

***DIAGNOSTIC REFERENCE LEVEL (DRL) DENGAN METODE
ENTRANCE SURFACE DOSE (ESD) PADA PEMERIKSAAN
RADIOLOGI THORAX PEDIATRI***

TESIS



**SURIP
156090300111006**

**PROGRAM STUDI FISIKA
MINAT FISIKA MEDIS**

**PROGRAM PASCA SARJANA FAKULTAS MIPA
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2019**

PENGESAHAN

DIAGNOSTIC REFERENCE LEVEL (DRL) DENGAN METODE ENTRANCE SURFACE DOSE (ESD) PADA PEMERIKSAAN RADIOLOGI THORAX PEDIATRI

Oleh:

Nama Mahasiswa : SURIP
Nim : 156090300111006
Program Studi : FISIKA
Minat : FISIKA MEDIS

Menyetujui

KOMISI PEMBIMBING

Ketua

Anggota

Drs.Johan A E N. M.Sc.Ph.D

Prof.Dr.dr. Yuyun Y. Sp.Rad (K)

NIP. 196503251990021004

NIP 196810311996012001

Mengetahui

Ketua Program Studi S2 Fisika

Mauludi Ariesto Pamungkas.S.Si.M.Si,Ph.D

NIP. 197304122000031013

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya, di dalam naskah tesis ini tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata di dalam naskah tesis ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan (plagiat) tesis, saya bersedia tesis (magister) dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Malang, Januari 2019

Mahasiswa

Surip

Nim. 156090300111006

JUDUL TESIS:

*DIAGNOSTIC REFERENCE LEVEL (DRL) DENGAN METODE
ENTRANCE SURFACE DOSE (ESD) PADA PEMERIKSAAN
RADIOLOGI THORAX PEDIATRI*

Nama Mahasiswa : Surip
NIM : 156090300111009
Program Studi : S2 Fisika
Minat : Fisika Medis dan Biofisika

KOMISI PEMBIMBING

Ketua : Drs. Johan A E N. M.Sc.Ph.D.
Anggota : Prof.Dr.dr. Yuyun Y.M.Kes.Sp.Rad(K)

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : ChomsinS Widodo.S.Si.M.Si.Ph.D.
Dosen Penguji 2 : Dr.Sugeng Rianto.M.Sc.

Tanggal Ujian:

SK Penguji:

RIWAYAT HIDUP

Surip, suatu nama yang hanya terdiri dari 5 huruf sesuai tertera dalam dokumen resmi. Lahir pada tanggal 8 maret 1969 dari ayah Muh As'at dan Ibu Suntirah di Demak, sebuah kota kecil yang dalam sejarah tercatat sebagai kerajaan Islam pertama di pulau Jawa, sehingga kota Demak dikenal dengan kota wali. Awal pendidikan formal diawali dari pendidikan dasar di SD Negeri Kadilangu I Demak lulus tahun 1982 dilanjutkan pendidikan menengah pertama di SMP negeri 2 Demak lulus tahun 1985 dan pendidikan menengah atas di SMA negeri 1 Demak lulus pada tahun 1988. Setamat dari SMA, pendidikan tinggi pertama kali diterima di Akademi Penata Rontgen Departemen Kesehatan Republik Indonesia (APRO Depkes RI) di Semarang lulus tahun 1991. Selesai dari pendidikan akademi, pada tahun 1992 diangkat sebagai Pegawai Negeri Sipil tenaga kesehatan untuk kantor Wilayah Departemen Kesehatan Nusa Tenggara Timur ditempatkan di RSUD dr. TC. Hillers Maumere Kabupaten Sikka di pulau Flores. Pada akhir tahun 1995 dipindah tugaskan ke Kantor Wilayah Departemen Kesehatan Jawa Timur ditempatkan di Instalasi Radiologi RSUD dr Saiful Anwar Malang. Dengan perkembangan teknologi di bidang Radiologi rumah sakit dituntut memiliki tenaga profesional dibidang Fisika Medis. Pada tahun 2007 melanjutkan pendidikan S1 di Program Studi Fisika FMIPA Universitas Brawijaya Malang melalui jalur Seleksi Alih Program dan dinyatakan lulus tahun 2009.

Malang, Januari 2019

Penulis

DIAGNOSTIC REFERENCE LEVEL (DRL) DENGAN METODE ENTRANCE SURFACE DOSE (ESD) PADA PEMERIKSAAN RADIOLOGI THORAX PEDIATRI

Pemanfaatan sinar-x di bidang kesehatan untuk mengetahui anatomi organ bagian dalam manusia masih dilakukan sampai saat ini. Salah satunya adalah pemeriksaan radiologi rutin thorax pada pediatri. Organ-organ pasien pediatri merupakan sel-sel yang masih muda yang sensitif terhadap radiasi.

Guna meminimalkan efek radiasi pada sel-sel tubuh manusia *International Atomic Energy Agency* (IAEA) telah mengeluarkan rekomendasi *Guidance level basic safety standar (BSS No 115)* dengan menerapkan sistem pembatasan dosis paparan untuk keperluan diagnostik atau *Diagnostic reference level (DRL)*.

Besarnya nilai DRL yang berlaku di Indonesia tercantum dalam Peraturan Kepala BAPETEN No 8 tahun 2011 merupakan penerapan DRL yang direkomendasikan IAEA. DRL tersebut untuk pasien dewasa yang merupakan kumpulan dari beberapa negara-negara anggota IAEA.

Data DRL untuk pemeriksaan thorax pediatri di Indonesia sangat sedikit. Sehingga di Indonesia belum ditentukan nilai DRL untuk pemeriksaan radiologi anak. Untuk itu hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menyumbangkan data mengenai dosis yang diterima oleh pasien pediatri yang menjalani pemeriksaan radiologi yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan nilai DRL Indonesia.

Pengukuran dilakukan dengan metoda *entrance surface dose (ESD)* langsung kepada pasien dengan empat buah alat ukur radiasi pendosimeter yang

ditempatkan pada keempat sudut lapangan sinar-x. Data diperoleh dari 318 pasien anak dari umur 0 tahun sampai 18 tahun dengan menggunakan tiga mesin sinar-x yang biasa digunakan pemeriksaan radiologi thorax pediatri di RSUD dr Saiful Anwar Malang. Pengaturan faktor eksposi yang meliputi tegangan tabung (kV) dan Arus waktu tabung (mAs) ditentukan oleh radiografer yang biasanya melakukan pemeriksaan dengan mencatat umur, jenis kelamin, berat badan, tinggi badan, tebal dada, indeks massa tubuh.

Hasil penelitian menunjukkan nilai ESD pemeriksaan radiologi thorax pediatri dari tiga kelompok umur pada pemeriksaan radiologi thorax pediatri di RSUD Dr Saiful Anwar Malang berbeda-beda. Hasil-hasil pengukuran nilai paparan dosis kulit atau ESD didapatkan dari perhitungan persentil 75 pada setiap kelompok secara berturut-turut menunjukkan kelompok umur $0 - \leq 4$ tahun sebesar 0,07 mGy, kelompok umur $>4-14$ tahun sebesar 0,18 mGy dan kelompok umur $>14 - 18$ tahun sebesar 0,2 mGy. Nilai DRL hasil penelitian lebih rendah dibandingkan dengan nilai DRL yang ditetapkan oleh komisi proteksi radiasi internasional (ICRP)

DIAGNOSTIC REFERENCE LEVEL (DRL) USING THE ENTRANCE SURFACE DOSE (ESD) METHOD AT RADIOLOGICAL EXAMINATION OF PEDIATRIC THORAX

The use of x-rays in the health sector to determine the anatomy of human still carried out today. One of them is routine radiological examination of the thorax in pediatrics. The organs of pediatric patients are young cells that are sensitive to radiation. International Atomic Energy Agency (IAEA) has issued a Guidance level basic safety standard (BSS No. 115) by applying exposure dose limitation systems for diagnostic purposes or the Diagnostic reference level (DRL). The amount of DRL in force in Indonesia stated in Perka BAPETEN No. 8 of 2011 is the application of DRL recommended by the IAEA. The DRL is for adult patients who are a collection of several IAEA member countries. While the DRL data for Thoracic Thoracic Examination in Indonesia is very small. So that in Indonesia the DRL value has not been determined for radiological examination of children. For this reason, the results of this study are expected to be able to contribute data regarding the dosages received by pediatric patients undergoing radiological examinations which can then be used to determine the value of Indonesian DRL.

Measurements were carried out using the entrance surface dose (ESD) method directly to patients with four pendocimeter radiation measuring devices placed on the four corners of the x-ray field. Data were obtained from 318 pediatric patients from the age of 0 years to 18 years using three x-ray machines which are commonly used for radiological examination of pediatric thorax in

RSUD Dr. Saiful Anwar Malang. Setting exposure factors which include tube stress (kV) and tube time flow (mAs) are determined by radiographers who usually carry out examinations by recording age, sex, weight, height, chest thickness, body mass index.

The results showed that the ESD values of the radiological examination of pediatric thorax from the three age groups on the radiological examination of the pediatric chest in Dr Saiful Anwar Malang Hospital were different. The results of measuring exposure to skin doses or ESD were obtained from the 75th percentile calculation in each group, respectively showing: age group 0 - \leq 4 years at 0.07 mGy, age group >4-14 years at 0.18 mGy and age group >14-18 years at 0.2 mGy. The DRL value of the research results is lower than the DRL value set by the international radiation protection commission (ICRP)

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, akhirnya saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Fisika Medis Jurusan Fisika pada Fakultas MIPA Universitas Brawijaya Malang.

Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan berbagai pihak, sangat sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Mauludi Ariesto Pamungkas. S.Si., M.Si., Ph.D. selaku ketua program studi pasca sarjana fisika yang telah memberikan masukan yang berhubungan dengan penulisan tesis ini.
2. Drs. Johan Andoyo Effendi Noor. M.Sc., Ph.D. selaku pembimbing utama yang telah dengan sabar memberikan ilmu dan panduan sampai dengan selesainya penyusunan tesis ini.
3. Prof.Dr.dr.YuyunYuniewati.M.Kes.,Sp.Rad(K) selaku Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu di sela-sela kesibukannya untuk memberikan bimbingan dalam penyelesaian tesis ini.
4. Chomsin Sulistya Widodo.S.Si.,M.Si.,Ph.D. selaku penguji tesis yang telah memberikan pertanyaan yang membuka wawasan kepada saya untuk lebih banyak belajar.

5. Dr. Sugeng Rianto, M.Sc. selaku penguji tesis yang telah memberikan masukan-masukan yang sangat penting sehingga tesis ini lebih baik.
6. Seluruh staf dosen pengajar dan staf administrasi Program Magister Fisika FMIPA Universitas Brawijaya.
7. Istriku Nurindarti. S.Kep.Ners. yang telah mendorong dan memotivasi untuk terselesainya tesis ini.
8. Anak-anakku Naufal Izzudin Nafis dan Nabil Wamuafi Nafis yang telah menghiburku ketika ada kebuntuan berpikir dalam penyusunan tesis ini
9. Teman-teman dan semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu yang telah turut membantu terlaksananya penelitian ini.

Akhir kata, Saya berharap semoga hasil penelitian pada tesis ini dapat bermanfaat bagi masyarakat dan perkembangan ilmu pengetahuan.

Malang, Januari 2019

penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar belakang	1
1.2. Rumus Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Manfaat Penelitian	7
1.5. Batasan Penelitian	7
BAB II LANDASAN TEORI	8
2.1. Radiasi Elektromagnetik	8
2.2. Proses Terbentuknya Sinar-x	8
2.3. Faktor yang menentukan spektrum Sinar-x	12
2.4. Proses Terbentuknya Gambar Rontgen	17
2.5. Tehnik Pemeriksaan Radiologi Dada (Thorax)	18
2.6. Interaksi Radiasi Sinar-x terhadap Organ tubuh manusia	21
2.7. Diagnostic Reference Level(DRL)	23
2.8. Metoda Pengukuran DRL	25
2.9. Entrance Surface Dose(ESD)	26

2.10. Pendosimeter (PD)	26
BAB III KERANGKA KONSEP	28
3.1. Kerangka Pemikiran	28
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	30
4.1. Waktu dan Tempat Penelitian	30
4.2. Peralatan Penelitian	30
4.3. Sampel dan cara Pemilihan Sampel	31
4.4. Kriteria Inklusi dan eksklusi	31
4.5. Alur Penelitian	32
4.6. Prosedur Penelitian	33
4.7. Analisa Data	38
BAB V HASIL PENELITIAN	40
5.1. Validasi Pendosimeter	40
5.2. Validasi Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-x	40
5.3. Diskripsi Data Sampel Penelitian	46
5.4. Hubungan Umur Pasien Terhadap Nilai ESD	49
5.5. Penentuan Nilai DRL	50
5.5.1. Nilai DRL Pasien Pediatri Berdasarkan Kelompok Umur	50
5.5.2. Nilai DRL Semua Pasien Pediatri	51
5.5.3. Nilai DRL Pasien Pediatri Berdasar Jenis Kelamin	51
5.5.4. Nilai DRL Pasien Pediatri Pada Mesin Yang Digunakan	52
BAB VI PEMBAHASAN	54
6.1. Perbedaan Hasil Pengukuran ESD	54

6.2. Perbandingan Nilai DRL	55
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	59
7.1. Kesimpulan	59
7.2. Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Besarnya energi sinar-x karakteristik yang dihasilkan karena perpindahan elektron antar kulit atom	10
Tabel 4.1	Spesifikasi peralatan sinar-x yang digunakan penelitian	31
Tabel 4.2	Data interpolasi dosis menggunakan pendosimeter	35
Tabel 4.3	Data Pengukuran ESD pada sampel	38
Tabel 5.1	Daftar pendosimeter yang digunakan alat ukur paparan dosis radiasi	40
Tabel 5.2	Hasil Uji kesesuai mesin sinar-x	41
Tabel 5.3	Data paparan dosis radiasi titik bidik obyek terhadap paparan dosis pada sudut-sudut luas lapangan sinar-x dengan ketebalan yang berbeda	43
Tabel 5.4	Data paparan dosis titik tengah terhadap paparan dosis luas lapangan sinar-x yang berbeda	45
Tabel 5.5	Data pasien berdasarkan kelompok umur	47
Tabel 5.6	Diskripsi sampel berdasarkan jenis kelamin	48
Tabel 5.7	Nilai ESD pada kelompok umur	50
Tabel 5.8	Nilai ESD pada pediatri	51
Tabel 5.9	Nilai ESD pada jenis kelamin sampel	51
Tabel 5.10	Nilai ESD pada tiap mesin sinar-x	53
Tabel 6.1	Perbandingan Nilai ESD	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Terjadinya Sinar-x Karakteristik	9
Gambar 2.2	Skema Terjadinya Sinar-x Bremsstrahlung	11
Gambar 2.3	Grafik hubungan sinar-x dengan pengaturan mAs	13
Gambar 2.4	Grafik hubungan sinar-x dengan pengaturan kV	14
Gambar 2.5	Grafik hubungan intensitas sinar-x dan penambahan filter tabung	15
Gambar 2.6	Grafik hubungan intensitas sinar-x dengan material target	16
Gambar 2.7	Grafik hubungan antara intensitas radiasi dengan bentuk gelombang listrik generator	17
Gambar 2.8	Posisi pasien dan luas lapangan penyinaran pada rontgen thorax	19
Gambar 2.9	Kreteria hasil gambar rontgen thorax	20
Gambar 2.10	Struktur pendosimeter	27
Gambar 4.1	Skema penempatan pendosimeter pada interpolasi dosis paparan	35
Gambar 4.2	Posisi pasien proyeksi anterior posterior	36
Gambar 4.3	Pengukuran ketebalan dada pasien	37
Gambar 4.4	Penempatan pendosimeter saat pengambilan data	37
Gambar 4.5	Ilustrasi Posisi pasien berdiri pada saat pengambilan data	38
Gambar 5.1	Grafik hubungan ketebalan obyek dengan paparan dosis pasien	44

Gambar 5.2	Diagram distribusi frekwensi berdasarkan kelompok umur sampel	47
Gambar 5.5	Diagram scatter hubungan umur terhadap nilai ESD	49

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

AP	Antero posterior
BAPETEN	Badan Pengawas Tenaga Nuklir
DR	Digital Radiography
DRL	Diagnostic Reference Level
ESAK	Entrance Air Kerma
ESD	Entrance Surface Dose
FFD	Focus Film Distance
IAEA	International Atomic Energy Agency
IMT	Indeks MAssa Tubuh
INAK	Insidence Air Kerma
kV	kilo Voltage
mA	milli Ampere
mAs	milli Ampere second
PA	Posterior Anterior
PD	Pen Dosimete
UNCEAR	United Nations Scientific Comitee on the Effects of Atomic Radiation

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Pancaran energi sinar-x dapat mengionisasi materi yang dilewati. Sinar-x juga digunakan di bidang kedokteran untuk memotret bagian dalam organ pasien sehingga dokter dapat menegakan suatu diagnosa lebih akurat. Resiko bahaya radiasi akan timbul apabila prinsip-prinsip keselamatan tidak diterapkan. Oleh karena itu pemanfaatan radiasi pengion memperhatikan keselamatan lingkungan disekitarnya. Proteksi radiasi merupakan upaya untuk menciptakan kondisi agar efek pemanfaatan radiasi aman untuk manusia.

Menurut salah satu komite ilmiah persatuan bangsa-bangsa menyebutkan penggunaan radiasi sinar-x untuk keperluan medis merupakan radiasi pengion yang terbesar yang mengenai masyarakat. Dari tahun ke tahun seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, terjadi peningkatan pemeriksaan radiologi konvensional dengan menggunakan sinar-x. Pemeriksaan ini berfungsi untuk keperluan diagnosa penyakit. Penggunaan sinar-x untuk memotret isi dari rongga thorax dikenal dengan nama teknik radiografi thorax.

Selama kurun waktu tiga tahun terakhir data yang diambil dari laporan tahunan instalasi radiologi RSUD Saiful Anwar Malang jumlah pemeriksaan radiologi thorax pada tahun 2013 sejumlah 34.025 orang, tahun 2014 sejumlah 35.332 orang, tahun 2015 sejumlah 37.879 orang. Dari data tahun 2013 ke 2014 terjadi peningkatan 3,8 % dan tahun 2014 ke tahun 2015 peningkatan 7,2%. Dari

data tersebut 450 pasien (15%) setiap bulannya merupakan pemeriksaan thorax pediatri(Instalasi Radiologi, 2015).

Dengan peningkatan pemeriksaan radiologi thorax diperlukan perhatian khusus dari radiografer akan bahaya radiasi, karena setiap pemanfaatan sinar-x dengan dosis sekecil apapun dapat mengandung bahaya radiasi terhadap sel-sel tubuh manusia(Ladia et al., 2016). Pemeriksaan radiologi thorax pada pediatri memerlukan perhatian dalam upaya meminimalkan efek radiasi. Organ-organ pada pasien pediatri merupakan sel-sel yang masih muda sehingga sensitif terhadap radiasi. Pasien anak mempunyai kemungkinan efek sinar-x melebihi daripada dewasa.

United Nations Scientific Comitee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) melaporkan ada 23 tipe kanker yang berbeda ditemukan pada pasien pediatri. Lebih 25% tipe kanker tersebut berupa leukaemia, thyroid, kulit dan otak. Beberapa tipe kanker tersebut patut diduga karena pengaruh efek radiasi dari pemeriksaan radiologi(Eri & Kartikasari, 2015).

Pada pemeriksaan radiologi pediatri sangat rentan mendapatkan radiasi yang berlebihan. terutama apabila parameter-parameter untuk pemberian dosis radiasi tidak diperhatikan oleh radiografer. Potensi terkena kanker pada pediatri dapat terjadi pada jangka pendek maupun jangka panjang. Faktor munculnya kanker pada anak diperkirakan 2-3 kali lebih tinggi pada semua populasi(Paulo, Vano, & Rodrigues, 2015). Gejala meningkatnya dosis radiasi yang tidak perlu dalam pemeriksaan radiologi akhir-akhir ini cukup meningkat seiring dengan perkembangan tehnologi di bidang Radiologi.

Pada saat ini perangkat pembentuk gambar digital telah menggantikan sistem layar film. Digital radiografi menggunakan prinsip sinar-x yang telah dilemahkan oleh obyek ditangkap detektor, sinyal analog dari detektor dirubah dalam sinyal digital oleh computer(Seeram, 2014). Detektor berperan sebagai screen film dalam radiografi konvensional.

Pada sistem screen film kelebihan dosis radiasi pada suatu pemeriksaan akan segera diketahui dengan melihat kualitas gambar yang dihasilkan. Pada sistem ini kelebihan faktor eksposi akan menghasilkan kualitas gambar yang hitam dan kekurangan faktor eksposi akan menghasilkan gambar yang putih. Kedua hasil gambar tersebut memerlukan pengulangan pemeriksaan radiologi sehingga menambah dosis pasien.

Pada sistem DR memiliki keuntungan *dynamic range* lebih lebar dibandingkan dengan sistem screen film. Pada sistem ini pada pemilihan faktor eksposi yang berlebihan tidak akan kelihatan karena ada suatu sistem pengolahan gambar dengan mengatur kecerahan hasil gambar yang dapat diterima secara diagnostik. Sedangkan pemilihan faktor eksposi yang rendah akan mendapatkan kualitas gambar yang buruk. Sehingga timbul anggapan yang tidak tepat dalam kegiatan praktek pemeriksaan radiologi bahwa penggunaan faktor eksposi yang tinggi lebih bagus daripada faktor eksposi yang rendah(Gibson & Robert, 2011).

Guna meminimalkan efek radiasi pada sel-sel tubuh manusia *International Atomic Energy Agency (IAEA)* telah mengeluarkan rekomendasi *Guidance level basic safety standar (BSS No 115)* berdasarkan nilai DRL yang telah di terapkan di beberapa negara di dunia. Batas paparan dosis ini digunakan untuk keperluan

diagnostik atau DRL untuk bermacam-macam pemeriksaan dengan menggunakan sinar-x untuk keperluan radiodiagnostik yang telah disesuaikan dengan keadaan kegiatan radiologi di lapangan.

Pelaksanaan DRL di Indonesia dilaksanakan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN), melalui Surat Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomer 8 tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-x Radiologi Diagnostik dan Intervensional telah menentukan tingkat panduan dosis radiografi diagnostik untuk setiap pasien dewasa (BAPETEN, 2011). Sedangkan penentuan DRL untuk pemeriksaan radiologi anak belum di tentukan.

Besarnya nilai DRL dari setiap daerah atau negara dapat memiliki karakteristik yang berbeda-beda karena nilai ini dipengaruhi oleh fasilitas peralatan dan prosedur kerja yang berbeda-beda pada masing-masing daerah atau negara. Kenyataan ini mengharuskan kita berupaya untuk membangun tingkat referensi diagnostik bersifat regional sehingga dapat digunakan sebagai panduan untuk skala nasional (ICRP, 1996).

Besarnya nilai DRL yang tercantum dalam Peraturan kepala BAPETEN Nomor 8 tahun 2011 merupakan nilai DRL internasional yang diterapkan di Indonesia. Hal ini belum tentu sesuai dengan keadaan pasien di Jawa Timur terutama Malang. Untuk itu hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menyumbangkan data mengenai dosis yang diterima oleh pasien pediatri yang menjalani pemeriksaan radiologi yang kemudian dapat digunakan untuk menentukan nilai DRL Indonesia.

Telah dilakukan penelitian yang berhubungan dengan penentuan DRL pada pemeriksaan rutin sinar-x radiodiagnostik di tiga rumah sakit di Indonesia yaitu di kota Makasar, Sukabumi dan Pontianak. Pada penelitian ini besar sampel yang diambil untuk pemeriksaaan rutin radiologi thorax sebesar 36 pasien yang diantaranya hanya ada dua pasien anak. Metode yang digunakan untuk mengukur paparan dosis radiasi dengan pada titik tengah sinar-x pada permukaan kulit dengan menggunakan TLD. Kesimpulan penelitian ini nilai paparan dosis pasien pada pemeriksaan radiodiagnostik lebih rendah dari pada standart yang ditetapkan oleh komisi internasional proteksi radiasi.

Disamping itu juga telah dilakukan penelitian DRL di Portugal pada pasien anak untuk yang meliputi pemeriksaan thorax, pelvis dan abdomen. Metoda yang digunakan pada penelitian ini menghubungkan data antropometri dari 9935 pasien anak dan nilai paparan dosis dengan pendekatan *Kerma Air Product* (KAP) dan *Entrance Surface Air kerma* (ESAK). Kesimpulan dari penelitian ini paparan dosis pada pasien anak-anak lebih rendah dari pada yang ditetapkan oleh ICRP(Paulo et al., 2015).

Sedangkan penelitian penentuan DRL yang pernah dilakukan untuk kota Malang nilai DRL untuk pemeriksaan CT-scan kepala. Metoda yang digunakan dengan mengumpulkan beberapa parameter pemeriksaan CT-scan yang meliputi kV, mAs, CTDI, DLP. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai DRL untuk pemeriksaan CT-scan kepala di kota Malang masih lebih rendah bila dibandingkan dengan nilai yang rekomendasikan oleh lembaga internasional(Efendi & Normahayu, 2012).

Dari uraian penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penentuan nilai DRL untuk pemeriksaan radiologi thorax pediatri belum pernah dilakukan di Malang. Penentuan DRL pediatri dapat dilakukan secara lokal untuk satu rumah sakit besar atau dua sampai empat rumah sakit kecil. Sehingga penelitian ini akan mengarah pada pemeriksaan radiologi thorax pediatri di RSUD dr. Saiful Anwar Malang dengan metoda ESD menggunakan alat ukur pendosimeter. Hasil pengukuran paparan dosis radiasi pada kulit dari berbagai variabel berharap dapat digunakan sebagai data penentuan DRL di Indonesia.

1.2. Rumus Masalah

Dari latar belakang diatas dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Berapakah nilai paparan dosis radiasi pada permukaan kulit (ESD) yang diterima pasien pada pemeriksaan radiologi thorax pediatri di RSUD dr. Saiful Anwar Malang?
2. Berapakah nilai DRL pada pemeriksaan radiologi thorax pediatri di RSUD dr. Saiful Anwar Malang?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai oleh peneliti adalah

- 1.3.1. Mengetahui besarnya paparan dosis radiasi pada permukaan kulit (ESD) yang diterima pasien pediatri pada pemeriksaan radiologi thorax di RSUD dr. Saiful Anwar Malang

1.3.2. Menganalisis hasil pengukuran paparan dosis radiasi permukaan kulit (ESD) yang diterima pasien pediatri untuk menentukan DRL sebagai rekomendasi DRL nasional Indonesia yang mengacu standar internasional.

1.4. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat kepada:

1.4.1. Manfaat Akademik

Sebagai bahan kajian ilmiah dalam pengembangan metode pengukuran DRL pada pemeriksaan radiologi thorax pediatri.

1.4.2. Manfaat Praktis

Sebagai panduan besaran dosis yang diterima pasien pada pemeriksaan radiologi pediatri dalam rangka meminimalkan efek radiasi sinar-x dengan menjalankan prinsip-prinsip proteksi Radiasi.

1.5. Batasan Penelitian

Penelitian ini membatasi hanya pada ruang lingkup pemeriksaan radiologi thorax anak di RSUD dr. Saiful Anwar Malang dengan menggunakan tiga unit mesin sinar-x dan lima pendosimeter dengan hanya mengukur paparan dosis yang diterima oleh pasien.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Radiasi Elektromagnetik

Perubahan medan magnet dapat menyebabkan medan listrik begitu pula perubahan medan listrik dapat menyebabkan medan magnet. Pernyataan ini sebagai berawal mulanya dugaan timbulnya pancaran gelombang elektromagnetik yang kemukakan oleh James Clark Maxwell pada tahun 1864(Podgorsak, 2006). Praduga ini selanjutnya di diteliti oleh Heinrich Rudolf Hertz dalam eksperimennya. Pada penelitiannya membuktikan bahwa laju gelombang elektromagnetik mendekati laju cahaya.

Pancaran gelombang elektromagnetik berasal dari kumpulan berbagai macam jenis radiasi yang membentuk spektrum gelombang elektromagnetik. Spektrum ini digolongkan berdasarkan frekwensi dan panjang gelombang. Bila panjang gelombang meningkat maka pancaran gelombang elektromagnetik memiliki tenaga semakin kecil, sebaliknya dengan besarnya frekuensi akan memiliki energi semakin besar energi(T.Rivera, 2016). Sinar-x termasuk salah satu pancaran gelombang elektromagnetik yang dapat menimbulkan ionisasi bahan yang dilewatinya. Besarnya frekwensi sinar-x diperkirakan sebesar 10^{16} sampai 10^{20} Herz dengan panjang gelombang sebesar 10^{-9} sampai 10^{-6} cm.

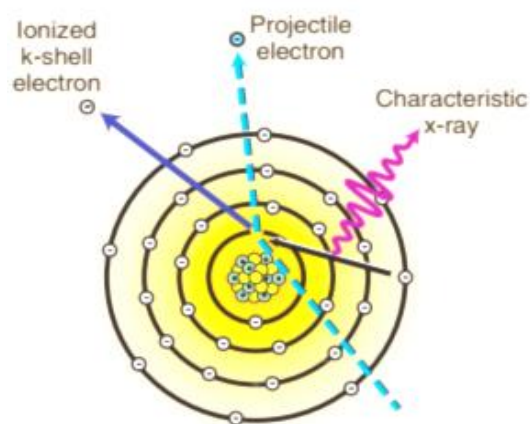
2.2. Proses Terbentuknya Sinar-x

Sinar-x terbentuk karena proses interaksi antara elektron dengan atom target. Proses ini terjadi di tabung gelas yang vakum terhadap udara. Di dalam

tabung terdapat filamen yang bertindak sebagai katoda dan target tumbukan yang berfungsi sebagai anoda(Jenkins, 2009). Awan elektron terbentuk ketika filamen yang dialiri arus listrik dan dengan adanya beda potensial dalam orde 10^2 - 10^6 volt antara katoda dan anoda, elektron dari filamen berpindah dengan kecepatan yang tinggi mengarah ke anoda.

Elektron-elektron yang memiliki kecepatan tinggi berinteraksi dengan atom-atom target, maka sinar-x akan terbentuk di permukaan target. Jika elektron-elektron yang bermigrasi dari katoda ke anoda memiliki kecepatan yang tinggi akan memiliki energi kinetik yang mampu menerobos elektron kulit-kulit terluar hingga terjadi tumbukan dengan elektron pada kulit K.

Peristiwa tersebut dapat menyebabkan elektron pada kulit atom akan terlepas dari orbitnya, sehingga menimbulkan lubang di kulit K. Hilangnya elektron pada kulit K menjadikan elektron dari kulit terluar berpindah ke kulit K diikuti pelepasan foton(Ferdeghini, 2014). Foton atau paket energi dari peristiwa ini dikatakan dengan sinar-x karakteristik. Skema proses terjadinya sinar-x karakteristik ini dapat dilihat pada gambar 2.1.



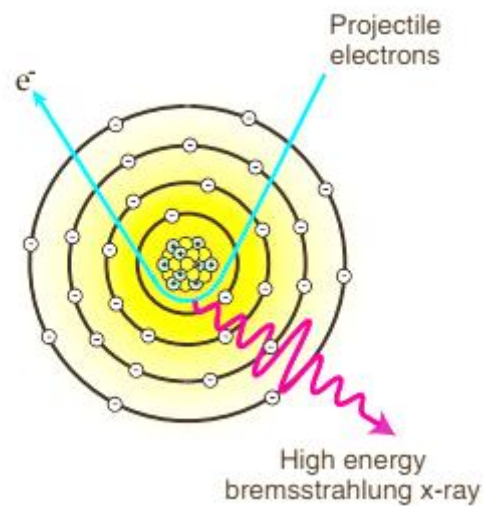
Gambar 2. 1 Skema terjadinya Sinar-x kaarakteristik(Bushong, 2001)

Sudah kita ketahui bersama bahwa setiap elektron mempunyai energi ikat. Besarnya energi sinar-x yang dihasilkan dari perpindahan dari kulit M ke K, N ke K, O ke K dan P ke K dapat di diperkirakan. Peristiwa elektron yang berpindah dari kulit luar menuju kekulit K maka sinar-x yang dihasilkan disebut sinar-x kulit K(Bushong, 2001). Peristiwa ini dapat terjadi pada kulit-kulit yang lain sehingga dapat kita sebut berturut-turut sinar-x kulit L, M, N dan O. Nilai energi sinar-x karakteristik sangat tergantung dari nomer atom dari bahan target. Beberapa besarnya energi sinar-x karakteristik ini dapat dilihat pada tabel.1 dibawah ini.

Tabel 2. 1. Energi Sinar-x karakteristik (Bushong, 2001)

Sinar-x Karakteristik	L	M	N	O	P	Energi Efektif (keV)
K	57,4	66,7	68,9	69,4	69,5	69,0
L		9,3	11,5	12,0	12,1	12,0
M			2,2	2,7	2,8	3,0
N				0,52	0,6	1,0
O					0,08	0,1

Proses lain yang dapat terjadi pada bahan target adalah apabila elektron yang memiliki kecepatan tersebut tidak menumbuk elektron kulit tetapi dapat menerobos melewati elektron pada kulit-kulit atom sehingga elektron yang dipercepat mendekati inti, karena dekatnya elektron terhadap inti maka elektron akan berinteraksi dengan medan inti yang sangat kuat (Rasuli, Ghorbani, & Juybari, 2016). Konsep terbentuk sinar-x ini karena elektron yang bermuatan negatif ketika mendekati inti atom yang bermuatan positif akan terjadi interaksi gaya elektrostatis antara kedua elektron dan positron yang ada di inti lihat gambar 2.2. Peristiwa ini mengakibatkan elektron akan dibelokkan arahnya dengan diikuti kekurangan energi yang dilepaskan dalam bentuk sinar-x bremsstrahlung.



Gambar 2. 2. Skema terjadinya sinar-x Bremsstrahlung (Bushong, 2001)

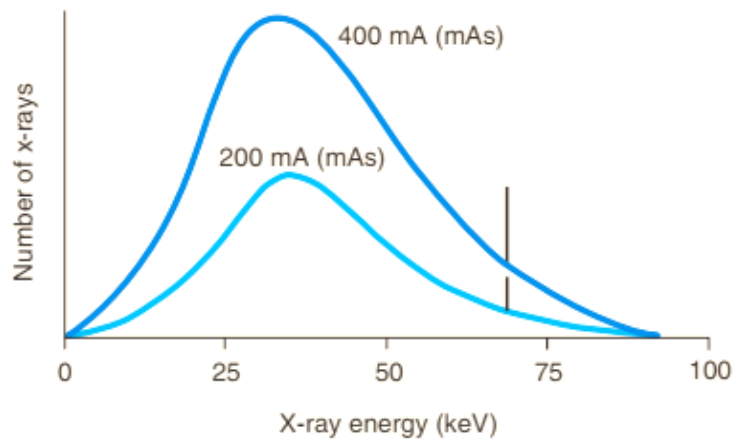
2.3. Faktor yang menentukan spektrum Sinar-x

Sinar-x yang dihasilkan dari interkasi elektron-elektron dengan material target memiliki energi dan intensitas yang berbeda-beda. Beberapa faktor yang dapat menentukan perbedaan kualitas dan intensitas sinar-x adalah pemilihan faktor eksposi. Beberapa pengaturan faktor eksposi yang mempengaruhi spektrum emisi sinar -x adalah:

2.2.1. Faktor milli Ampere dan milli Ampere second

Pemilihan nilai mA merupakan indikasi besarnya arus listrik yang kita berikan kefilamen tabung. Semakin besar mA yang kita pilih akan menghasilkan terkumpulnya elektron pada katoda semakin lebih banyak(Winarno, 2012). Ketika nilai mA di dua kalikan dari nilai mA awal dengan faktor-faktor lain dalam kondisi tetap maka intensitas emisi sinar-x yang dihasilkan menjadi dua kali dari semula.

Sedangkan nilai second (s) adalah nilai lamanya waktu pemaparan pergerakan elektron ke Anoda. Perkalian mA dengan sekon menghasilkan nilai mAs. Pengaturan nilai mAs yang sama dengan nilai mA yang berbeda akan menghasilkan intensitas emisi sinar-x yang sama(Bushong, 2001). Hubungan besarnya pemilihan nilai mA terhadap intensitas sinar-x yang dihasilkan ditunjukkan pada gambar 2.3.



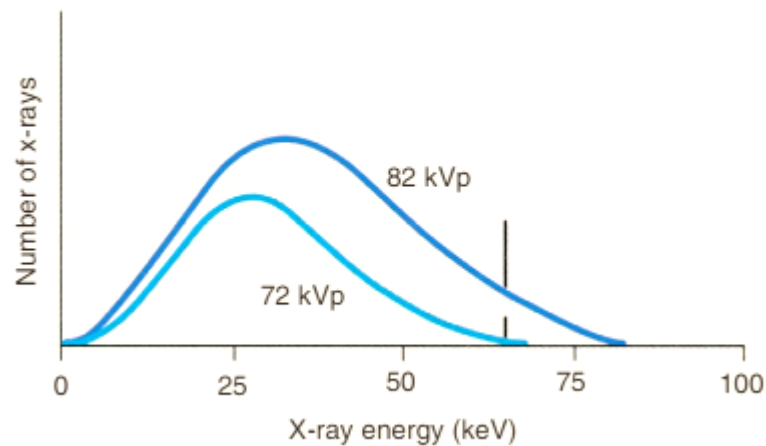
Gambar 2. 3 Grafik hubungan sinar-x dengan pengaturan mAs

(Bushong, 2001)

2.2.2. Faktor Beda Potensial

Awan elektron yang terkumpul di filamen di gerakan ke arah anoda. Pergerakan ini dengan memberikan beda potensial yang tinggi antara kutub anoda dan katoda. Potensial yang diberikan berukuran ribuan volt sehingga sering disebut kilo volt atau kv. Semakin tinggi beda potensial semakin tinggi energi kinetik elektron yang menuju anoda.

Pengaturan kv merupakan faktor yang berpengaruh pada besarnya energi sinar-x yang dihasilkan. Semakin besar energi sinar-x yang dihasilkan akan berpengaruh terhadap daya tembus sinar-x. kualitas sinar-x yang dihasilkan berbanding lurus dengan dengan tegangan tabung seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Grafik hubungan sinar-x dengan pengaturan beda potensial(Bushong, 2001)

2.2.3. Faktor Filtrasi

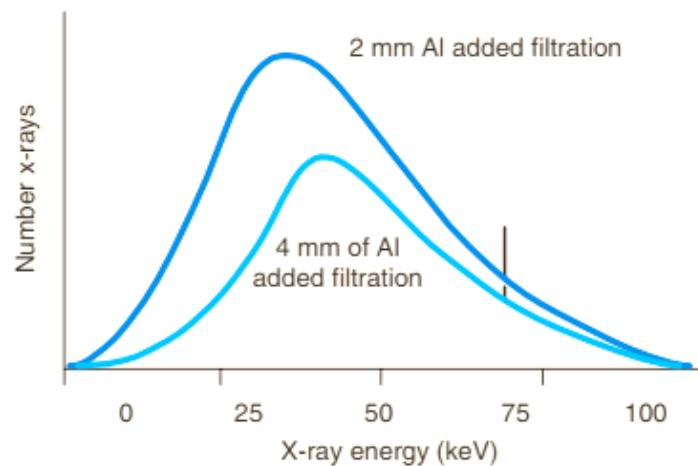
Energi sinar-x yang dikeluarkan tabung besarnya beda-beda. Sinar-x yang memiliki energi rendah tidak mampu menembus ketebalan obyek yang dilaluinya. Energi Sinar-x ini tidak berperan dalam pembentukan bayangan pada film, tetapi sinar-x energi rendah ini dapat dosis radiasi pada obyek.

Dalam teknik radiografi diperlukan energi sinar-x mendekati seragam, maka untuk tujuan ini didalam tabung sinar-x pasang penyaring atau filter. Kegunaan dari filter ini adalah untuk menghambat sinar-x yang berenergi rendah keluar dari tabung.

Terdapat dua macam filter yang di kenal yaitu *inhern* filter dan *addional* filter. Kaca pembungkus dan bahan metal pembungkus tabung merupakan bahan yang termasuk dalam *Inhern* filter(Sun, Lin, Tyan, & Ng Hoong, 2012).

Sedangkan additional filter merupakan bahan metal yang sengaja di pasang oleh pabrik pembuatan tabung sinar-x. Bahan additional filter ini dapat berupa *wedge sheet* terbuat dari aluminium yang ditempatkan pada jendela pengatur luas keluarnya area sinar-x.

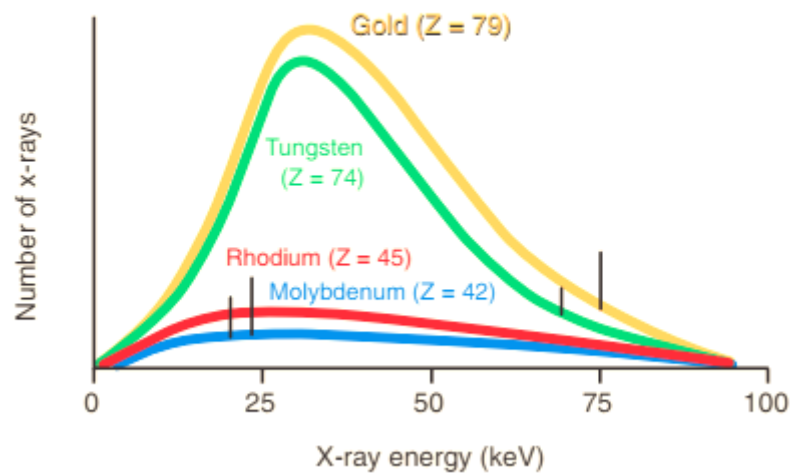
Gambar 2.5 menjelaskan hubungan penambahan filter dengan kualitas keluarnya sinar-x. Semakin meningkat ketebalan filtrasi yang digunakanakan meningkatkan kualitas rata-rata energi sinar-x dan mengurangi intensitas radiasi dari sinar-x.



Gambar 2. 5 Grafik hubungan intensitas sinar-x dan penambahan filter tabung(Bushong, 2001)

2.2.4. Faktor MaterialTarget

Target adalah tempat terjadinya tumbukan elektron yang dipercepat dengan inti atom atau elektron orbital. Nomer atom bahan anoda sangat berpengaruh energi efektif sinar-x. Nomer atom target berkaitan dengan energi radiasi *bremstrahlung* yang dihasilkan, semakin besar nomer atom anoda menghasilkan energi yang lebih besar.



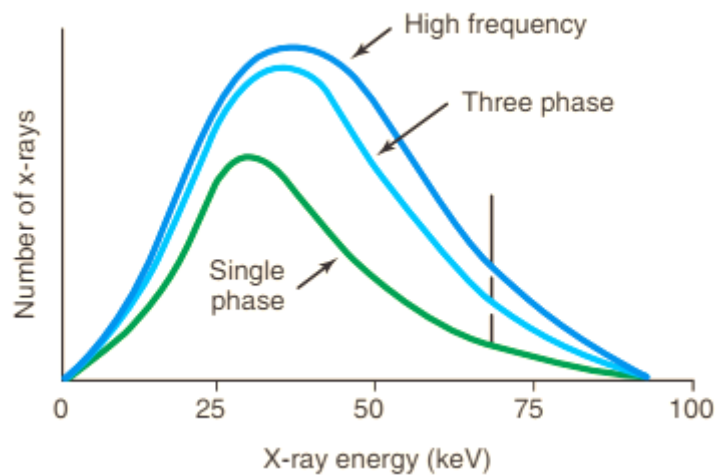
Gambar 2. 6 Garafik hubungan intensitas sinar-x dengan material target(Bushong, 2001)

2.2.5. Faktor Bentuk Gelombang Listrik Generator

Ada beberapa macam bentuk gelombang genarator pada pesawat Sinar-x:

- 1 Penyearah setengah gelombang
- 2 Penyearah gelombang penuh
- 3 Tiga phase 6 pulsa
- 4 Tiga phase 12 pulsa
- 5 Frekuensi tinggi.

Bentuk gelombang generator akan mempengaruhi kualitas sinar-x yang dihasilkan, pada pemilihan tegangan tabung yang sama pada pesawat sinar-x berbeda fase akan menghasilkan kualitas yang berbeda(Bushong, 2001).



Gambar 2. 7 Grafik hubungan antara intensitas radiasi dengan bentuk gelombang listrik generator(Bushong, 2001)

2.3. Proses Terbentuknya Gambar Rontgen

Beberapa sifat sinar-x adalah tidak dapat dilihat oleh mata, mampu menembus obyek yang dilalui dan menghitamkan lembaran emulsi film. sifat-sifat sinar-x ini dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi bagian dalam suatu obyek. Ilmu kedokteran menggunakan untuk mendiagnosa suatu penyakit pada manusia. Struktur anatomi organ manusia akan di gambarkan pada lembaran film, gambar pada lembaran film ini biasa disebut Radiograf(Bontrager & Lampignano, 2007). Terbentuknya radiograf disebabkan adanya perbedaan nomer atom dari organ sehingga memiliki absorpsi jumlah radiasi sinar-x yang berbeda. Jumlah sinar-x yang terserap obyek tergantung energi sinar-x, nomer atom obyek dan ketebalan obyek.

Jumlah radiasi yang diteruskan setelah melewati organ ini akan ditangkap oleh suatu emulsi lembaran film. Bagian yang menerima intensitas yang lebih tinggi akan berwarna hitam sedang bagian yang terkena sinar-x dengan intensitas yang lebih rendah akan menghasilkan warna lebih putih (White, Westmorland, Roe, & Wolstenhulme, 2013). Perbedaan kehitaman ini dalam area film pada tehnik pembuatan foto rontgen dinamakan densitas, sedangkan perbedaan densitas pada daerah yang berdekatan dinamakan kontras. Adanya kontras berakibat film rontgen bayangan obyek yang di rontgen akan tampak.

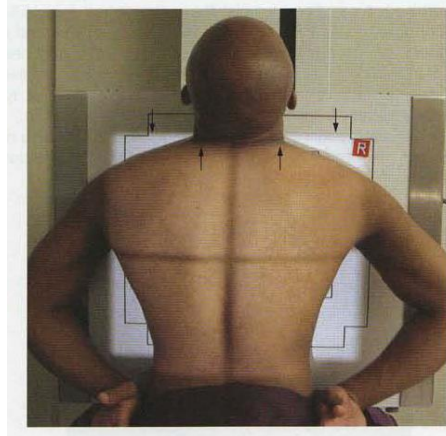
2.4. Tehnik Pemeriksaan Radiologi Thorax

Salah satu pemanfaatan sinar-x dibidang kesehatan adalah dalam penyinaran dada atau sering disebut foto rontgen thorax. Tehnik pemeriksaan radiologi thorax digunakan untuk mengevaluasi struktur anatomi organ-organ mulai dari leher sampai diafragma, struktur anatomi yang ditampakkan pada pemeriksaan ini adalah sistem pernafasan bagian bawah, sistem pembuluh darah jantung, diafragma dan sistem tulang-tulang pada dada.

Selain digunakan untuk melihat kelainan dalam rongga dada ketika seseorang dalam keadaan sakit, pemeriksaan radiologi thorax juga sering digunakan untuk cek kesehatan pada pasien sehat. Pemeriksaan radiologi thorax salah satu pemeriksaan yang paling banyak dilakukan dibandingkan dengan pemeriksaan organ abdomen (Sun et al., 2012).

Untuk hasil yang paling bagus pada tehnik radiografi ini dilakukan pada posisi pasien berdiri dan membelakangi datangnya sinar-x. Agar berfungsi mengurangi pembesaran bayangan jantung diatur jarak antara fokus dengan film

sepanjang 150 cm sampai 180 cm(Whitley, Sloane, Hoadley, & D.Moore, 2005). Besarnya ukuran kaset yang digunakan disesuaikan dengan besarnya obyek yang difoto. Luas lapangan keluaran sinar-x seperti ditunjukkan dalam gambar 2.8 diatur sehingga batas atas pada leher, batas bawah diafragma batas samping kedua bahu terpapar oleh radiasi sinar-x. Seorang tehnik radiologi akan mengatur tegangan dan arus waktu tabung sesuai dengan ukuran ketebalan obyek(Ballinger, 2003).

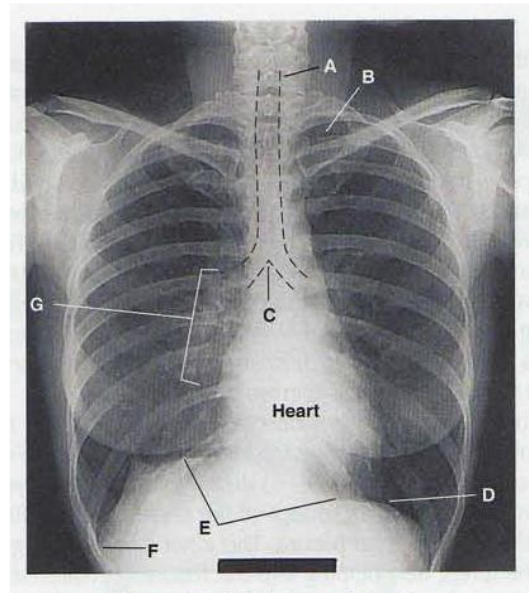


Gambar 2. 8 Posisi pasien dan luas lapangan penyinaran pada rontgen thorax(Bontrager & Lampignano, 2007)

Hasil gambar yang optimal diindikasikan sebagai berikut:

1. Pada pasien yang tarik nafas dalam tampak depan iga 1-7 dan iga belakang 1-10.
2. Pengaturan posisi obyek yang tepat akan tampak kedua sendi sternoclavikular berjarak sama terhadap prosesus spinosus vertebra thoracal 4.
3. Trachea tervisualisasi di tengah vertebra thoracal.
4. Tampak jelas bayangan jantung dan aorta.
5. Tampak jelas bayangan pembuluh darah paru.

6. Tampak jelas bayangan diaphragma.
7. Tampak jelas bayangan tulang-tulang dada.



Gambar 2. 9 Kreteria hasil gambar rontgen thorax(Bontrager & Lampignano, 2007)

Keterangan Gambar:

- A. Trachea
- B. Apek Paru
- C. Carina
- D. Basal paru
- E. Diaphragma
- F. Sinus Kostoprenikus

2.5. Interaksi Radiasi Sinar-x Dengan Organ tubuh manusia

Gangguan kesehatan dalam bentuk apapun yang diakibatkan oleh paparan radiasi berawal dari pertukaran energi radiasi dengan sel tubuh. Apabila radiasi sinar-x diserap oleh material biologi, maka dapat terjadi ionisasi pada tingkat sel. Energi foton akan melepaskan elektron pada ikatan kimia sehingga dapat terjadi efek biologi langsung ataupun tidak langsung (Hall, 2012). Jika hal ini terjadi maka perubahan struktur gen akan mengakibatkan perubahan karakteristik sel dalam fungsi kesatuannya sebagai suatu jaringan.

Reaksi langsung adalah interaksi yang terjadi antara radiasi pengion dengan sel, dalam hal ini adalah DNA yang berada di dalam inti. Atom-atom sebagai penyusun DNA mengalami ionisasi sehingga terjadi terganggunya proliferasi sel karena fungsinya rusak.

Reaksi tidak langsung adalah reaksi terpenting dalam proses interaksi radiasi pengion dengan sel. Molekul air dan molekul oksigen yang terdapat di intraseluler dan ekstraseluler akan terkena radiasi pengion, Akibat dari peristiwa ini elektron akan terlepas dari orbitnya sehingga menghasilkan ion-ion yang tidak stabil sehingga terbentuklah radikal bebas yang berpotensi merusak DNA. Faktor-faktor biologi yang mempengaruhi respon sel terhadap radiasi adalah :

1. Fase-fase proliferasi

Proliferasi adalah fase sel saat mengalami pengulangan siklus sel. Dalam populasi sel terdapat kelompok sel yang sedang aktif melakukan proliferasi. Terdapat beberapa fraksi proliferasi yang berbeda-beda yakni sel dalam fase

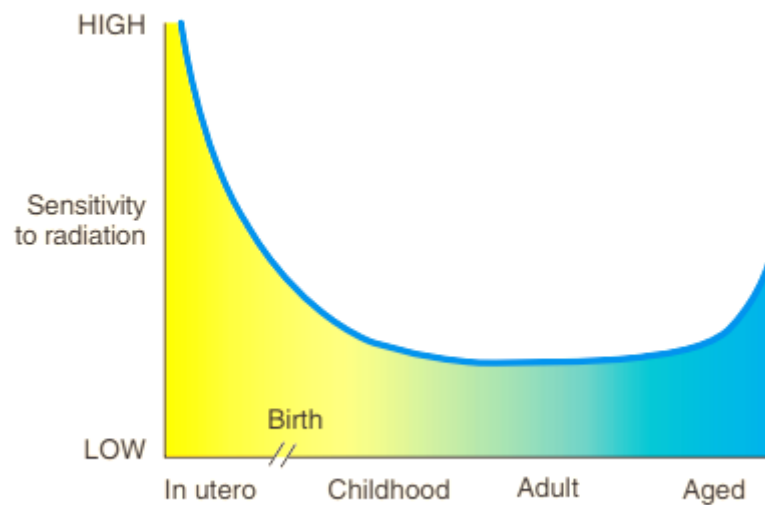
sintesa (S), G2, M (Mitosis) dan G1. Sel yang sensitive terhadap radiasi adalah sel yang sedang proloferasi pada fase G2 dan M.

2. Oksigenasi

Oksigen merupakan modifikasi kimia sensitifitas radiasi. Sel yang oksigennya rendah memiliki kepekaan 3 kali lebih rendah dari pada sel yang teroksigenasi dengan baik. Teori saat ini mengatakan bahwa mekanisme sensitisasi tersebut terjadi akibat terikatnya oksigen oleh electron yang tidak berpasangan dilapisan luar radikal bebas sehingga terbentuk peroksida yang lebih stabil dan lebih toksik disbanding radikal bebas. Karena usia radikal bebas hanya mikrodetik, maka untk meningkatkan efek radikal bebas ini diperlukan keberadaan oksigen pada saat pembentuknya.

3. Usia

Usia struktur biologis mempengaruhi radiosensitivitas terhadap radiasi. Karakteristik respon radiosensitivitas terkait usia dapat dilihat pada gambar. Dalam grafik dapat dilihat usia paling sensitive terhadap radiasi pada saat sebelum lahir. Setelah lahir, sensitivitas menurun hingga jatuh tempo, diwaktu mana manusia paling tahan terhadap radiasiefek. Di usia tua, manusia kembali menjadi agak lebih radiosensitif.



Gambar 2.9 Hubungan radiosensitivitas radiasi terhadap usia(Bushong, 2001)

4. Bahan Kimia

Beberapa bahan kimia dapat mengubah respons sel, jaringan, dan organ terhadap radiasi. Agar bahan kimia efektif harus ada pada saat di radiasi. Pemberian agen kimia setelah radiasi tidak mengubah tingkat respons sel terhadap radiasi. Bahan yang meningkatkan efek radiasi disebut agen sensitisasi. Contohnya termasuk pirimidin, metotreksat, aktinomisin D, hidroksiurea, dan vitamin K. Pirimidin tergabung ke dalam DNA dan memperkuat efek radiasi pada molekul itu. Bahan radiosensitizer memiliki efektivitas sekitar 90% .

2.6. Diagnostic Reference Level (DRL)

Setelah melakukan penelitian DRL secara nasional di tahun 1980 pada akhirnya negara Inggris menetapkan panduan dosis diagnostik secara nasional pada tahun 1989(Vassileva & Rehani, 2015). Hasil dari penelitian ini menunjukkan

adanya perbedaan yang besar diantara rumah sakit di Inggris untuk prosedur pemeriksaan radiologi yang sama.

Tingkat panduan dosis bukan maksudkan sebagai margin dosis yang dibolehkan dalam suatu pemeriksaan radiologi. Tujuan dari pembatasan dosis secara umum adalah supaya nilai dosis yang diberikan pada pasien tidak boleh dilampaui tanpa alasan yang jelas (IAEA, 2007). DRL dapat perkenankan melebihi jika karena dalam keadaan tanda dan gejala tertentu untuk mendapatkan diagnosa dokter yang tepat.

Optimasi adalah salah satu asas proteksi radiasi dalam pemanfaatan sinar-x. Azas optimasi mengandung makna bahwa pemberian dosis radiasi yang sedikit kepada pasien tetapi dapat memberikan kualitas gambar yang dapat diterima untuk keperluan diagnosa. Dosis radiasi yang diberikan kepada pasien harus optimal, karena pemberian dosis radiasi tidak selalu bermanfaat untuk memperbaiki kualitas gambar (Silva & Yoshimura, 2014). Konsep DRL ditujukan untuk menerapkan azas optimasi pada pemeriksaan radiologi dengan memperhitungkan keadaan masing-masing daerah, sehingga tingkat panduan dosis bersifat mandatori.

Apabila ditemukan paparan dosis radiasi pada suatu pemeriksaan radiologi di rumah sakit sering terjadi diatas dari tingkat panduan dosis yang ditetapkan maka direktur rumah sakit harus mengadakan penyelidikan terhadap tata cara pemeriksaan untuk melakukan tindakan revisi tanpa mengurangi kualitas gambar.

Tingkat panduan paparan dosis radiasi dimaksudkan sebagai parameter yang dapat berubah-ubah sehingga pasien mendapatkan dosis radiasi sebagaimana mestinya (Ladia et al., 2016). *International Atomic Energy Agency (IAEA)*

sebagai badan tenaga atom internasional telah rekomendasi mengenai penggunaan DRL pada *safety standard*-nya, DRL tersebut dalam *safety standard* dikenal sebagai *guidance levels*. DRL diperkenalkan dengan tujuan sebagai panduan tingkat dosis pada keadaan tertentu.

Pemberian paparan dosis radiasi ketika melakukan pemeriksaan foto rontgen yang sesuai atau lebih rendah dari DRL dapat diterjemahkan sebagai suatu pelayanan radiologi yang baik. Pernyataan ini sebagai dasar keputusan ini bahwa fasilitas yang memberikan panduan paparan dosis dengan persentil 25 mengartikan bahwa pelayanan fasilitas radiologi terhadap dosis pasien perlu untuk direvisi(Vassileva & Rehani, 2015). Sedangkan pelayanan dengan percentil ke-75 sangat perlu dikurangi lagi tanpa mengorbankan kualitas gambar

2.7. Metoda Pengukuran DRL

Dua cara pengukuran yang digunakan untuk penentuan DRL pada prosedur pembuatan foto rontgen adalah dosimetri berbasis pasien dan fantom(Rasuli et al., 2016). Pemanfaatan fantom memiliki kelebihan bahwa diperlukan beberapa kali penyinaran untuk setiap obyek, sedangkan kerugian dari teknik ini adalah fantom tidak dapat menggambarkan obyek yang sebenarnya. Sedangkan pengukuran dengan menggunakan obyek pasien secara langsung harus dikelompokkan berdasarkan beberapa katagori seperti berat badan, tinggi badan, ketebalan obyek atau indeks massa tubuh(Bapeten, 2016).

Terdapat empat langkah untuk membuat tingkat panduan dosis(Vassileva & Rehani, 2015). Pertama memilih teknik radiologi yang tepat dengan standart yang telah disetujui oleh pengetahuan. Kedua pengambilan hasil ukur paparan dosis

radiasi menggunakan teknis yang sudah ditetapkan. Nilai rerata dosis pada setiap sampel dimanfaatkan sebagai standart besaran dosis pemeriksaan radiologi. Langkah ketiga yaitu mengevaluasi dengan metode statistik hasil paparan dosis pada setiap teknik pemeriksaan radiologi pada setiap mesin sinar-x yang berbeda. Langkah keempat sebagai langkah terakhir penentuan DRL ditetapkan pada 75 persentil dari distribusi dosis yang diterima

2.8. Entrance Surface Dose (ESD)

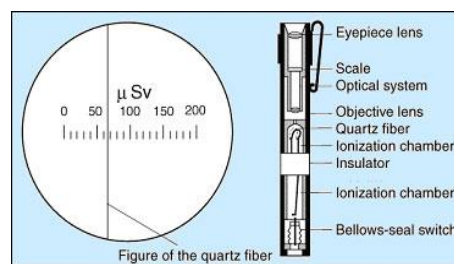
Ada beberapa metoda dosimetri untuk mengukur DRL. Salah satu metode dosimetri untuk pengukuran DLR yang di rekomendasikan IAEA pada *Technical Report Series 754* dengan metode pengukuran ESD. Ini adalah besarnya paparan dosis radiasi yang diserap permukaan kulit (Kisielewicz, Truszkiewicz, Wach, & Radwanska, 2011). IAEA merekomendasikan TLD sebagai alat ukur untuk mendapatkan nilai ESD pada penentuan DRL. TLD diletakan pada titik tengah lapangan penyinaran sinar-x pada tubuh pasien.

2.9. Pendosimeter (PD)

Alat ukur untuk mengukur dosis yang diterima oleh manusia adalah pendosimeter. Alat ukur ini mengukur radiasi secara aktif sehingga dapat langsung dilihat secara visual besaran radiasi yang diterimanya. Pendosimeter terbangun dari bilik ionisasi yang dilengkapi suatu perlengkapan yang menggunakan prinsip kerja elektroskop, dimana satu bagian lengan tetap dan satu bagian lagi dapat bergerak bebas pada skala yang sudah diatur pada alat tersebut (Inyang, Essien, & Antia, 2015).

Apabila pendosimeter ini diberikan muatan positif maka kedua lengan elektroskop akan saling tolak-menolak sampai lengan tersebut mencapai pada titik nol. Alat ini menggunakan prinsip ionisasi pada Gas yang terkena radiasi. Pada saat terjadi ionisasi menghasilkan muatan positif dan negatif.

Ion-ion bermuatan positif akan tertarik oleh dinding dosimeter dan ion negatif akan tertarik pada kutub dari elektroskop sehingga menetralkan atau menurunkan jumlah muatan. Keadaan ini mengakibatkan terjadinya gaya tolak lengan melemah, daya tolak yang melemah menjadikan jarum bergeser. Pergeseran ini pada skala dosimeter ke arah angka maksimum besarnya pergeseran ini ditampilkan pada jendela intip. Besarnya pergeseran jarum sebanding dengan jumlah radiasi yang diterima untuk proses ionisasi.

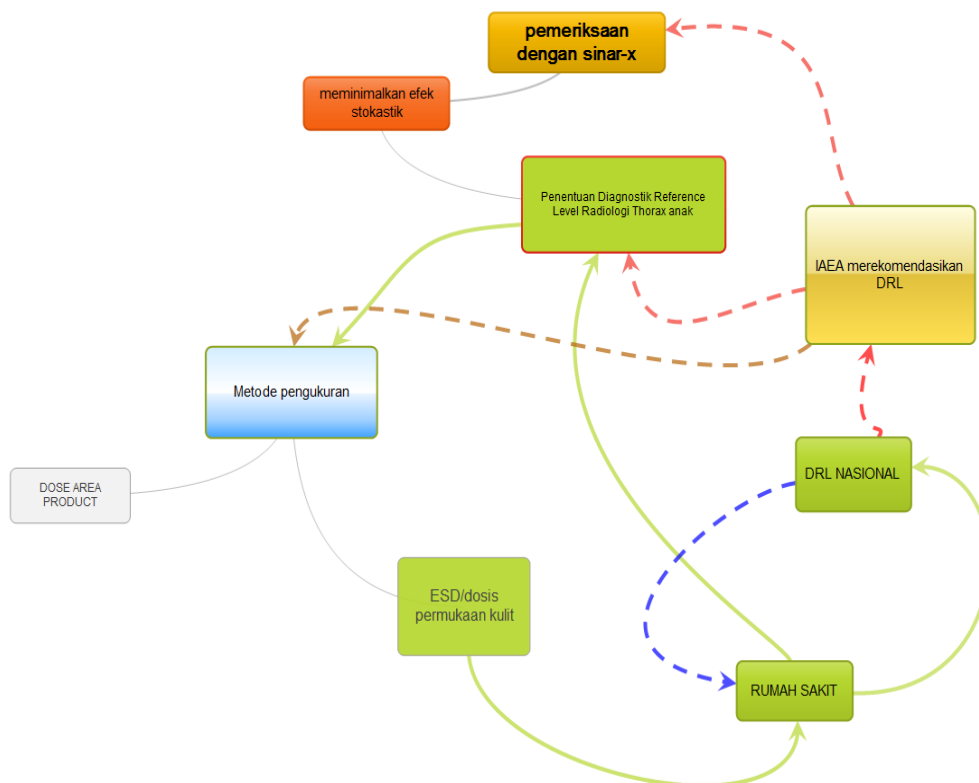


Gambar 2. 10 Struktur pendosimeter(Jenkins, 2009)

BAB III

KERANGKA KONSEP

3.1. Kerangka Pemikiran



Tingkat panduan dosis radiasi pada pemeriksaan radiologi merupakan panduan besarnya paparan dosis radiasi yang diterima pasien ketika menjalani pemeriksaan Radiologi. Panduan ini digunakan agar setiap pemeriksaan radiologi menggunakan sinar-x harus menggunakan dosis radiasi yang minimal dengan hasil citra yang optimal. Besarnya paparan dosis radiasi yang diterima oleh pasien telah direkomendasikan oleh IAEA, rekomendasi merupakan nilai DRL dari

beberapa negara anggota. Di Indonesia nilai DRL ditetapkan oleh BAPETEN dengan merujuk langsung dari DRL IAEA yang merupakan hasil dari DRL negara lain yang merupakan anggota. Penelitian tentang DRL untuk pemeriksaan Radiologi rutin pernah dilakukan oleh Eri H dan Dwi K (BATAN) dengan jumlah sampel untuk pemeriksaan radiologi thorax pediatri hanya 2 sampel dari 3 kota di Indonesia. Data ini sangat kurang sekali untuk menetapkan nilai DRL untuk pemeriksaan rutin thorax pediatri.

Metode yang digunakan dalam penghitungan paparan dosis ini dapat langsung ataupun tidak langsung. Metode langsung dilakukan mengukur paparan dosis yang diterima permukaan kulit pasien ESD dengan menempatkan detektor radiasi dapat berupa TLD atau detektor lain pada sumbu pusat keluaran sinar-x.

BAB IV

METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Waktu dan Tempat Penelitian

4.1.1 Waktu Penelitian

Pengambilan data pada penelitian ini telah dilakukan pada bulan Maret - Mei 2017.

4.1.2 Tempat Penelitian

Penelitian telah dilakukan di Instalasi Radiologi RSUD dr Saiful Anwar Jl. Jaksa Agung Suprpto No: 2 Kota Malang

4.2 Peralatan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan tiga mesin sinar-x yang biasa digunakan untuk pemeriksaan radiologi rutin thorax milik RSUD dr. Saiful Anwar Malang. Semua peralatan pesawat sinar-x yang digunakan telah dilakukan uji kesesuaian oleh Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Kementerian Kesehatan Republik Indonesia di Surabaya.

Sedangkan peralatan untuk pengukuran dosis radiasi sinar-x pada pasien dengan metode ESD pada pemeriksaan radiologithoraxpediatridengan menggunakan 5 pendosimeter berupa bilik ionisasi dengan rentang sensitifitas dari skala 0 – 200 mrad buatan Arrow tech, United Stated America dengan faktor kalibrasi antara 1.00-1.05 dan masa berlaku kalibrasi sampai oktober 2018. Semua peralatan pendosimeter telah dikalibrasi oleh pusat teknologi keselamatan dan metrologi Badan Tenaga Nuklir Nasional.

Tabel 4. 1 Spesifikasi peralatan sinar-x yang digunakan penelitian

Spesifikasi	Mesin 1	Mesin 2	Mesin 3
Merk	GE	THOSIBA	THOSIBA
Model	XR 6000	DR-3724H	DRX -3724 HD
Type Generator	HF	HF	HF
No Seri Tabung	9 J 0475	2J357	09K141
kV max	150 kV	150kV	150kV
mA max	630 mA	500 mA	620 mA
Tahun pembuatan	2009	2012	2010

4.3. Sampel dan cara Pemilihan Sampel

Teknik pengambilan sampel adalah konsekutif, yaitu dengan cara seluruh pasien pediatri yang datang ke Instalasi Radiologi RSUD dr. Saiful Anwar Malang dengan permintaan foto thorax dalam kurun waktu maret – mei 2017 yang memenuhi kriteria inklusi akan dimasukkan dalam penelitian ini.

4.4. Kriteria Inklusi dan eksklusi

Kriteria Inklusi:

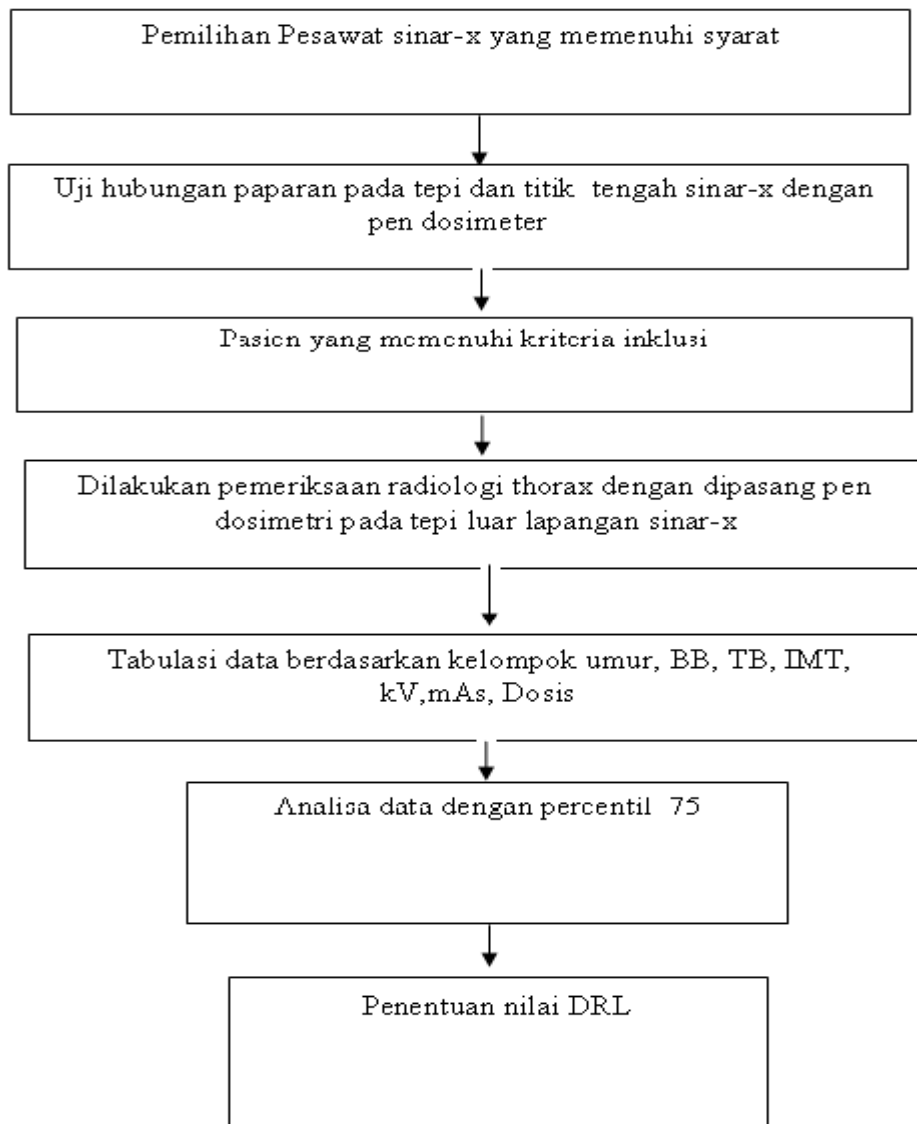
1. Laki-laki dan Perempuan
2. Usia antara 0 tahun sampai 18 Tahun(UU NO 35, 2014)

Kriteria Eksklusi

Pasien-pasien pemeriksaan Radiologi thorax pediatri yang pada saat pembuatan foto jarak fokus film kurang dari 150 cm

4.5. Alur Penelitian

Untuk mengukur paparan dosis radiasi yang diterima pasien pada pemeriksaan radiologi thorax pediatri pada penelitian ini menggunakan metode *entrance surface dose*. Metode ini mengukur paparan dosis yang mengenai permukaan pada kulit. Paparan dosis radiasi diukur pada titik tengah lapangan sinar-x. Prosedur yang dilakukan dengan meletakkan 1 pendosimeter di titik tengah dan 4 pendosimeter lainnya diletakan pada keempat sudut dari luas lapangan keluaranya sinar-x. Data paparan radiasi yang diperoleh di cari hubungan paparan dosis pada titik tengah sinar dengan rata-rata paparan ke 4 sudut lapangan keluaran sinar-x. Alur penelitian dijabarkan dengan diagram alur seperti tertera pada gambar 5.1 dibawah ini



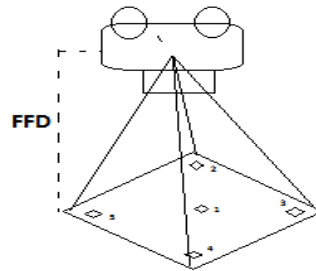
Gambar 4.1. Diagram Alur penelitian

4.6. Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan setelah mendapat persetujuan dari Kepala instalasi Radiologi RSUD dr. Saiful Anwar Malang

2. Pemilihan sampel pasien dengan pemeriksaan radiologi thorax sesuai dengan kriteria inklusi
3. Dilakukan inform consent pada setiap sampel, seluruh pasien atau keluarga pasien diberikan penjelasan tentang tehnik pemeriksaan dan tujuan penelitian selanjutnya diminta tanda tangan pada lembar persetujuan.
4. Sebelum dilakukan pengambilan data kepada pasien, dilakukan terlebih dahulu pengambilan data interpolasi area penyinaran. Tujuan dari uji ini adalah untuk mengetahui faktor koreksi paparan dosis pendosimeter pada area sisi-sisi terluar lapangan penyinaran dengan paparan dosis pada pusat sinar-x. Pada pelaksanaan uji ini ditempatkan 5 pendosimeter yang telah terkalibrasi oleh Batan. Setiap pendosimeter diberi nomor urut mulai dari 1 sampai 5. Pendosimeter nomer urut 1 diletakan pada titik tengah penyinaran sinar-x. Pendosimeter nomer urut 2 diletakan pada sisi kiri atas area penyinaran, pendosimeter nomer urut 3 diletakkan pada sisi kanan atas area penyinaran, pendosimeternomer urut 4 pada sisi kanan bawah area penyinaran dan pendosimeter nomer urut 5 diletakkan pada sisi kiri bawah. Dalam uji ini variabel-variabel yang ditentukan adalah luas Lapangan penyinaran $40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$, $25\text{ cm} \times 25\text{ cm}$ dan jarak fokus ke penangkap gambar 150 cm dengan faktor penyinaran pada 60 kV dengan 10 milliampere waktu. Variabel-variabel ini dipilih berdasarkan penggunaan faktor penyinaran yang sering digunakan untuk pemeriksaan thorax.



Gambar 4. 2 Skema penempatan pendosimeter pada uji korelasi dosis paparan rata-rata tepi dengan titik tengah lapangan sinar-x.

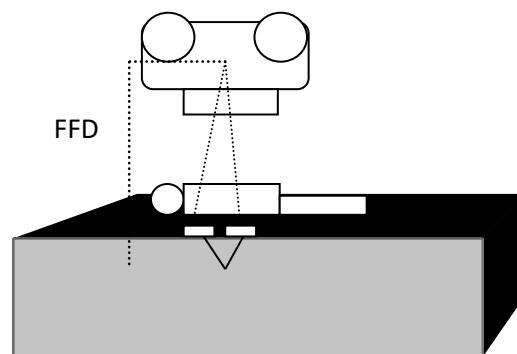
Hasil dari pengukuran paparan dosis pada masing-masing pendosimeter dimasukkan dalam tabel 4.2 sebagaimana berikut ini.

Tabel 4. 2 data interpolasi dosis menggunakan pendosimeter

No Uji	Ketebalan obyek	FFD	KV	mAs	Dosis					
					Pd 2	Pd 3	Pd 4	Pd5	Mean Pd	Pd 1

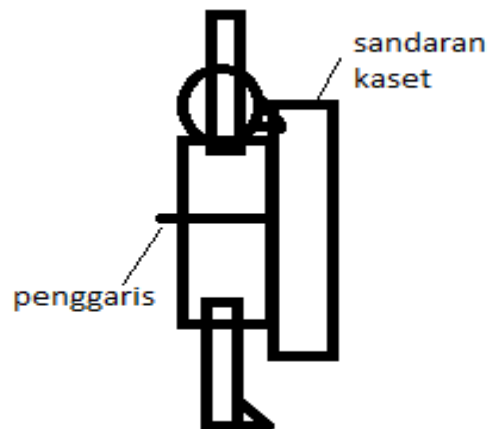
- Pengambilan data untuk DRL dilakukan pada pemeriksaan radiologi thorax pada pasien pediatri. Pesawat sinar-x yang digunakan telah terkalibrasi oleh BPFK Surabaya dan memiliki ijin operasional dari BAPETEN. Pasien yang digunakan sebagai sampel berumur 0 – 18 tahun. Sebelum dilakukan pemeriksaan dilakukan pengukuran berat badan, tinggi badan dan ketebalan pasien. Ketebalan dada diukur dengan menggunakan jangka sorong. Indeks masa tubuh didapatkan dari perhitungan. Pasien diposisikan sesuai dengan

prosedur pemeriksaan Radiologi Thorax pediatri. Pada proyeksi pemeriksaan Anteroposterior (AP) posisi pasien tiduran terlentang diatas meja pemeriksaan dengan kedua tangan disamping badan (lihat gambar 4.2). Jarak focus ke film 150 cm, luas lapangan sinar-x, kV dan mAs ditentukan radiografer yang melakukan pemeriksaan.



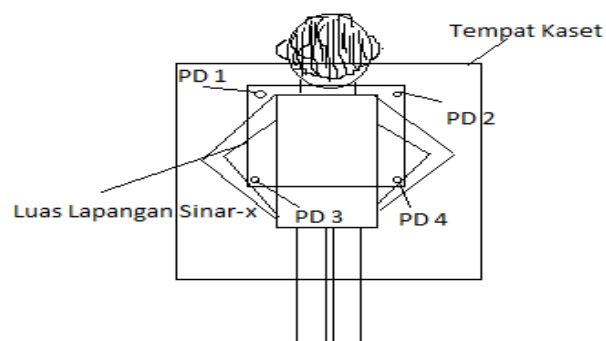
Gambar 4. 3 Posisi pasien proyeksi anterior posterior

Sedangkan posisi pada proyeksi PA posisi pasien berdiri membelakangi datangnya sinar-x dengan jarak fokus ke film 150 cm, luas lapangan sinar, kV dan mAs ditentukan oleh radiografer yang melakukan pemeriksaan. Hasil gambar dari pemeriksaan dievaluasi oleh radiografer yang membuat dan dokter ahli radiologi yang memberikan expertise. Mutu gambar yang dijadikan data adalah hasil gambar yang tidak memerlukan pengulangan foto dalam pembuatannya. Mutu gambar-gambar tersebut dapat menegakan diagnosa suatu penyakit yang sedang dialami pasien.

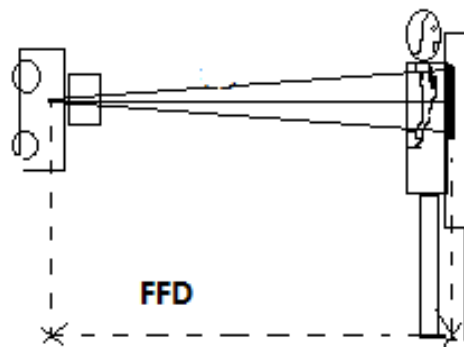


Gambar 4. 4 Pengukuran ketebalan dada pasien

Data paparan radiasi pada pasien dilakukan dengan menempatkan 4 pendosimetri yang sudah diberi nomer pada lapangan sinar-x. Pendosimetri diletakkan pada ke 4 sudut lapangan penyinaran meliputi sudut kanan atas, kiri atas, kanan bawah dan kiri bawah pada daerah lapangan sinar-x yang tidak tertutup oleh obyek (pasien). Sebelum di letakan pada masing-masing sudut posisi jarum pada pendosimetri diposisikan pada skala 0 dengan menggunakan capacitor discharge.



Gambar 4. 5 penempatan pendosimeter saat pengambilan data



Gambar 4. 6 Ilustrasi Posisi pasien berdiri pada saat pengambilan data

Tabel 4. 3 data Pengukuran ESD pada sampel

No	Umur	L/P	BB	TB	IMT	T	PD 1	PD 2	PD 3	PD 4	Rata2 Dosis (P)	Dosis Px FK

4.7. Analisa Data

Data-data hasil pengukuran dosis pada tiap-tiap pasien dikelompokkan dalam tabel berdasarkan jenis kelamin, umur, berat badan, tebal dada, indeks masa tubuh, nilai tegangan tabung, nilai arus waktu tabung dan jenis mesin sinar-x yang digunakan. Kumpulan dari data dianalisa dengan menggunakan MS excel untuk mendiskripsikan hubungan variabel mulai dari jenis kelamin, umur, berat badan, tebal dada dan indeks masa tubuh terhadap nilai ESD dan untuk mengetahui mean, nilai minimal maksimal data, dan persentil ke-75 untuk penentuan DRL dari

masing-masing kelompok variabel dan keseluruhan data. Hasil dari pengukuran DRL kemudian dibandingkan dengan nilai DLR internasional yang ada.

BAB V

HASIL PENELITIAN

5.1. Validasi Pendosimeter

Alat ukur yang digunakan untuk mengukur besar nilai DRL dengan metode ESD dengan menggunakan 5 pendosimeter yang telah dikalibrasi oleh BATAN.

Tabel 5. 1 Daftar pendosimeter yang digunakan alat ukur paparan dosis radiasi

No Pendosimeter	No Seri Pendosimeter	Faktor Kalibrasi
1	PHY 282155 Sn 1147015	1,15
2	PHY 282154 Sn 114717	1,16
3	PHY Seq Sn 252911	1,11
4	PHY Seq Sn 92741	1,12
5	PHY 282156 Sn 114720	1,16

Semua pendosimeter dalam keadaan baik dan layak untuk dipakai. Bagian yang terpenting dalam penggunaan alat-alat ini adalah setiap hasil bacaan pada setiap pengukuran pendosimeter dikalikan dengan faktor kalibrasi masing-masing alat.

5. 2. Validasi Uji Kesesuaian Pesawat Sinar-x

Peralatan sinar-x yang akan digunakan dalam pengambilan data sebanyak tiga unit dengan merk yang berbeda-beda. Alat-alat sinar-x yang digunakan merupakan alat yang biasa digunakan untuk pemeriksaan radiologi thorax

pediatri. Untuk menjamin akurasi data yang diambil alat dipilih dengan melihat sertifikat kelayakan uji kesesuaian yang dilakukan oleh badan yang berwenang.

Pada penelitian ini alat-alat sinar-x ini telah dilakukan uji kesesuaian oleh Balai Pengamanan Fasilitas Kesehatan (BPFK) Surabaya pada bulan Januari tahun 2017 yang meliputi akurasi tegangan tabung (kVp), kesetabilan keluaran radiasi (*radiation output reproducibility*), lapisan nilai paruh dari filter (*Half Value Layer=HVL*) dan akurasi waktu penyiaran sesuai standar yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir Indonesia maupun Keputusan Menteri Kesehatan.

Tabel 5. 2 Hasil Uji kesesuai mesin sinar-x

No	Pabrikan	No seri Tabung x-ray	Rata-rata Kesalahan Relatif (e) KV	Rata-rata	Koefisien Liner (CL) Lienieritas Keluaran Radiasi	Koefisien Variansi (CV) Reproduksi	Nilai HVL (mmAl)
				Kesalahan Relatif (e) Waktu ekspose dalam %			
1	Toshiba	9J455	± 0,635%	± 0,134	0,02	0,03	2,77
2	GE	9J0475	± 0,828%	± 0,188	0,00	0,00	2,77
3	Toshiba	2J357	± 0,617%	± 9,066	0,04	0,06	2,57

Dari hasil pengujian akurasi tegangan tabung (kVp) dari tiga mesin sinar-x yang digunakan untuk pengambilan data telah memenuhi syarat standar sesuai dengan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor

1250/MENKES/SK/XII/2009 tentang Pedoman Kendali Mutu (*Quality control*) Peralatan Radiodiagnostik dengan standar penyimpangan pengaturan tegangan tabung <6% ketiga mesin yang digunakan dalam kondisi baik. Dari hasil pengujian pengaturan waktu lamanya keluaran sinar-x menunjukkan penyimpangan waktu dari ke 3 mesin <10%, *radiation output reproducibility* merupakan uji konsistensi keluaran sinar-x dari waktu ke waktu dari ketiga pesawat sinar-x menunjukkan nilai penyimpangan dari mesin nomer 1,2 dan 3 berturut-turut adalah 2%, 0% dan 4% yang masih memenuhi standar yaitu Nilai Koefisien Variasi $\leq 5\%$, sedangkan penilaian terhadap lapisan nilai paruh (*Half Value Layer =HVL*) pada ketiga mesin sinar-x memiliki nilai pada pengaturan tegangan tabung 70 kVp dengan nilai 2,77 mm Al pada mesin nomer 1 dan 2 sedangkan pada mesin nomer 3 memiliki nilai 2,57 mm Al sedangkan standar yang ada ≥ 2.3 mm Al. Dari uraian diatas ketiga mesin layak untuk digunakan mengambil data penelitian ini (BAPETEN, 2011)

5.2.1. Uji Paparan Dosis Titik tengah Sinar-x

Pengambilan data paparan dosis radiasi pada titik tengah lapangan sinar-x dalam penelitian ini menggunakan luas lapangan penyinaran dan ketebalan obyek berbeda-beda. Untuk mendapatkan nilai ukur paparan dosis radiasi yang sebenarnya pada titik tengah sinar-x maka peneliti melakukan uji sebagai berikut:

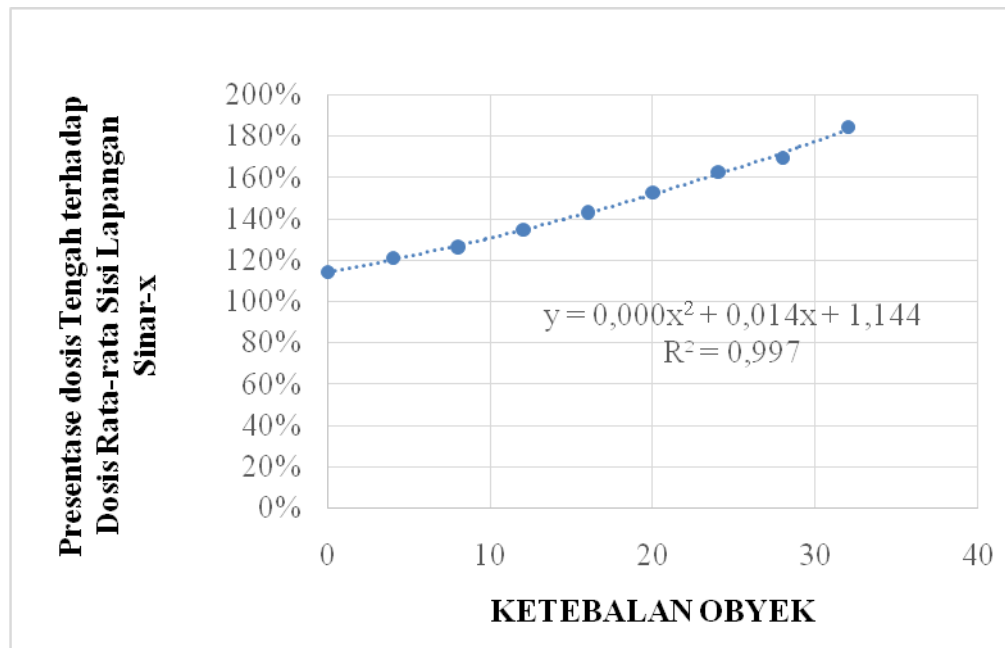
5.2.2 Uji Hubungan Paparan Dosis Titik Tengah Terhadap Paparan Dosis Ketebelan Obyek Yang berbeda.

Untuk mendapatkan nilai paparan pada sumbu pusat dilakukan uji pengukuran nilai dosis paparan tanpa pasien dan dosis paparan radiasi pada sumbu pusat dengan menggunakan phantom dengan ketebalan yang bervariasi mulai dari 4 cm sampai 32 cm dengan menggunakan jarak antara fokus ke film 100 cm dengan luas lapangan sinar- x $40\text{cm} \times 40\text{ cm}$. Adapun data yang didapat dari uji ini adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 3 Data paparan dosis radiasi titik bidik obyek terhadap paparan dosis pada sudut-sudut luas lapangan sinar-x dengan ketebalan yang berbeda

No	Tebal Obyek (cm)	Rata-Rata Paparan Dosis Pada Luas Lapangan Sinar-x (Y) dalam mRad	Paparan Dosis Pada Sumbu sinar-x (X) dalam mRad	Konversi Hubungan X terhadap Y (%)
1	0	105,04	120,04	114,280274
2	4	105,04	127,18	121,077685
3	8	104,93	132,63	126,398551
4	12	104,94	141,45	134,791309
5	16	104,76	150,27	143,442153
6	20	105,04	160,23	152,541889
7	24	105,03	170,58	162,41074
8	28	105,04	177,64	169,116527
9	32	105,3	193,26	183,532764

Untuk menilai reabilitas dari data-data yang tertuang dalam tabel plot grafik scatter seperti tertuang dalam gambar 5.1 sehingga diketahui persamaan liner dari data.



Gambar 5. 1 Grafik hubungan ketebalan obyek dengan paparan dosis pasien Paparan Dosis Luas Lapangan Sinar-x Pada Ketebalan Yang Berbeda

Seperti yang terlihat pada Gambar 5.1 menunjukkan bahwa nilai R^2 (*reliability*) pada persamaan garis mendekati nilai satu (0,99), perihal tersebut mengidentifikasi bahwa ada hubungan yang erat antara ketebalan dada dengan paparan dosis pada titik pusat sinar-x dan berlaku persamaan $Y = 2,128X + 112,2$ dalam persen. Makna Persamaan adalah pada ketebalan obyek (X) tertentu saat pengambilan data. Nilai rata-rata dosis tepi yang terbaca pada pendosimeter

nomor 2,3,4,5 maka dapat dihitung paparan dosis pada titik tengah sinar-x atau pendosimeter nomor 1 sebesar Y % dikalikan nilai rata-rata dosis tepi.

5.2.3. Uji Hubungan Paparan Dosis Titik tengah Lapangan Terhadap Paparan Dosis

Luas Lapangan Sinar-x Pada Luasan Lapangan Sinar-x yang berbeda.

Disamping ketebalan obyek yang berbeda-beda dalam penelitian ini juga menggunakan luas lapangan sinar-x yang berbeda, yang disesuaikan dengan besarnya obyek. Untuk mendapatkan hubungan nilai paparan pada sumbu pusat dengan paparan dosis disekitar dilakukan uji pengukuran nilai dosis paparan tanpa pasien dengan luas lapangan yang berbeda-beda mulai dari 50 cm × 50 cm, 40 cm × 40 cm, 30 cm × 30 cm, dan 20 cm × 20 cm dengan tanpa obyek. Luas lapangan ini merupakan besarnya bukaan area sinar-x yang pada umumnya dilakukan pada pemeriksaan radiologi thorax rutin di Rumah Sakit dr. Saiful Anwar Malang. Adapun data yang didapat dari uji ini adalah sebagai berikut:

Tabel 5. 4 Data paparan dosis titik tengah terhadap paparan dosis luas lapangan sinar-x yang berbeda

NO	Luas Lapangan sinar-x(Cm)	rata2 paparan dosis Luas Sinar-x (mRad)	Perbandingan paparan dosis Luas Lapanganujiterhadap Luas Lapangan 40x40
1	20x20	115,56	1,10
2	30x30	112,8	1,07
3	40x40	105,04	1,00
4	50x50	96,3	0,90

Perbandingan paparan dosis yang disampaikan dalam tabel diatas sebagai titik uji standar adalah pada lapangan $40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$. Hal ini dihubungkan dengan uji paparan dosis pada titik tengah sinar-x terhadap ketebalan obyek yang menggunakan luas lapangan penyinaran $40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$. Dari kedua uji diatas untuk mendapatkan hasil paparan pada titik tengah sinar-x setiap pengukuran dilakukan dua langkah konversi dari luas lapangan ukur ke luas lapangan $40\text{ cm} \times 40\text{ cm}$ kemudian di konversi lagi terhadap ketebalan sampel yang diukur.

5.3. Diskripsi Data Sampel Penelitian

Telah dilakukan pencatatan data-data pasien berdasarkan karakteristik anthropometri terhadap 318 pasien yang telah dilakukan prosedur pemeriksaan radiologi thorax pediatri mulai dari umur 0 tahun sampai 18 tahun pada tiga mesin sinar-x di rumah sakit saiful Anwar Malang meliputi umur, jenis kelamin, berat badan, tinggi badan, Indeks massa tubuh dan tebal obyek. Adapun data-data tersebut ditampilkan dalam beberapa tabel dan grafik sebagai berikut:

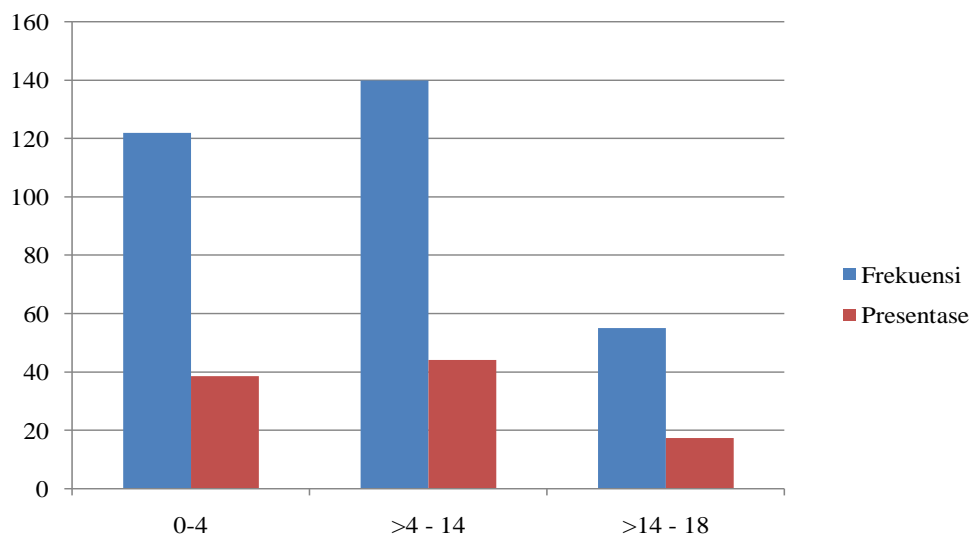
5.3.1. Distribusi Sampel Berdasarkan Umur

Dari hasil pengumpulan data pada setiap pasien yang memenuhi kriteria inklusi dilakukan pendataan berdasarkan umur. Pada Grafik 5.2 yang diolah dari sumber data utama dengan menggunakan excel dapat diketahui gambaran banyaknya sampel dalam penelitian berdasarkan distribusi umur. Sampel diambil mulai dari umur 0 tahun untuk pasien beberapa hari setelah lahir. Dari data kemudian dilakukan pengolahan secara diskripsi agar dapat diketahui nilai mean

yang merupakan umur rata-rata dari seluruh pasien yang dijadikan sampel. Besarnya nilai rata-rata umur sampel pada penelitian ini adalah 7,89 tahun, median sebagai nilai tengah 7,13 tahun dengan modus merupakan umur yang paling sering banyak dijadikan sampel adalah umur 2 tahun dengan frekuensi 33.

Tabel 5. 5 data pasien berdasarkan kelompok umur

No	Kelompok Umur	Frekwensi	Persentase (%)
1	0 - ≤4 tahun	122	38,48
2	>4 – 14 tahun	140	44,16
3	>14 – 18 tahun	56	17,36
Jumlah		318	100



Gambar 5. 2 Diagram distribusi frekwensi berdasarkan kelompok umur sampel

Pengelompokan umur data sampel oleh peneliti berdasarkan dari buku pedoman teknis penyusunan tingkat panduan paparan medik Atau *diagnostic*

reference level yang dikelurakan oleh BAPETEN. Dalam buku tersebut dijelaskan dalam penyusunan DRL untuk pediatri dikelompokan umur 0 - 4 tahun dikatakan bayi sedangkan umur >4 – 14 tahun disebut sebagai anak sedangkan umur >14 tahun dikelompokan pada umur dewasa(Bapeten, 2016).

Berdasarkan tabel diatas diketahui bahwa distribusi frekuensi mengenai umur pasien dalam penelitian ini 0-4 tahun 38,87% persen >4 – ≤14 tahun sebanyak 47,33 % sedang umur >14 – 18 sebanyak 13,80 %.

5.3.2. Distribusi Sampel Berdasarkan Jenis Kelamin

Dalam pengambilan data tidak dibatasi banyaknya sampel berdasarkan jenis kelamin. Dari 318 sampel yang terkumpul selanjutnya data sampel berdasarkan jenis kelamin. Tujuan dari pengelompokan ini adalah untuk melihat apakah ada perbedaan paparan dosis yang diterima pasien laki-laki dan wanita. Pengelompokan sampel berdasarkan jenis kelamin yang memenuhi kriteria inklusi pada penelitian ini di tunjukan pada tabel sebagai berikut:

Tabel 5. 6 Diskripsi sampel berdasarkan jenis kelamin

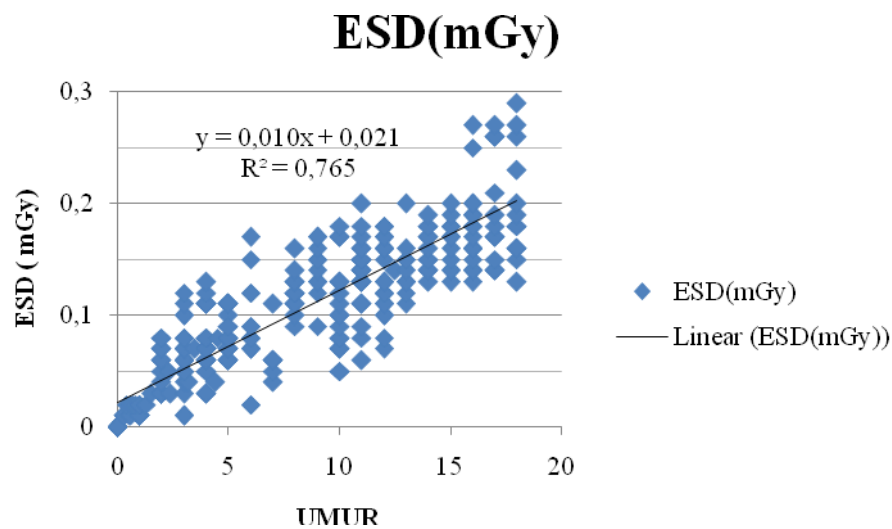
No	Jenis Kelamin	Frekuensi	Prosentase
1	Laki-Laki	157	49,8
2	Wanita	161	50,2
JUMLAH		318	100

Setelah data terkumpul dalam waktu 3 bulan maka peneliti melakukan pengolahan data jenis kelamin pasien. Berdasarkan table 5.6 diatas dapat

diketahui bahwa 49,5 % pasien yang menjadi sampel dalam penelitian ini adalah berjenis kelamin laki-laki dan 50,5 % merupakan pasien wanita.

5.4.1 Hubungan Umur Pasien Terhadap Nilai ESD

Sedangkan Gambar 4.10 dibawah ini merupakan hasil pengolahan data untuk menunjukkan hubungan antara umur pasien terhadap nilai ESD yang diterima.



Gambar 5. 3 Diagram scatter hubungan umur terhadap nilai ESD

Pada tampilan Grafik hubungan antara nilai ESD dengan umur pasien diatas menunjukkan bahwa ada hubungan yang positif kuat dimana peningkatan umur pasien akan meningkatkan nilai ESD secara signifikan. Nilai R^2 mengartikan nilai reabiliti hubungan tersebut. Dengan Nilai $R^2 = 0,765$ menunjukkan korelasi positif

kuat besaran ESD yang paling rendah 0,01 mGy pada sampel yang berumur 0 th dan nilai paling besar 0,3 mGy pada indeks anak umur 18 tahun.

5.5 Penentuan Nilai DRL

5.5.1. Nilai DRL Pasien Pediatri Berdasarkan Kelompok Umur

Untuk memperjelas dan mempermudah dalam penentuan *Diagnostic reference Levels* pada pemeriksaan radiologi thorax maka data dikelompokkan berdasarkan umur sampel yang berlandaskan pada buku Pedoman Teknis Penyusunan Tingkat Panduan Paparan Medik Atau *Diagnostic Reference Level* yang dikeluarkan oleh BAPETEN. Oleh karena itu penentuan kelompok umur dalam penelitian ini dilakukan pada dalam tiga kelompok yaitu 0 - \leq 4 tahun, >4 – 14 tahun dan >14 – 18 tahun. Berturut-turut menurut buku pedoman tersebut tiapkelompok disebut bayi, anak dan dewasa.

Tingkat Panduan Dosis Radiasi atau Diagnostic Refence Levels (DRL) ditentukan dengan ESD pada percentil 75. Berdasarkan data table 5.7 didapatkan nilai DRL untuk kelompok umur 0-4 tahun sebesar 0,137 mGy, umur >4-15 tahun sebesar 0,14 mGy dan umur >15 – 18 th sebesar 0,17 mGy.

Tabel 5. 7 Nilai ESD pada kelompok umur

KelompokUmur	Jumlah sampel	ESD (mGy)		
		Mean	P75	Min - max
0 – 4 th	122	0,04	0,07	0,00 – 0,13

>4 – 14 th	140	0,12	0,15	0,02 – 0,52
>14– 18 th	56	0,19	0,20	0,13 – 0,31

5.5.2. Nilai DRL Semua Pasien Pediatri

Disamping nilai DRL yang dipisahkan berdasarkan kelompok umur pada penelitian ini juga dilakukan analisis nilai DRL pada sampel secara keseluruhan dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 5. 8 Nilai ESD pada pediatri

Umur	Jumlah	ESD (mGy)		
		Mean	P75	Min – Maks
0 – 18 th	318	0,10	0,15	0,00 – 0,31

Tingkat Panduan Dosis Radiasi atau DRL merupakan percentile 75 dari ESD pasien pediatri sebesar 0,015 mGy.

5.5.3 Nilai DRL Pasien Pediatri Berdasar Jenis Kelamin

Selanjutnya dalam penelitian ini dilakukan analisis besarnya nilai DRL pada sampel berdasarkan kelompok umur dan jenis kelamin masing-masing sampel. Data nilai DRL berdasarkan kelompok umur dan Jenis kelamin disajikan dalam tabel 5.10 dibawah ini :

Tabel 5. 9 Nilai ESD pada jenis kelamin sampel

Kelompok Umur	Jenis Kelamin	Jumlah	ESD (mGy)		
			Mean	P75	Min - Maks
0 – 4 Th	Laki-laki	53	0,047	0,065	0,00 – 0,12
	Perempuan	69	0,040	0,070	0,00 – 0,13
>4 – 14 Th	Laki-laki	63	0,120	0,150	0,01 -0,19
	Perempuan	77	0,090	0,180	0,00 – 0,27
>14 – 18 Th	Laki-laki	25	0,190	0,200	0,13 – 0,31
	Perempuan	30	0,180	0,200	0,14 – 0,27

Dari data di atas bahwa nilai DRL pada tiap kelompok umur dan jenis kelamin menunjukkan bahwa Nilai DRL laki-laki lebih besar dibandingkan dengan perempuan.

5.5.4. Nilai DRL Pasien Pediatri Pada Mesin Yang Digunakan

Untuk mengetahui nilai paparan dosis pada sampel yang berhubungan dengan jenis mesin yang digunakan. Pada penelitian ini juga di analisa besarnya paparan dosis dengan metoda ESD pada masing-masing mesin sinar-x yang digunakan dalam pengambilan data. Setiap mesin sinar-x memiliki spesifikasi peralatan yang berbeda-beda terutama dari generatornya. Generator ikut berperan dalam produksi sinar-x. Generator high frekwensi akan menghasilkan intensitas sinar-x yang lebih besar dibanding dengan generator frekwensi rendah. Hasil analisa di tampilkan dalam tabel dibawah ini:

Tabel 5. 10 Nilai ESD pada tiap mesin sinar-x

Nomer Kode Mesin	Jumlah sampel	Kelompok Umur (Tahun)	ESD (mGy)		
			Mean	P75	Min - max
1	122	0 - ≤ 4	0,04	0,06	0,00 -0,11
		>4 - 14	0,07	0,08	0,05 – 0,09
		>14 -18	-	-	-
2	140	0 - ≤ 4	0,14	0,16	0,04 – 0,21
		>4 - 14	0,14	0,16	0,04 -0,21
		>14 - 18	0,17	0,18	0,13 – 0,20
3	55	0 - ≤ 4	0,05	0,085	0,00 – 0,13
		>4 - 14	0,10	0,12	0,02 – 0,8
		>14 - 18	0,19	0,21	0,13 – 0,31

Dari data tabel 5.10 dapat diketahui bahwa mesin 1 memiliki nilai ESD yang lebih kecil dibandingkan dengan 2 sedangkan mesin 2 memiliki nilai ESD yang lebih kecil daripada mesin 3. dengan buku Pedoman Teknis Penyusunan Tingkat Panduan Paparan Medik Atau Diagnostic Reference Level yang dikeluarkan oleh BAPETEN.

BAB VI

PEMBAHASAN

6.1 Perbedaan Hasil Pengukuran ESD

Sebagaimana tertera dalam peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi Dalam Penggunaan Pesawat Sinar-x Radiologi Diagnostik dan Intervensional ditekankan pentingnya proteksi radiasi kepada pasien yang akan dilakukan pemeriksaan radiologi. Optimasi merupakan salah satu bentuk usaha dalam proteksi radiasi dengan pemberian dosis yang minimal tetapi dapat menghasilkan kualitas gambar radiologi yang baik sehingga dapat menegakan diagnosa yang tepat (Sun et al., 2012).

Hasil penelitian DRL pada pemeriksaan thorax pediatric dengan metoda ESD di RSUD dr Saiful Anwar Malang hasilnya sangat beragam. ESD merupakan besarnya dosis paparan radiasi yang diterima pasien pada permukaan kulit. Paparan dosis merupakan banyaknya intensitas radiasi sinar-x yang keluar dari tabung.

Keragaman ESD ini disebabkan oleh perbedaan parameter-parameter produksi sinar-x yang dilakukan oleh radiografer berbeda. Dalam metode penelitian ini pemilihan parameter tidak ditentukan oleh peneliti. Hal ini mengakibatkan pada pasien yang umur dan ketebalan sama memungkinkan mendapatkan paparan radiasi yang berbeda.

Untuk mengurangi perbedaan ini sebaiknya ada panduan pengaturan parameter tegangan dan kuat arus tabung disesuaikan dengan umur dan ketebalan

obyek paa setiap alat sinar-x. Walaupun demikian nilai DRL berdasarkan kelompok umur I nilainya lebih kecil dari beberapa organisasi internasional

6.2. Perbandingan Nilai DRL

Beberapa negara di dunia dan organisasi proteksi radiasi internasional negara di dunia telah menetapkan nilai panduan tingkat paparan medik atau *Diagnostic reference leves* (DRL) yang digunakan sebagai pedoman dosis dalam pemeriksaan medik.

Seperti yang terlihat pada tabel 6.1 menunjukkan suatu hasil dari penelitian DRL pada pemeriksaan Thorax pediatri yang telah dijadikan pedoman di beberapa organisasi internasional. Pada tabel ini ditampilkan perbedaan nilai DRL dari beberapa organisasi internasional dengan hasil dari penelitian ini. Landasan yang dijadikan penentuan DRL di beberapa negara mengambil nilai percentil 75 dari nilai ESD sampel yang telah dikumpulkan.

Analisa data-data yang terkumpul berdasarkan hasil dari nilai paparan dosis pada kulit atau ESD. Untuk mendapatkan nilai DRL di penelitian ini mengelompokan sampel berdasarkan kelompok umur. Pengelompokan ini disesuaikan dengan buku pedoman teknis penyusunan tingkat panduan paparan medik atau *Diagnostic Reference Level* (DRL) yang dikeluarkan oleh BAPETEN sebagai regulator pemanfaatan radiasi pengion di Indonesia.

National Radiation protection board (NRPB) di negara inggris merekomendasikan nilai DRL dikelompokan berdasarkan umur. Mulai anak umur di bawah 1 tahun dengan nilai terkecil 0,05 mGy, sedangkan kelompok umur

dibawah sama dengan 5 tahun memiliki nilai 0,07mGy dan untuk kelompok umur dibawah sama dengan 10 tahun memiliki nilai yang paling besar 0,12 mGy.

Tabel 6. 1 Perbandingan Nilai ESD

Organisasi / Tempat Penelitian	Umur dalam Th	ESD (mGy) P 75	Tahun	
Komisi Eropa (ICRP)	< 5	0,08	1996	
	5-15	0,11		
NRPB (National Radiation Protection Board)	≤ 1	0,05	2000	
	≤ 5	0,07		
	≤10	0,12		
BSS (IAEA)	>15	0,40	1966	
RS Dr Saiful Anwar Malang (Penelitian ini)	Mesin 1	0- <4	0,06	2017
		>4 - 14	0,08	
		>14 - 18	-	
	Mesin 2	0-<4	0,16	
		>4 - 14	0,16	
		>14 - 18	0,18	
	Mesin 3	0-<4	0,08	
		>4 - 14	0,12	
		>14 - 18	0,21	
	keseluruhan	0-<4	0,07	
		>4 - 14	0,15	
		>14 - 18	0,18	

Begitu pula dengan rekomendasi dari komisi Eropa yang mengelompokkan umur dari dibawah 5 tahun dengan nilai DRL yang diambil dari percentil 75 dari pengukuran ESD sebesar 0,08 mGy untuk kelompok umur 5 sampai 15 tahun dengan nilai DRL 0,11 mGy.

Sedangkan IAEA dengan *Basic Safty* standar tidak mengelompokkan umur anak tetapi hanya merekomendasikan nilai DRL dengan menggolongkan umur diatas 15 tahun sebagai kelompok dewasa dengan rekomendasi DRL 0,4 mGy.

Dari beberapa 3 mesin sinar-x yang digunakan penelitian. Besarnya Nilai DRL berdasarkan kelompok umur padan mesin no 1 lebih kecil dibandingkan dengan mesin-mesin lain. Sedangkan Nilai DRL pada pemeriksaan menggunakan mesin nomer 2 menunjukkan nilai paling besar dibanding dengan mesin lain. Semua pemeriksaan dengan menggunakan mesin nomor 2 menggunakan grid. Grid ini sudah terpasang tetap pada kompenen mesin nomor 2 sehingga dalam pemeriksaan tidak dapat dihindari dari penggunaan grid tersebut.

Grid merupakan suatu alat berbentuk lempengan yang terbuat dari kisi-kisi dari Pb. Fungsi dari grid sendiri untuk menyerap radiasi hambur dari efek compton dihasilkan karena interaksi sinar-x ketika mengenai pasien. Disamping menyerap radiasi hambur grid juga menghalangi radiasi primer yang menuju film.

Hal ini mengakibatkan berkurangnya intensitas sinar-x yang menuju film. Pada pemeriksaan dengan menggunakan grid mengharuskan pengaturan tegangan tabung dan mAs lebih besardari pada pemeriksaan tanpa menggunakan grid. Akan tetapi penggunaan grid akan meningkatkan kualitas gambar. Penggunaan tegangan tabung (kVp) yang tinggi akan menghasilkan meningkatkan intensitas sinar-x yang besar sehingga lebih banyak radiasi yang diterima pasien sedangkan

pada tehnik pemilihan arus×waktu (mAs) yang besar juga akan menghasilkan intensitas radiasi yang lebih besar. Peningkatan intensitas sinar sehingga dapat meningkat kandosis radiasi yang diterima pasien lebih banyak.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Setelah diuraikan pada hasil penelitian dan pembahasan dalam bab-bab sebelumnya maka penelitian dapat menyimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Nilai rata-rata paparan dosis radiasi pada permukaan kulit (ESD) yang diterima pasien pada pemeriksaan thorax pediatric di RSUD dr Saiful Anwar Malang berdasarkan kelompok umur dan jenis kelamin sebagai berikut umur $0 \leq 4$ tahun pada laki-laki 0,047 mGy perempuan 0,04 mGy , umur $>4-14$ tahun pada laki-laki 0,12 mGy perempuan 0,09 mGy, umur 14-18 tahun pada laki-laki 0,19 mGy perempuan 0,18 mGy.
2. Nilai *diagnostic reference level* (DRL) pada pemeriksaan Thorax pediatri di RSUD dr Saiful Anwar Malang untuk kelompok umur $0 - \leq 4$ Tahun 0,07 mGy, $> 4-14$ tahun 0,15 mGy, $> 14-18$ tahun 0,18 mGy.

7.2. Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan pada rumah sakit-rumah sakit di daerah Malang untuk mendapatkan Nilai Diagnostic Reference Levels Regional Malang.

D AFTAR PUSTAKA

Ballinger, P. (2003). Merrill's atlas of radiographic positions & radiologic procedures. tenth edition. Mosby inc. St Louis.

Bapeten,(2016). Pedoman Teknis Penyusunan Tingkat Panduan Diagnostik atau (Diagnostic Reference Level DRL) Nasional, edisi satu. Bapeten. Jakarta.

BAPETEN,(2011). Perka Bapeten no 08 th 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar-x Radiologi Diagnostik dan Intervensional. edisi satu. Bapeten. Jakarta.

Bontrager, kenneth L., & Lampignano, J. P. (2007). text books of radiographic positioning and related anatomy . sixth edition. Mosby inc. St Louis.

Bushong, S. C. (2001). Radiologic science for technologists ,Physics,Biology, and protection . eleventh edition. Elsevier. St. Louis.

Efendi, J., & Normahayu, I. (2012). An Attempt to Establish National Dose Reference Levels for Head CT-Scan Examinations in Indonesia : Preliminary Results from Malang Hospitals. *IJET-IJENS* .12 (06):100-114.

Eri, H., & Kartikasari, D. (2015). Dosis Pasien Pada Pemeriksaan Rutin Sinar-X Radiologi Diagnostik. *Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia*, 16(2): 71–84.

Ferdeghini, E. M. (2014). Radiation Protection and Dosimetry in x-Ray Imaging. Comprehensive Biomedical Physics. sixth edition. Elsevier. Pisa.

Gibson, D. J., & Robert, A. davidson. (2011). Exposure Creep in Computed Radiography : A Longitudinal Study. *Academic Radiology*, 19(4): 458–462.

Hall, E. J. (2012). Radiobiology for the Radiologist. ninth edition. Lippincott Williams. Philadelphia.

IAEA. (2007). Dosimetry In Diagnostic Radiology An International Code Of Practice. International Atomic Energy Agency Wagramer Strasse 5. VIENNA

Instalasi Radiologi. (2015). Laporan Tahunan Instalasi Radiologi RSUD dr Saiful Anwar Malang. Malang.

Inyang, S. O., Essien, I. E., & Antia, A. D. (2015). Entrance Surface Air Kerma for Chest X-ray Examination in some Diagnostic Radiologic Facilities in Akwa Ibom State , Nigeria. *Advance in physics Theories and Application*, 48(9): 4–8.

Jenkins, D. (2009). Radiographic Photography and imaging Processes. Edition3.

Aspen inc. Maryland:.

Kisielewicz, K., Truszkiewicz, A., Wach, S., & Radwanska, W. M. (2011). Evaluation of dose area product vs . patient dose in diagnostic X-ray units *European Journal of Radiology*. 27(9): 117–120.

Ladia, A. P., Skiadopoulos, S. G., Karahaliou, A. N., Messaris, G. A. T., Delis, H. B., & Panayiotakis, G. S. (2016). The effect of increased body mass index on patient dose in paediatric radiography. *European Journal of Radiology*. 85(10): 1689–1694.

Paulo, G., Vano, A., & Rodrigues, A. (2015). Radiography Diagnostic reference levels in plain radiography for paediatric imaging: A Portuguese study. *The College of Radiographers*. 9 (30) : 1–6.

Podgorsak, E. B. (2006). *Radiation Physics for Medical Physicists*. First edition. Springer. Berlin Heidelberg.

Protection, I. C. on R., & (ICRP). (1996). Radiological protection and safety in medicine: *ICRP publication 73*, 26, 23–24.

Rasuli, B., Ghorbani, M., & Juybari, T. (2016). Radiation dose measurement for patients undergoing common spine medical x-ray examinations and proposed local diagnostic reference levels. *Radiation Measurements*, 30.

Seeram, E. (2014). The New Exposure Indicator for Digital Radiography. *Journal of Medical Imaging and Radiation Sciences*, 45(2), 144–158.

Silva, T. R., & Yoshimura, E. . (2014). Patient dose , gray level and exposure index with a computed radiography system. *Radiation Physics and Chemistry*, 9(5), 271–273.

Sun, Z., Lin, C., Tyan, Y., & Ng Hoong, K. (2012). Optimization of chest radiographic imaging parameters: A comparison of image quality and entrance skin dose for digital chest radiography systems. *Clinical Imaging*, 36(4), 279–286.

T.Rivera, M. (2016). Diagnostic radiology dosimetry: Status and trends. *Applied Radiation and Isotopes*, 20(8): 20-24.

UU NO 35. (2014). *Tentang Perlindungan Anak*. Edisi 1. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 297. Jakarta.

Vassileva, J., & Rehani, M. (2015). Diagnostic Reference Levels. *AJR* . 15(7) : 3–5

White, F., Westmorland, A., Roe, G., & Wolstenhulme, S. (2013). Radiography Barium Swallow Examination: Radiographer and radiologist compliance to

National Diagnostic Reference Levels. *JournalRadiography*, 19(3), 218–222.

Whitley, A. Stewart, Sloane, C., Hoadley, G., & D. Moore, A. (2005). *Clark's Positioning in Radiography*. Hodder Arnold. Edition 12. Hodder Arnold. London.

Winarno, G. (2012). *Optimisasi Citra Radiografi Dan Entrance Surface Dose (ESD) Menggunakan Sistem Fuji Computed Radiography (FCR)*. Tesis. Universitas Indonesia.