10	1H		63	22	2.36	92	19.9x18	79.131	74.587	74.885	76.201	3%	0.025	1.940	1.001	1.381	1.939	0.088	0.063
11	1H		68	16	2.54	95	19.9x18	42.035	55.636	52.633	50.101	14%	0.029	1.443	0.805	1.111	1.792	0.090	0.069
12	1H		73	22	2.73	96	19.9x19.9	39.920	39.707	44.248	41.292	6%	0.028	1.153	1.257	1.735	0.917	0.052	0.079
13	3H		70	18	2.66	90	26x19	(indirect measurements)							0.784	1.081			0.060
14	3H		68	16	2.59	84	26x30	(indirect measurements)							0.750	1.034			0.065
15	1F		83	22	3.05	87.5		36.711	31.019	35.694	34.475	9%	0.038	1.302	1.752	2.418	0.743	0.059	0.110
16	1F		83	22	3.05	94		31.060	33.830	31.972	32.287	4%	0.033	1.058	1.518	2.095	0.697	0.048	0.095
17	1F	68	20	2.53	88.5		30.024	26.994	28.824	28.614	5%	0.028	0.815	1.025	1.415	0.795	0.041	0.071	
18	1F	85	25	3.12	87.5		33.956	36.556	34.638	35.050	4%	0.039	1.374	2.090	2.884	0.657	0.055	0.115	

Pemeriksaan : Kepala Lateral (2)							Pengukuran langsung					Kalkulasi			mGy/mAs				
No	Room	Type Exam	Exposure Factor				Field size cmxcm	TL Signal, nC					FK*	ESD _{TLD} , mGy	Incident Kerma Ki, mGy	ESD _{Calc} , mGy	BSF Hitung = ESD / Ki	ESD _{TLD} /mAs	ESD _{Calc} /mAs
			kV	mAs	HVL, mmAl	FSD, cm		1	2	3	Mean	Stdv/ Mean							
19	1F		83	22	3.05	91.5	38.722	37.044	38.982	38.249	3%	0.038	1.451	1.602	2.211	0.906	0.066	0.101	
20	1F		85	25	3.12	91	32.751	30.044	32.340	31.712	5%	0.039	1.243	1.932	2.666	0.643	0.050	0.107	
											Quartile 3		1.356		1.825	1.481	0.068	0.094	
											Mean		1.035		1.356	1.182	0.059	0.073	
											Median		0.996		1.222	1.061	0.052	0.067	

Pemeriksaan : <i>Cervical Spine AP (1)</i>							Pengukuran langsung						Kalkulasi		mGy/mAs				
No	Room	Type Exam	Exposure Factor				Field size cmxcm	TL Signal, nC					FK*	ESD _{TLD} , mGy	Incident Kerma Ki, mGy	ESD _{Calc} , mGy	BSF Hitung = ESD / Ki	ESD _{TLD} /mAs	ESD _{Calc} /mAs
			kV	mAs	HVL, mmAl	FSD, cm		1	2	3	Mean	Stdv/ Mean							
1	1D	CERVICAL SPINE AP	66	11	2.77	97	35.6x35.6	10.489	13.077	14.151	12.572	15%	0.040	0.497	0.299	0.412	1.664	0.045	0.037
2	1H		73	12.5	2.73	91	19.9x19.8	34.09	33.566	27.98	31.879	11%	0.033	1.050	0.795	1.097	1.320	0.084	0.088
3	1H		77	16	2.88	93	19.9x17.8	55.049	60.333	57.166	57.516	5%	0.035	2.001	1.086	1.499	1.841	0.125	0.094
4	1H		68	16	2.54	91	19.9x18.9	29.98	32.879	31.329	31.396	5%	0.030	0.947	0.878	1.211	1.079	0.059	0.076
5	1H		68	16	2.54	106	36.2x40.5	17.091	22.019	17.373	18.828	15%	0.036	0.681	0.653	0.901	1.043	0.043	0.056
6	1H		66	16	2.47	90.5	18x18	19.797	18.046	19.324	19.056	5%	0.024	0.458	0.832	1.149	0.551	0.029	0.072
7	1H		73	16	2.73	93	19.9x19.9	47.925	46.51	41.574	45.336	7%	0.033	1.493	0.974	1.345	1.532	0.093	0.084
8	1H		77	20	2.88	94	19.9x18	54.475	55.721	58.817	56.338	4%	0.041	2.319	1.329	1.835	1.744	0.116	0.092
9	3H		68	18	2.59	95	34x22	19.212	18.61	18.429	18.750	2%	0.026	0.484	0.659	0.910	0.735	0.027	0.051
10	3H		68	12.5	2.59	104	37x23	(indirect measurements)							0.382	0.527			0.042
11	3H		66	16	2.52	95	30x23	(indirect measurements)							0.548	0.757			0.047
12	1F		81	28	2.98	95		37.716	34.121	35.431	35.756	5%	0.037	1.311	1.800	2.484	0.729	0.047	0.089
13	1F		73	20	2.70	95.5		30.788	24.866	24.665	26.773	13%	0.028	0.737	1.025	1.414	0.719	0.037	0.071
14	1F		71.5	18	2.65	99		22.368	24.712	24.219	23.766	5%	0.031	0.729	0.821	1.133	0.888	0.041	0.063
15	1F		75	22	2.77	90		34.690	35.284	39.552	36.509	7%	0.034	1.226	1.344	1.854	0.912	0.056	0.084
16	1F		73	22	2.70	93		n.a	n.a	n.a	n.a		0.032		1.189	1.641			0.075

Pemeriksaan : <i>Cervical Spine AP (2)</i>								Pengukuran langsung					Kalkulasi		mGy/mAs				
No	Room	Type Exam	Exposure Factor				Field size cmxcm	TL Signal, nC					FK*	ESD _{TLD} , mGy	Incident Kerma Ki, mGy	ESD _{Calc} , mGy	BSF Hitung = ESD / Ki	ESD _{TLD} /mAs	ESD _{Calc} /mAs
			kV	mAs	HVL, mmAl	FSD, cm		1	2	3	Mean	Stdv/ Mean							
17	1F		75	20	2.77	100	25.029	29.996	32.149	29.058	13%	0.033	0.956	0.990	1.366	0.966	0.048	0.068	
													Quartile 3	1.290	1.499	1.479	0.078	0.084	
													Mean	1.064	1.267	1.123	0.061	0.070	
													Median	0.951	1.211	1.004	0.047	0.072	

Pemeriksaan : <i>Cervical Spine Lateral</i>							Pengukuran langsung						Kalkulasi		mGy/mAs				
No	Room	Type Exam	Exposure Factor				Field size cmxcm	TL Signal, nC					FK*	ESD _{TLD} , mGy	Incident Kerma Ki, mGy	ESD _{Calc} , mGy	BSF Hitung = ESD / Ki	ESD _{TLD} /mAs	ESD _{Calc} /mAs
			kV	mAs	HVL, mmAl	FSD, cm		1	2	3	Mean	Stdv/ Mean							
1	1D	CERVICAL SPINE LATERAL	73	16	3.07	90	35.6X35.6	17.927	18.169	20.901	18.999	9%	0.044	0.837	0.631	0.871	1.327	0.052	0.054
2	1H		73	13	2.73	82	19,9x18,4	32.754	35.137	35.018	34.303	4%	0.033	1.130	0.979	1.351	1.154	0.090	0.108
3	1H		77	16	2.88	82	19,9x17,8	58.555	48.829	53.331	53.572	9%	0.035	1.864	1.398	1.929	1.333	0.116	0.121
4	1H		68	16	2.54	82	19,9x19,9	26.181	24.615	20.157	23.651	13%	0.030	0.713	1.081	1.491	0.660	0.045	0.093
5	1H		68	16	2.54	93	37,8x40,5	17.380	20.435	21.219	19.678	10%	0.036	0.712	0.840	1.159	0.847	0.044	0.072
6	1H		68	18	2.54	77	18x18	24.581	25.016	24.944	24.847	1%	0.025	0.625	1.379	1.903	0.453	0.035	0.106
7	1H		73	16	2.73	81	19,9x19,9	55.661	61.516	61.330	59.502	6%	0.033	1.960	1.285	1.773	1.526	0.122	0.111
8	1H		79	20	2.95	88	19,9x18	90.902	92.094	95.437	92.811	3%	0.042	3.923	1.597	2.204			0.110
9	3H		70	13	2.66	94	37x23	(indirect measurements)							0.499	0.688			0.055
10	3H		66	16	2.52	95	30x23	(indirect measurements)							0.548	0.757			0.047
11	1F		81	28	2.98	81		43.951	46.450	42.457	44.286	5%	0.037	1.624	2.476	3.417	0.656	0.058	0.122
12	1F		75	22	2.77	78		30.304	35.635	28.840	31.593	11%	0.029	0.903	1.812	2.501	0.498	0.041	0.114
13	1F		73	18	2.70	81		27.869	26.210	26.483	26.854	3%	0.032	0.850	1.282	1.770	0.663	0.047	0.098
14	1F		75	22	2.77	72		40.650	40.177	46.367	42.398	8%	0.034	1.424	2.100	2.897	0.678	0.065	0.132
15	1F		77	22	2.84	75		38.073	36.564	33.888	36.175	6%	0.034	1.236	2.044	2.821	0.604	0.056	0.128
16	1F		75	20	2.77	82		31.986	33.897	31.798	32.560	4%	0.033	1.071	1.472	2.031	0.728	0.054	0.102
												Quartile 3	1.424		2.278	1.154	0.065	0.115	
												Mean	1.150		1.848	0.856	0.064	0.098	
												Median	1.071		1.838	0.678	0.054	0.107	

Tabel D.2 Perbandingan Nilai ESD dengan Referensi Lainnya

	Keterangan/Referensi	kV	FSD, cm	mAs	HVL, mm Al	ESD _{TLD} , mGy	ESD _{Calc} , mGy
KEPALA AP/PA	Quartile 3	79.0	91.0	25.0	3.0	1.355	2.719
	Mean	74.4	88.3	19.1	2.9	1.195	1.704
	STDEV	6.5	5.4	6.2	0.2	0.775	0.983
	Median	71.5	88.5	20.0	2.9	1.094	1.701
	Max	85.0	101	32.0	3.1	3.463	3.244
	Min	68.0	82.0	10.0	2.5	0.502	0.523
	Max/Min	1.3	1.2	3.2	1.2	6.898	6.197
	Brazil Survey [10]					3.3	
	BSS 115/EUR 96/EC 99/NRPB 99/Port. 453/IPSM 92					5.0	
	Indonesia (IAEA Tecdoc 1423) [14]					2.7	
	Malaysia survey: Median [22]					4.7	
	Nigeria: Median [23]						7.5
	Serbia & Montenegro [5]						1.15
	Slovenia 2005 survey [27]						2.5
KEPALA LATERAL	Quartile 3	75.5	93.1	22.0	3.0	1.356	1.825
	Mean	72.9	91.2	17.4	2.8	1.035	1.356
	STDEV	6.8	5.6	5.0	0.2	0.475	0.758
	Median	70.0	91.5	17.0	2.9	0.996	1.222
	Max	85.0	109.0	25.0	3.1	1.940	2.884
	Min	63.0	82.5	8.0	2.4	0.451	0.360
	Max/Min	1.3	1.3	3.1	1.3	4.300	8.008
	Brazil Survey [10]					2.1	
	IAEA/EUR 96/EC 99/NRPB 99/Port. 453/IPSM 92					3.0	
	Indonesia (IAEA Tecdoc 1423) [14]					2.6	
	Malaysia survey: Median [22]					3.0	
	Nigeria: Median [23]						5.8
	Serbia & Montenegro [5]						0.9
	Slovenia 2005 survey [27]						2.0
WATERS	Quartile 3	90.0	82.5	32.0	3.3	2.138	5.177
	Mean	89.3	82.3	31.0	3.3	1.951	4.597
	STDEV	1.9	6.4	2.6	0.1	0.342	1.006
	Median	90.0	81.0	32.0	3.3	2.034	4.831
	Max	90.0	96.0	32.0	3.3	2.310	5.278
	Min	85.0	77.5	25.0	3.1	1.282	2.396
	Max/Min	1.1	1.2	1.3	1.1	1.802	2.203
	Brazil Survey [10]					2.8	

	Keterangan/Referensi	kV	FSD, cm	mAs	HVL, mm Al	ESD _{TLD} , mGy	ESD _{Calc} , mGy
CERVICAL SPINE AP	Quartile 3	75.0	97.0	20.0	2.8	1.290	1.499
	Mean	71.7	95.4	17.6	2.7	1.064	1.267
	STDEV	4.5	4.5	4.1	0.1	0.564	0.515
	Median	73.0	95.0	16.0	2.7	0.951	1.211
	Max	81.0	105.5	28.0	3.0	2.319	2.484
	Min	66.0	90.0	11.0	2.5	0.458	0.412
	Max/Min	1.2	1.2	2.5	1.2	5.059	6.026
	Brazil Survey [10]					0.72	
	Malaysia survey: Median [22]					0.7	
	Serbia & Montenegro [5]						1.5
Slovenia 2005 Survey [27]						1.8	
USA CRCPD 92 DRL [6]					1.5		
CERVICAL SPINE LATERAL	Quartile 3	75.5	88.5	20.5	2.9	1.424	2.278
	Mean	73.2	83.3	18.2	2.8	1.150	1.848
	STDEV	4.3	6.9	4.0	0.2	0.446	0.794
	Median	73.0	82.0	17.0	2.8	1.071	1.838
	Max	81.0	95.0	28.0	3.1	1.960	3.417
	Min	66.0	72.0	12.5	2.5	0.625	0.688
	Max/Min	1.2	1.3	2.2	1.2	3.135	4.964
	Brazil Survey [10]					1.2	
	Malaysia survey: Median [22]					1.5	
	Serbia & Montenegro [5]						1.0
Slovenia 2005 Survey [27]						1.9	

LAMPIRAN E
PENENTUAN FAKTOR KONVERSI FANTOM

Tabel E.1 Pengukuran ESD Fantom dengan Menggunakan TLD dari Sumber Radiasi Pesawat 1D pada FSD 92.2 cm

kV	HVL, mm Al	mAs	Field Size	TL Signal, nC								Fke	ESD Fantom	
				1	2	3	4	5	6	Mean	Stdv/ Mean		mGy	mGy/mAs
68	2.86	8	35.6 x 35.6	14.990	14.925	19.070	20.723	18.617	20.054	18.063	14%	0.034	0.621	0.078
70	2.94	8	35.6 x 35.6	19.809	15.292	19.722	18.712	21.854	20.657	19.341	12%	0.036	0.695	0.087
70	2.94	10	35.6 x 35.6	18.498	19.442	21.804	19.411	18.258	20.098	19.585	7%	0.036	0.704	0.070
70	2.94	12.5	35.6 x 35.6	16.787	15.591	20.660	18.748	18.996	19.771	18.426	10%	0.036	0.662	0.053
70	2.94	14	35.6 x 35.6	18.823	18.687	19.176	21.115	19.239	18.411	19.242	5%	0.036	0.692	0.049
70	2.94	14	35.6 x 35.6	24.079	25.683	21.026	20.783	21.463	21.175	22.368	9%	0.036	0.804	0.057
71.5	3.01	10	35.6 x 35.6	20.736	19.129	16.392	17.478	20.785	17.434	18.659	10%	0.037	0.692	0.069
71.5	3.01	11	35.6 x 35.6	17.600	23.546	19.621	23.323	18.110	15.675	19.646	16%	0.037	0.729	0.066
71.5	3.01	11	35.6 x 35.6	19.139	23.885	22.997	25.064	23.433	25.081	23.267	9%	0.037	0.863	0.078
73	3.07	8	35.6 x 35.6	18.279	25.008	24.597	25.024	19.801	18.315	21.837	15%	0.038	0.835	0.104
73	3.07	10	35.6 x 35.6	23.581	24.440	19.976	22.229	25.624	22.733	23.097	8%	0.038	0.884	0.088
73	3.07	12.5	35.6 x 35.6	31.679	26.392	24.983	26.866	32.193	26.766	28.147	11%	0.038	1.077	0.086

Tabel E.2 Perbandingan ESD Pasien dengan ESD Fantom pada Pesawat 1D dengan Normalisasi FSD ke 100 cm

Tipe Exam	kV	HVL	Pasien, mGy/mAs		Fantom	f_k langsung	f_k tidak langsung	
			ESD _{TLD}	ESD _{Calc}	ESD _{TLD-F}	ESD _{TLD} :	ESD _{Calc} :	
			mGy/mAs	mGy/mAs	mGy/mAs	ESD _{TLD-F}	ESD _{TLD-F}	
Skull AP	70	2.94	0.037	0.040	0.054	0.695	0.745	
	71	2.98	0.058	0.041	n.a			
	71.5	3.01	0.036	0.042	0.061	0.586	0.695	
	Average						0.641	0.720
	Stdev						0.077	0.036
Skull Lat	68	2.86	0.059	0.038	0.066	0.888	0.571	
	70	2.94	0.035	0.040	0.054	0.643	0.745	
	71	2.98	0.046	0.041	n.a			
	Average						0.765	0.658
	Stdev						0.173	0.123