

**ANALISIS *INCIDENT AIR KERMA (INAK)* DAN *ENTRANCE SURFACE DOSE (ESD) THORAX* PADA PESAWAT SINAR X
DI INSTALASI RADIOLOGI RUMAH SAKIT ISLAM
SULTAN AGUNG SEMARANG**

Skripsi

Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Mencapai Derajat
Strata Satu (S1)

Sebagai Sarjana Sains pada Program Studi Fisika



Disusun Oleh

Siva Tahula Haba

1508026010

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
2020**

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Siva Tahula Haba

NIM : 1508026010

Jurusan : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul:

***ANALISIS INCIDENT AIR KERMA (INAK) DAN ENTRANCE SURFACE DOSE (ESD) THORAX PADA PESAWAT SINAR X
DI INSTALASI RADIOLOGI RUMAH SAKIT ISLAM
SULTAN AGUNG SEMARANG***

secara keseluruhan adalah hasil penelitian atau karya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya

Semarang, 20 April 2020

Pembuat Pernyataan,



Siva Tahula Haba

NIM. 1508026010

PENGESAHAN

Naskah skripsi berikut ini :

Judul : Analisis *Incident Air Kerma* (INAK) dan *Entrance Surface Dose* (ESD) Thorax pada Pesawat Sinar X di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang

Nama : Siva Tahula Haba

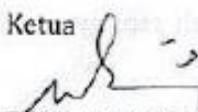
NIM : 1508026010

Jurusan : Fisika

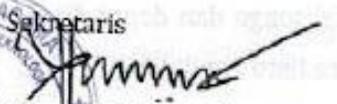
Telah diujikan dalam sidang munaqosah oleh Dewan Penguji Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo dan dapat diterima sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains dalam Ilmu Fisika.

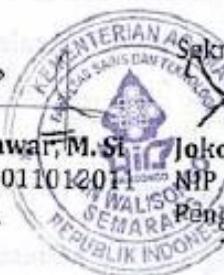
Semarang, 20 April 2020

Ketua

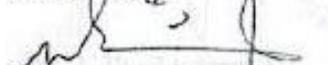

Edi Daenuri Anwar, M. Si
NIP.198408122011012011
Penguji I

Sekretaris

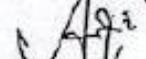

Joko Budi P, M. Pd
NIP.197602142008011011
Penguji II



M Ardhi Khalif, M. Sc
NIP.198210092011011010
Pembimbing I


Edi Daenuri Anwar, M. Si
NIP.198408122011012011

Dr. Hamdan Hadi K, M. Sc
NIP.197703202009121002
Pembimbing II


Arsini, M. Sc
NIP.197907262009121002

NOTA DINAS

Semarang, 11 April 2020

Kepada

Yth Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang
Di Semarang

Assalamu'alaikum wr. Wb

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Analisis Incident Air Kerma (INAK) dan Entrance Surface Dose (ESD) Thorax pada Pesawat Sinar X di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang**

Nama : Siva Tahula Haba

NIM : 1508026010

Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum wr.wb

Pembimbing I



Edi Daenuri Anwar, M. Si

NIP. 197907262009121002

NOTA DINAS

Semarang, 15 April 2020

Kepada
Yth Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Walisongo Semarang
Di Semarang

Assalamu'alaikum wr. Wb

Dengan ini diberitahukan bahwa saya telah melakukan bimbingan, arahan, dan koreksi naskah skripsi dengan:

Judul : **Analisis Incident Air Kerma (INAK) dan Entrance Surface Dose (ESD) Thorax pada Pesawat Sinar X di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang**

Nama : Siva Tahula Haba

NIM : 1508026010

Jurusan : Fisika

Saya memandang bahwa naskah skripsi tersebut sudah dapat diajukan kepada Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang untuk diajukan dalam sidang Munaqosah.

Wassalamu'alaikum wr.wb

Pembimbing II



Arsini, M. Sc

NIP. 198408122011012011

ABSTRAK

Judul : **ANALISIS *INCIDENT AIR KERMA (INAK)* DAN *ENTRANCE SURFACE DOSE (ESD)* THORAX PADA PESAWAT SINAR X DI INSTALASI RADIOLOGI RUMAH SAKIT ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

Penulis : Siva Tahula Haba
NIM : 1508026010

Telah dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui besar nilai *Incident Air Kerma (INAK)* dan *Entrance Surface Dose (ESD)* radiasi pesawat sinar X pada pemeriksaan *thorax* di Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang serta untuk mengetahui tingkat keamanan radiasinya. *International Atomic Energy Agency (IAEA)* melalui TRS 457 telah merekomendasikan dua metode yang dapat dilakukan untuk mengukur *INAK* dan *ESD*, yaitu dengan metode langsung (*direct*) dan metode tidak langsung (*indirect*). *Entrance surface dose (ESD)* yang didapat pada tegangan tabung 50-80 kV dan arus waktu penyinaran 2 mAs masing masing sebesar 0,037; 0,061; 0,089; dan 1,121 mGy. Pada tegangan 50-80 kV dengan arus waktu penyinaran 5 mAs menghasilkan nilai *ESD* sebesar 0,095; 0,156; 0,225; dan 0,309 mGy. Sedangkan pada tegangan tabung 50-80 kV serta arus waktu penyinaran sebesar 8 mAs menghasilkan nilai *ESD* sebesar 0,152; 0,249; 0,361; dan 0,497 mGy. Ketiga pengukuran yang dilakukan di Instalasi Radiologi Sultan Agung Semarang menghasilkan nilai *INAK* dan *ESD* dibawah nilai batas dosis yang ditetapkan oleh BAPETEN.

Kata Kunci: Pesawat Sinar X, *Incident Air Kerma*, *Entrance Surface Dose*, *Thorax*

TRANSLITERASI ARAB-LATIN

Penulisan transliterasi huruf-huruf Arab Latin dalam skripsi ini berpedoman pada SKB Menteri Agama dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan R.I. Nomor: 158/1987 dan Nomor: 0543b/U/1987. Penyimpangan penulisan kata sandang [al-] disengaja secara konsisten supaya sesuai teks Arabnya.

ا	A	ط	!
ب	B	ظ	z
ت	T	ع	'
ث	Ś	غ	Gh
ج	J	ف	F
ح	H	ق	Q
خ	Kh	ك	K
د	D	ل	L
ذ	Z	م	M
ر	R	ن	N
ز	Z	و	W
س	S	ه	H
ش	Sy	ء	'
ص	Ş	ي	Y
ض	d		

Bacaan Maad:

ā = a panjang

ī = i panjang

ū = u panjang

Bacaan Diftong:

au = اُو

ai = اِي

iy = اِي

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT karena atas limpahan rahmat dan karunia Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “ANALISIS *INCIDENT AIR KERMA* (INAK) DAN *ENTRANCE SURFACE DOSE (ESD) THORAX* PADA PESAWAT SINAR X DI INSTALASI RADIOLOGI RUMAH SAKIT ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG”. Penelitian ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai derajat strata satu (S1) sebagai sarjana sains pada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.

Proses penyusunan skripsi ini melewati banyak hambatan dan rintangan, namun berkat dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak, skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya, kepada:

1. Prof. Dr. Imam Taufiq, M.Ag selaku rektor UIN Walisongo Semarang.
2. Dr. H. Ismail, M.Ag selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo Semarang.
3. Ketua Program Studi Fisika UIN Walisongo Semarang, Agus Sudarmanto, M.Si .

4. Edi Daenuri Anwar, M. Si selaku pembimbing I dan Arsini, M. Sc selaku pembimbing II yang senantiasa membimbing serta memberi masukan, dan solusi pada setiap masalah dalam penyusunan skripsi ini
5. Segenap bapak/ ibu dosen Program Studi Fisika yang telah memberikan ilmu dan arahan selama masa studi
6. Slamet Riyanto, M. Sc selaku Kepala Ruang Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung yang telah mengizinkan penulis untuk melakukan penelitian, serta karyawan karyawan yang telah banyak membantu selama proses penelitian
7. Kedua orang tua yaitu ayahanda M Asyhari Tamam, dan ibunda Sholihatun serta saudara saudara, yaitu Tanria Haba dan Pasca Melia Haba yang senantiasa selalu memberikan kasih sayang, dukungan dan motivasi sepanjang proses penyusunan skripsi ini.
8. Sahabat dan teman teman, khususnya Rizqi Amaliyah, Lianita Anggraini, Nia Rizka A, Nelly J, Eli Ermawati, Rima Miza, Arifa, Ida Septyanti, serta teman teman yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan motivasi,

dukungan, dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini

Akhir kata, penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi tingginya kepada semua pihak yang telah membantu selama proses penyusunan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak.

Semarang, 20 April 2020

Penulis

Siva Tahula Haba

NIM. 1508026010

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PENGESAHAN.....	iii
NOTA DINAS.....	iv
ABSTRAK	vi
TRANSLITERASI ARAB LATIN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah.....	5
C. Tujuan Penelitian.....	5
D. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
A. Kajian Teori	8
1. Radiasi	8
2. Interaksi Radiasi dengan Materi	11
3. Sinar-X.....	16
4. Efek Radiasi	22
5. Pesawat Sinar X.....	27
6. Faktor Ekspose.....	30

7. Dosis Radiasi	32
8. Pemeriksaan <i>Thorax</i>	35
B. Kajian Pustaka	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	43
A. Jenis Penelitian.....	44
B. Tempat dan Waktu Penelitian	44
C. Alat Penelitian	44
D. Teknik Pengumpulan Data.....	47
E. Teknik Analisis Data	49
F. Diagram Alir	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	52
A. Uji Akurasi Tegangan	52
B. Pengukuran <i>INAK</i> dan <i>ESD</i>	54
BAB V PENUTUP	72
A. Kesimpulan.....	72
B. Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA.....	74
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Efek Fotolistrik.....	13
Gambar 2.2 Peristiwa Hamburan Compton.....	15
Gambar 2.3 Peristiwa Produksi Pasangan.....	16
Gambar 2.4 Produksi Sinar-X.....	19
Gambar 2.5 Pembentukan Sinar X Karakteristik	21
Gambar 2.6 Proses Terjadinya Sinar X <i>Bremstahlung</i>	22
Gambar 2.7 Grafik Efek Deterministik.....	23
Gambar 2.8 Grafik Efek Stokastik.....	26
Gambar 2.9 Alat Pesawat Sinar X.....	28
Gambar 2.10 Tabung Sinar X.....	29
Gambar 2.11 Diagram Pengukuran Dosis Radiodiagnostik.....	34
Gambar 2.12 Posisi Pasien pada Pemeriksaan <i>Posterior</i> <i>Anterior</i>	37
Gambar 2.13 Posisi Pasien pada Pemeriksaan <i>Anterior</i> <i>Posterior</i>	38

Gambar 3.1 Pesawat Sinar X GE XR 6000	45
Gambar 3.2 <i>Solid Water Phantom</i>	46
Gambar 3.3 <i>Multipurpose Detector Piranha</i>	46
Gambar 3.4 Bagan Pengukuran INAK dan ESD	50
Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian	51
Gambar 4.1 Bagan Pengukuran INAK dan ESD	56
Gambar 4.2 Grafik Persamaan Power Function Tegangan Tabung pada 2 mAs.....	62
Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengukuran dan Perhitungan INAK pada 2 mAs	64
Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengukuran dan Perhitungan INAK pada 5 mAs	66
Gambar 4.5 Grafik Hasil Pengukuran dan Perhitungan INAK pada 8 mAs	66
Gambar 4.6 Grafik Hasil Pengukuran dan Perhitungan ESD pada 2 mAs.....	68

Gambar 4.7 Grafik Hasil Pengukuran dan Perhitungan

ESD pada 5 mAs69

Gambar 4.8 Grafik Hasil Pengukuran dan Perhitungan

ESD pada 8 mAs70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Efek Radiasi pada Kulit.....	24
Tabel 4.1 Hasil Pengukuran Akurasi Tegangan Tabung.....	52
Tabel 4.2 Hasil Pengukuran INAK pada 2 mAs.....	58
Tabel 4.3 Hasil Pengukuran INAK pada 5 mAs.....	59
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran INAK pada 8 mAs.....	59

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1. : Surat Penunjukan Pembimbing
- Lampiran 2. : Surat Ijin Riset
- Lampiran 3. : Surat Selesai Riset
- Lampiran 4. : Hasil Pengukuran Akurasi Tegangan
- Lampiran 5. : Hasil Pengukuran *Incident Air Kerma (INAK)* pada Tegangan Tabung 50-80 kV dan arus waktu 2 mAs
- Lampiran 6. : Hasil Pengukuran *Incident Air Kerma (INAK)* pada Tegangan Tabung 50-80 kV dan arus waktu 5 mAs
- Lampiran 7. : Hasil Pengukuran *Incident Air Kerma (INAK)* pada Tegangan Tabung 50-80 kV dan arus waktu 8 mAs
- Lampiran 8. : Hasil Kalkulasi *Incident Air Kerma (INAK)* pada Tegangan Tabung 50-80 kV dan arus waktu 2 mAs
- Lampiran 9 : Hasil Kalkulasi *Incident Air Kerma (INAK)* pada Tegangan Tabung 50-80 kV dan arus waktu 5 mAs

Lampiran 10 : Hasil Kalkulasi *Incident Air Kerma (INAK)*
pada Tegangan Tabung 50-80 kV dan arus
waktu 8 mAs

Lampiran 11 : Tabel Pedoman Nilai *Backscatter Factor*

Lampiran 12 : Dokumentasi Pengambilan Data

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penemuan sinar X oleh Wilhelm Congrad Roentgen pada tahun 1895 serta unsur radium oleh Pierre dan Marie Curie pada tahun 1898 telah mencatatkan sejarah baru pada dunia nuklir. Teknologi nuklir terus menerus mengalami perkembangan yang signifikan. Hal ini ditandai dengan adanya peningkatan penggunaan teknologi nuklir pada berbagai bidang seperti pertanian, industri, dan kesehatan. Dalam bidang kesehatan, penggunaan nuklir ini meliputi tindakan radiologi (radiodiagnostik dan radioterapi) serta kedokteran nuklir. Dunia fisika medis memiliki andil yang penting dalam dunia radiologi dan kedokteran nuklir. Ilmu fisika dapat digunakan dalam uji kolimator, uji kualitas berkas sinar X, pengukuran dosis pasien, uji kebocoran tabung, dan lainnya. (Bushong, 2017)

Instalasi Radiodiagnostik merupakan instalasi medis yang menggunakan radiasi pengion untuk mendiagnosis suatu kelainan atau penyakit pada tubuh manusia tanpa melalui tindakan pembedahan. Salah satu aplikasinya

adalah penggambaran citra pada pesawat Sinar X. Pesawat Sinar X merupakan suatu modalitas radiodiagnostik yang menggunakan gelombang elektromagnetik berfrekuensi tinggi (sinar X) untuk merekonstruksi gambar internal tubuh. (Bapeten, 2011)

Pesawat Sinar X bekerja berdasarkan prinsip pembangkitan sinar X. Sinar X terbentuk apabila anoda dan katoda diberi beda potensial tinggi sehingga elektron dari katoda akan bergerak menuju anoda. Elektron tersebut melaju dengan kecepatan tinggi dan menumbuk target pada anoda sehingga menghasilkan sinar X. Sinar X tersebut dipancarkan melalui tabung yang diarahkan pada bagian tubuh tertentu yang akan didiagnosa. Berkas sinar-X tersebut menembus bagian tubuh dan akan ditangkap oleh film radiografi, sehingga akan terbentuk gambaran dari bagian tubuh yang disinari. Gambaran bentuk internal tubuh tersebut dijadikan dokter sebagai bahan rujukan untuk mendiagnosa suatu penyakit. Beberapa pemeriksaan yang dapat dilakukan dengan menggunakan pesawat sinar X adalah *thorax*, abdomen, ekstremitas atas, ekstremitas bawah, skull, dan lain sebagainya. (Pratiwi, 2018)

Incident Air Kerma (INAK) adalah *kerma* udara yang berasal dari penyinaran sinar X yang diukur pada jarak

100 cm dari titik fokus ke detektor tanpa memperhitungkan hamburan balik (*backscatter*). Sedangkan *Entrance Surface Dose (ESD)* adalah kerma udara yang diukur pada pusat sinar pada pertengahan posisi pasien atau phantom dengan memperhitungkan radiasi hambur yang terjadi. *ESD* merupakan parameter yang digunakan untuk menunjukkan dosis pada radiodiagnostik (IAEA, 2007).

Sejalan dengan banyaknya manfaat yang diperoleh dari penggunaan sinar X pada unit radiodiagnostik maupun radioterapi, sinar X juga dapat menimbulkan efek negatif. Efek yang terjadi pada tubuh manusia akibat radiasi bergantung pada jumlah dosis, laju dosis, serta kepekaan sel terhadap radiasi. Efek deterministik terjadi apabila dosis yang diberikan melebihi nilai dosis ambang. Sedangkan efek stokastik tidak bergantung dosis ambang. Efek stokastik tidak dapat dihindari karena efek ini terjadi pada semua nilai dosis radiasi, sekalipun sangat rendah. Pelayanan radiologi harus memperhatikan aspek keselamatan radiasi. Pasien harus menerima dosis radiasi yang serendah rendahnya sesuai dengan asas optimasi atau yang dikenal dengan istilah *as low as reasonably achievable (ALARA)*.

Pemerintah telah menerbitkan Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 01-P /Ka-BAPETEN/ I-03 tentang Pedoman Dosis Pasien Radiodiagnostik serta *Diagnostic Reference Level* Nasional yang menyebutkan bahwa level dosis permukaan kulit atau *Entrance Surface Dose (ESD)* untuk thorax pada pemeriksaan AP sebesar 0,6 mGy. (Bapeten, 2003)

Pemberian dosis yang tidak sesuai dengan rekomendasi akan membahayakan jaringan sehat di sekitarnya, sehingga perlu dilakukan penelitian tentang pengukuran besarnya *Entrance Surface Dose (ESD)* pada pemeriksaan *thorax* dalam rangka meningkatkan penerapan aspek keselamatan radiasi yang sesuai dengan Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 01-P /Ka-BAPETEN/ I-03 tentang Pedoman Dosis Pasien Radiodiagnostik. Foto *thorax* atau sering disebut *Chest X Ray (CXR)* merupakan pemeriksaan yang dilakukan untuk mengetahui kondisi, struktur, dan gambaran dari *thorax (cavea thoracis)* dalam menentukan kelainan yang terjadi. Pemeriksaan foto thorax merupakan pemeriksaan yang paling banyak dilakukan di Instalasi Radiologi RSI Sultan Agung. Penelitian ini dirasa perlu untuk dilakukan sebagai bahan pertimbangan dan review justifikasi di Instalasi Radiologi RSI Sultan Agung karena belum ada penelitian

yang membahas *ESD* pada pemeriksaan thorax. Penelitian ini diharapkan menjadi bahan pertimbangan sehingga estimasi dosis pasien yang melakukan pemeriksaan thorax tidak melebihi nilai batas dosis yang disarankan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, penulis merumuskan beberapa permasalahan, yaitu sebagai berikut:

1. Berapa nilai *Incident Air Kerma (INAK)* dan *Entrance Surface Dose (ESD)* radiasi pesawat sinar X pada pemeriksaan *thorax* di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang?
2. Bagaimana hasil *Entrance Surface Dose (ESD)* terhadap tingkat keamanan radiasi bagi pasien ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui nilai *Incident Air Kerma (INAK)* dan *Entrance Surface Dose (ESD)* radiasi pesawat sinar X pada pemeriksaan *thorax* di Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang
2. Untuk mengetahui tingkat keamanan radiasi berdasarkan *Entrance Surface Dose (ESD)* yang didapatkan.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, diantaranya :

1. Bagi Universitas Islam Negeri Walisongo

Penelitian ini dapat dijadikan sebagai rujukan dan bahan referensi dalam penulisan karya tulis ilmiah yang berkaitan dengan radiodiagnostik terutama dalam bidang dosis radiasi pada pemeriksaan foto *thorax* pesawat sinar X

2. Bagi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang

Penelitian ini dapat dijadikan bahan pertimbangan dan review justifikasi untuk pemeriksaan pesawat sinar X pada *thorax* sehingga estimasi dosis pasien tidak melebihi nilai batas dosis yang disarankan oleh Bapeten.

3. Bagi Penulis

Penelitian ini merupakan sarana pengembangan wawasan dan pengetahuan bagi penulis. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai salah satu cara untuk mengamalkan ilmu selama perkuliahan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Landasan Teori

1. Radiasi

Radiasi adalah perambatan energi melalui materi atau ruang dalam bentuk gelombang elektromagnetik atau partikel. (J. Bushberg, J. Seibert dan Boone, 2002)

Berdasarkan muatan listriknya, radiasi dikelompokkan menjadi 2, yaitu :

a. Radiasi Non Pengion

Radiasi non pengion merupakan radiasi yang tidak dapat mengionisasi materi. Hal ini dikarenakan energi materi lebih rendah daripada potensial ionisasi. Potensial ionisasi merupakan energi minimum yang digunakan untuk mengionisasi suatu atom. Contoh radiasi non pengion adalah radiasi gelombang radio, gelombang *microwave*, sinar tampak, sinar ultraviolet, dan sinar inframerah. (Podgorsak, 2009)

b. Radiasi Pengion

Radiasi pengion adalah radiasi yang menyebabkan terjadinya ionisasi baik secara langsung maupun tak langsung. Contohnya adalah sinar X, partikel α , β , sinar γ , dan partikel neutron. Ionisasi merupakan proses pelepasan atau penambahan elektron pada suatu atom. Ketika radiasi melewati suatu materi, maka akan terjadi disosiasi, eksitasi, dan ionisasi molekul atom yang menyebabkan energi radiasi berkurang. Ionisasi terjadi karena potensial ionisasi lebih besar daripada energi materi. (Podgorsak, 2009)

Radiasi pengion dapat menyebabkan kelainan bahkan kematian sel. Secara enzimatik, sel akan memperbaiki diri apabila terpapar radiasi. Namun karena setiap sel mempunyai batas aman dosis yang dapat diterima, maka tidak semua sel dapat memperbaiki diri secara sempurna. Sel mati menyebabkan disfungsi organ, sedangkan sel yang dapat memperbaiki diri akan terjadi dua kemungkinan, yaitu sel memperbaiki diri menjadi sel normal dan sel yang memperbaiki diri namun tidak sempurna

yang akan menjadi sel abnormal. (Supriyadi, 2008)

Manfaat sinar X dapat dianalogikan dalam

QS Al Baqarah ayat 20 yang berbunyi :

يَكَادُ الْبَرْقُ يَخْطَفُ أَبْصَارَهُمْ كُلَّمَا أَضَاءَ لَهُمْ مَشَوْا فِيهِ وَإِذَا أَظْلَمَ عَلَيْهِمْ قَامُوا ۗ
وَلَوْ شَاءَ اللَّهُ لَذَهَبَ بِسَمْعِهِمْ وَأَبْصَارِهِمْ ۗ إِنَّ اللَّهَ عَلَىٰ كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ

Artinya:

Hampir saja kilat itu menyambar penglihatan mereka. Setiap kali (kilat itu) menyinari, mereka berjalan dibawah (sinar) itu, mereka berhenti. Sekiranya Allah menghendaki nicaya Dia hilangkan mereka, Sungguh Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu. (Kementrian Agama, 2020)

Ayat tersebut menjelaskan bagaimana Allah menciptakan cahaya agar manusia dapat melihat sesuatu dalam kegelapan. Cahaya sangat bermanfaat bagi kehidupan di bumi. Apabila cahaya dihilangkan, maka manusia tidak bisa melihat apapun. Hal tersebut dapat dianalogikan dengan radiasi sinar X. Sinar X dipancarkan ke tubuh manusia yang menderita suatu penyakit untuk mendapatkan diagnosa penyakit. Namun apabila radiasi tersebut tidak digunakan sebagaimana mestinya, maka Allah

akan mengambilnya kembali karena Allah Maha Kuasa atas segala sesuatu. (Hasmawati, 2016)

Efek yang terjadi pada tubuh manusia akibat radiasi bergantung pada jumlah dosis, laju dosis, serta kepekaan sel terhadap radiasi. Berdasarkan tingkat dosis radiasi, efek radiasi dibedakan menjadi dua, yaitu efek deterministik dan efek stokastik. Efek deterministik terjadi apabila dosis yang diberikan melebihi nilai dosis ambang. Dengan kata lain, keparahan yang timbul akibat radiasi bergantung pada dosis yang diberikan. Umumnya, efek deterministik tidak mempunyai masa laten (masa penundaan antara paparan radiasi terhadap efek yang ditimbulkan). Berbeda dengan efek deterministik, efek stokastik tidak bergantung dosis ambang, keparahan tidak bergantung dosis, serta mempunyai masa laten yang relatif lama. Efek stokastik tidak dapat dihindari karena efek ini terjadi pada semua nilai dosis radiasi, sekalipun sangat rendah (Podgorsak, 2009)

2. Interaksi Radiasi dengan Materi

Interaksi radiasi terjadi di dalam orbital atom yang menyebabkan terjadinya peristiwa ionisasi dan eksitasi elektron. Peristiwa interaksi radiasi dengan

materi menurut tingkatan energinya dibagai menjadi tiga jenis yaitu, yaitu efek fotolistrik, efek Compton, dan produksi pasangan. Interaksi yang terjadi pada radiasi energi rendah adalah peristiwa efek fotolistrik dan efek Compton. Sedangkan produksi pasangan hanya terjadi pada energi tinggi. (Khan, 2014)

a. Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik terjadi pada foton dengan energi rendah (0,01 MeV – 0,5 MeV). Peristiwa efek fotolistrik terjadi apabila energi foton diserap seluruhnya oleh elektron dalam orbital atom. Terlepasnya elektron dari orbital atom karena frekuensi foton lebih besar dari frekuensi ambang atom. Foton akan berinteraksi dengan elektron kulit terluar. Semakin besar energi foton, maka semakin banyak elektron yang terlepas dari orbital atom. Elektron yang terlepas dari atom disebut *fotoelektron*. Energi yang diserap digunakan untuk melepaskan diri dari orbital atom serta dijadikan energi kinetik elektron untuk keluar dari atom. (Khan, 2014)

Energi kinetik elektron untuk terlepas dari atom sebesar : (Bushong, 2017)

$$E_{KE} = E_i - E_B \quad (2.1)$$

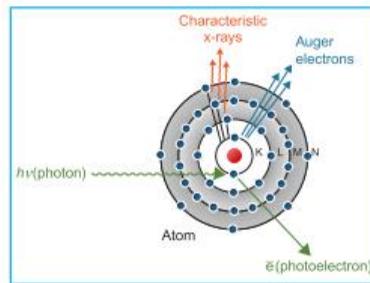
Dengan

E_{KE} : Energi kinetik elektron

E_i : Energi interaksi foton

E_B : Energi ikat elektron

Efek fotolistrik diperlihatkan pada gambar berikut :



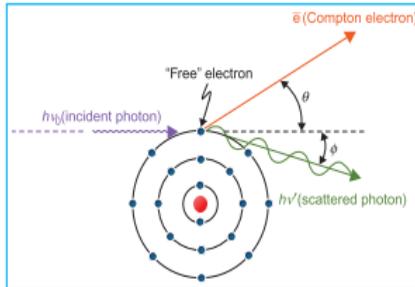
Gambar 2. 1 Proses Efek Fotolistrik (Khan, 2014)

b. Hamburan Compton

Hamburan Compton merupakan suatu peristiwa tumbukan lenting sempurna antara foton dan elektron bebas. Hamburan Compton terjadi apabila foton berinteraksi dengan elektron bebas. Apabila foton menumbuk elektron, foton akan menyimpang terhadap arah

semula dan elektron terpental bergerak ke arah lain dan membentuk sudut θ . Berbeda dengan efek fotolistrik, pada hamburan Compton energi foton tidak seluruhnya diserap oleh elektron dalam atom. Elektron hanya menyerap sebagian energi radiasi foton. Sebagian energi lainnya berupa gelombang elektromagnetik yang dihamburkan. Sinar X yang terhambur memiliki panjang gelombang yang lebih besar dari panjang gelombang semula. Hubungan antara panjang gelombang dan sudut θ adalah semakin besar sudut θ maka semakin besar panjang gelombang sinar X yang terhambur. Foton yang terhambur memiliki energi yang lebih kecil dari foton awal. Hamburan Compton terjadi pada foton dengan energi sedang (lebih dari 0,5 MeV). (Khan, 2014)

Proses hamburan Compton dapat dilihat pada gambar berikut :



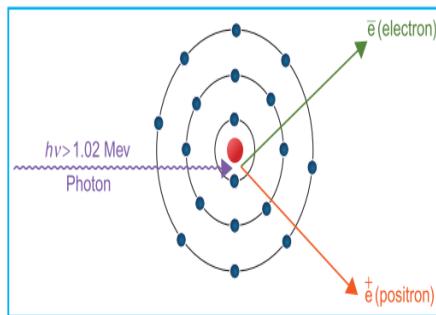
Gambar 2. 2 Peristiwa Hamburan Compton (Khan, 2014)

c. Produksi Pasangan

Produksi pasangan terjadi karena interaksi antara foton dengan medan listrik dalam inti atom berat. Produksi pasangan hanya dapat terjadi pada partikel bermuatan yang mempunyai medan listrik. Dalam proses produksi pasangan, foton berinteraksi dengan atom secara keseluruhan berhasil mendekati inti atom. Radiasi foton ketika berada di daerah medan inti akan ditransformasikan menjadi pasangan elektron positron. Positron adalah partikel yang identik dengan elektron tetapi bermuatan positif. (J. Bushberg, J. Seibert dan Boone, 2002)

Proses produksi pasangan hanya terjadi bila energi foton lebih besar dari 1,02 MeV. Produksi pasangan meningkat dengan meningkatnya energi radiasi elektromagnetik yang datang. (Bushberg *et al.*, 2002)

Peristiwa Produksi Pasangan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. 3 Peristiwa Produksi Pasangan (Khan, 2014)

3. Sinar X

Sinar X merupakan gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang sangat pendek ($1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$) dan daya tembus yang tinggi.

Hubungan antara panjang gelombang dan energi (daya tembus) dinyatakan dalam persamaan berikut : (Martina, Susilo, dan Sunarno, 2015)

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.2)$$

Dengan

E : Besarnya energi (J)

h : Konstanta *Planck* ($6,627 \times 10^{-34}$ Js)

c : Kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

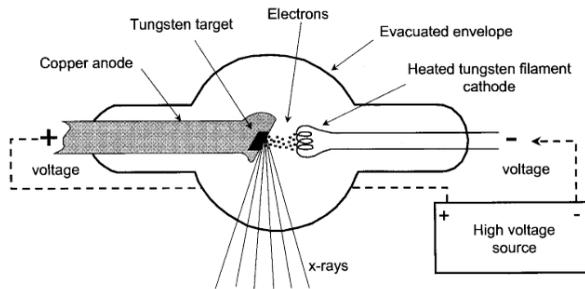
λ : Panjang gelombang (m)

Sinar X ditemukan oleh seorang fisikawan bernama Wilhelm Conrad Roentgen dari Wustburg University pada November 1895. Roentgen bereksperimen dengan sinar katoda yang ditembakkan pada sebuah tabung yang ditutupi dengan kertas foto hitam. Beberapa meter dari tabung tersebut, Rontgen meletakkan piringan yang dilapisi dengan *barium platinocyanide*. Ketika sinar katoda ditembakkan, piringan yang dilapisi dengan *barium platinocyanide* tersebut mulai berpendar. Berpendarnya piringan tersebut menandakan bahwa terdapat radiasi yang keluar dari tabung. Hal ini merupakan suatu kejadian yang tidak disengaja. Oleh karena ketidaksengajaannya, ia memberi nama sinar tersebut dengan "sinar X". Sinar ini mampu menembus

bagian tubuh manusia sehingga dapat dimanfaatkan untuk memberikan gambaran internal tubuh manusia. (Bushong, 2017)

Sinar X mempunyai sifat sifat sebagai berikut: (Cember, 1983)

1. Daya tembus tinggi. Sinar X mempunyai panjang gelombang yang sangat pendek. Akibatnya, daya tembus yang dihasilkan sangat tinggi.
2. Pertebaran. Apabila sinar X melewati suatu medium, maka berkas sinar tersebut akan menyebar ke segala arah dan menimbulkan radiasi hambur.
3. Efek fotografi. Sinar X dapat menghitamkan film setelah diproses secara kimiawi.
4. Ionisasi. Sinar X menyebabkan terjadinya ionisasi karena mengakibatkan peristiwa perpindahan elektron.
5. Efek biologis.



Gambar 2. 4 Produksi Sinar X (Bushberg *et al.*, 2002)

Gambar 2.4 menunjukkan proses terjadinya sinar X yang terjadi pada tabung sinar X. Tabung tersebut merupakan tabung hampa udara bertekanan 10^{-6} mm. Pada tabung terdapat katoda dan anoda di dalamnya. Katoda memiliki bagian bernama filament yang terbuat dari bahan tungsten yang berfungsi sebagai penghasil elektron. Tungsten menghasilkan emisi termionik yang lebih tinggi dari logam lainnya. Titik lebur tungsten adalah 3410°C , sehingga tidak mungkin terbakar karena adanya aliran listrik. (Bushong, 2017)

Filamen dipanaskan (lebih dari 2000°C) dengan cara mengalirkan sumber tegangan pada filament tersebut. Setelah filamen berpijar, katoda akan mengeluarkan elektron secara termal dan membentuk awan awan di sekitar daerah filament. Selanjutnya, elektron elektron tersebut dipercepat dengan

tegangan tinggi yang timbul diantara anoda dan katoda sehingga mempunyai energi kinetik yang cukup besar untuk menembakkan elektron menumbuk target (anoda). Elektron yang ditembakkan akan menumbuk dan berinteraksi dengan atom atom target. (Bushong, 2017)

Pada saat peristiwa tumbukan, elektron akan kehilangan sebagian energi kinetiknya dan diubah menjadi gelombang elektromagnetik yang disebut dengan sinar X. Sinar X yang terbentuk hanya akan keluar melalui jendela tabung. Hal ini karena terdapat perisai timah yang mencegah keluarnya sinar X dari tabung. Banyaknya intensitas sinar X bergantung pada jumlah elektron yang menabrak logam metal pada anoda. Intensitas sinar X dapat dinaikkan dengan cara menaikkan arus yang mengalir filament (Bushberg *et al.*, 2002)

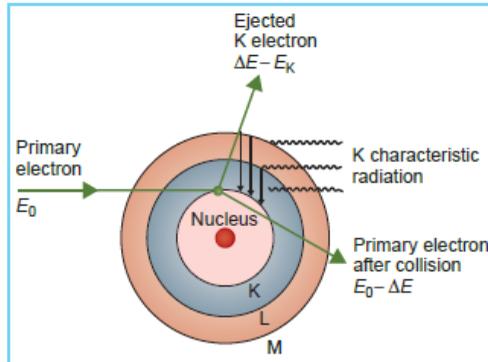
Berdasarkan proses terbentuknya, sinar X dibagi menjadi :

a. Sinar X Karakteristik

Sinar X karakteristik terbentuk akibat terjadinya proses eksitasi elektron di dalam anoda. Eksitasi merupakan peristiwa perpindahan elektron dengan tingkat energi

tinggi ke elektron yang lebih rendah tingkatan energinya. (Yulianti, 2014).

Proses pembentukan sinar X karakteristik dijelaskan pada gambar berikut :



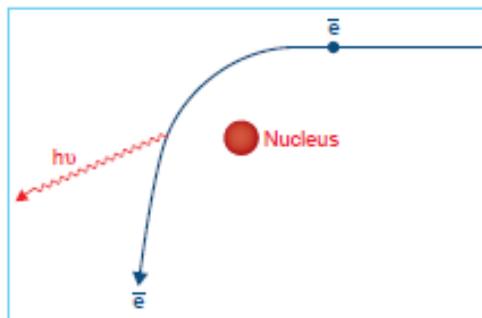
Gambar 2. 5 Proses Pembentukan Sinar X Karakteristik
(Khan, 2014)

b. Sinar X *Bremstahlung*

Bremstahlung berasal dari bahasa Jerman yang berarti pengereman. Sinar X *Bremstahlung* terjadi akibat peristiwa pengereman elektron ketika menumbuk atom target. Elektron merupakan partikel bermuatan listrik yang mempunyai gaya tarik elektrostatis. Ketika elektron melintas mendekati inti suatu atom, secara alamiah elektron yang mempunyai gaya elektrostatis tersebut akan mengerem dan

membelokkan arahnya. Karena peristiwa pengereman tersebut, elektron akan kehilangan sebagian energi kinetiknya. Energi kinetik tersebut diubah menjadi sinar X *Bremstahlung*. Sinar X yang dimanfaatkan dalam bidang radiologi adalah sinar X *Bremstahlung* (Khan, 2014)

Proses terjadinya sinar X *Bremstahlung* dijelaskan pada ilustrasi berikut :



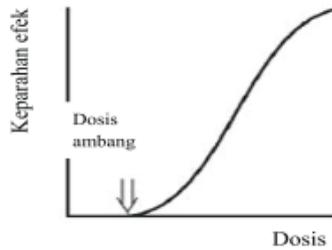
Gambar 2. 6 Proses Terjadinya Sinar X *Bremstahlung*
(Khan, 2014)

4. Efek Radiasi

a. Efek Deterministik

Efek deterministik merupakan efek yang terjadi apabila tubuh menerima dosis yang melebihi nilai dosis ambang. Tingkat keparahan efek deterministik akan meningkat apabila dosis

yang diterima semakin besar. Umumnya efek deterministik tidak mempunyai masa laten (masa penundaan antara paparan radiasi terhadap efek yang ditimbulkan).



Gambar 2. 7 Grafik Efek Deterministik (Hiswara, 2015)

Organ yang dapat mengalami efek deterministik adalah sebagai berikut : (Hiswara, 2015)

1) Kulit

Beberapa efek yang dijumpai pada kulit yaitu :

Tabel 2. 1 Efek Radiasi pada Kulit (Hiswara, 2015)

No	Efek Radiasi	Rentang Dosis (Gy)	Waktu
1	Eritem	2-3	6-24 jam
2	Epilasi dan deskuamasi kering	3-8	3-6 minggu
3	Blister dan deskuamasi basah	12-20	4-6 minggu
4	Nekrosis	>20	10 minggu

2) Paru

Paru adalah salah satu organ yang relatif sensitif terhadap radiasi. Efek deterministik pada paru seperti pneumonitis (radang paru paru). Pneumonitis mulai timbul setelah beberapa minggu atau bulan. Selain pneumonitis, efek ini juga dapat mengakibatkan pneumonitis interstisial yang mengakibatkan rusaknya sistem vaskularisasi sel

kapiler dan jaringan ikat. *Pneumonitis interstisial* mempunyai dosis ambang 6-7 Gy

3) Organ Reproduksi

Efek deterministik pada organ reproduksi laki laki adalah kemandulan. Radiasi pada testis akan mempengaruhi jumlah sperma yang dihasilkan. Dosis ambang untuk efek ini adalah 3,5-6 Gy. Sedangkan efek deterministik pada wanita adalah menopause dini.

4) Tiroid

Tiroid atau kelenjar gondok adalah kelenjar berbentuk kupu kupu yang terletak pada bagian depan leher. Tiroid berfungsi sebagai pengatur proses metabolisme tubuh melalui hormone tiroksin yang dihasilkannya. Dosis ambang untuk tiroidis akut adalah 200 Gy.

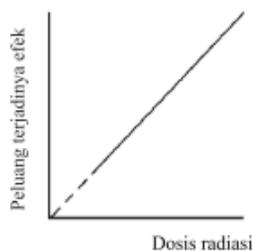
5) Janin

Efek yang diterima janin bergantung pada usia kehamilan saat

menerima radiasi. Pada usia 0-2 minggu, dosis radiasi sebesar 0,05 Gy akan menyebabkan kematian pada janin. Dosis radiasi yang sama apabila diterima pada usia kehamilan 2-7 minggu akan mengakibatkan malformasi organ janin. Sedangkan pada usia kehamilan 8-25 minggu akan mengakibatkan retardasi mental.

b. Efek Stokastik

Efek stokastik merupakan efek yang tidak mempunyai dosis ambang. Setiap radiasi pengion dikenakan pada tubuh akan menimbulkan efek stokastik. Serendah apapun dosis radiasi yang diterima, akan selalu menimbulkan efek stokastik. (Podgorsak, 2005)

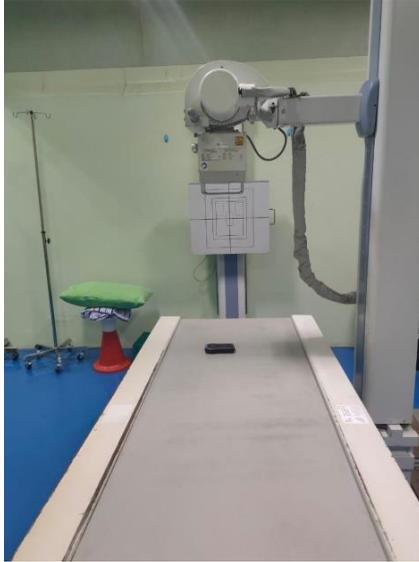


Gambar 2. 8 Grafik Efek Stokastik (Hiswara, 2015)

Efek stokastik memiliki masa laten yang cukup lama serta mengakibatkan perubahan fungsi sel. Apabila sel yang mengalami perubahan adalah sel somatik, maka dalam jangka waktu yang lama dapat menimbulkan kanker. Apabila sel yang mengalami perubahan adalah sel genetik, maka sifat sel tersebut dapat diwariskan ke keturunannya sehingga menimbulkan efek genetik. (Bushberg, 2002)

5. Pesawat Sinar X

Pesawat Sinar X merupakan suatu modalitas radiodiagnostik yang menghasilkan gelombang elektromagnetik berfrekuensi tinggi (sinar X) untuk merekonstruksi gambar internal tubuh. Sinar X yang telah diproduksi pada tabung akan keluar melalui jendela tabung dan diarahkan ke bagian tubuh yang akan didiagnosa. Sinar tersebut menembus bagian tubuh dan ditangkap oleh film yang diletakkan di dekat bagian tubuh yang akan didiagnosa, sehingga citra yang terbentuk dapat direkam oleh film.



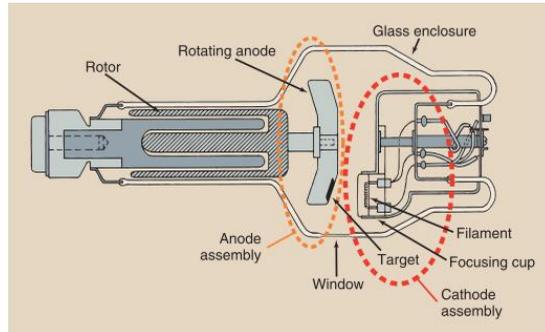
Gambar 2. 9 Pesawat Sinar X (RSI Sultan Agung)

Pesawat sinar X terdiri dari beberapa komponen, yaitu : (Bushong, 2017)

1. Tabung sinar X

Tabung sinar X berisi katoda dan anoda. Katoda terbuat dari bahan tungsten. Filamen yang terdapat pada katoda, diselubungi oleh bahan Molybdenum yang berfungsi untuk menangkap elemen negatif dari filamen. Pada katoda terdapat *focusing cup* yang berfungsi untuk mengarahkan elektron secara konvergen

menuju target. Tabung sinar X dilapisi oleh perisai timah yang berguna untuk mencegah sinar X keluar menembus tabung.



Gambar 2. 10 Tabung Sinar X (Bushong, 2017)

2. Trafo Tegangan Tinggi

Trafo tegangan tinggi berfungsi sebagai pengkonversi tegangan rendah yang berasal dari sumber menjadi tegangan tinggi yang berkisar antara 30 kV hingga 100 kV.

3. Sistem Kontrol / Kolimator

Sistem kontrol berfungsi sebagai pengatur parameter pada pengoperasian pesawat sinar X. Instrumentasi kontrol terbagi menjadi lima modul yaitu:

- a. Modul *power supply* (catu daya DC)
- b. Modul pengatur tegangan (kV)

- c. Modul pengatur arus (mA)
- d. Modul pengatur waktu pencitraan (S)
- e. Modul kendali sistem

6. Faktor Ekspose

Untuk mendapatkan hasil citra diagnosa yang jelas dan akurat, dibutuhkan beberapa parameter yang disebut dengan faktor ekspose. Faktor ekspose terdiri dari pengaturan tegangan tabung (kV), arus tabung (mA), dan waktu penyinaran (s). (Musfira, 2016)

a. Tegangan Tabung (kV)

Tegangan yang diberikan antara katoda dan anoda akan menentukan kualitas citra yang dihasilkan. Penentuan tegangan harus menggunakan tegangan yang optimal agar menghasilkan citra yang jelas. Semakin tinggi tegangan yang diberikan, maka intensitas dan energi sinar X meningkat. Jika energi sinar X meningkat, maka kemampuannya untuk menembus suatu bahan akan meningkat, sehingga intensitas sinar X yang sampai ke film akan lebih tinggi. (Podgorsak, 2005)

b. Arus Tabung (mA)

Arus tabung merupakan parameter kuantitas radiasi. Arus tabung menentukan banyaknya elektron yang akan melewati target (anoda) sehingga dihasilkan sinar X yang mempunyai intensitas dan energi yang cukup untuk menembus organ tubuh tertentu. (Pratiwi, 2018).

Arus tabung yang dipilih adalah pada arus paling tinggi yang dapat dicapai oleh pesawat sinar X. Hal ini bertujuan agar waktu ekspose dapat sesingkat mungkin, sehingga dapat mencegah kekaburan citra yang disebabkan oleh pergerakan pasien. Semakin besar arus yang diberikan antara katoda dan anoda, maka semakin banyak elektron yang bergerak dari katoda ke anoda. Dengan meningkatnya elektron maka akan menghasilkan sinar X banyak pula, sehingga akan meningkatkan radiasi yang diterima oleh film.

c. Waktu Penyinaran (s)

Waktu penyinaran merupakan parameter kuantitas radiasi. Semakin lama waktu

penyinaran, maka intensitas sinar X yang diterima oleh film semakin banyak.

Faktor eksposi bervariasi tergantung pada berbagai kondisi, yaitu (Pratiwi, 2018) :

- a. Ukuran objek
- b. Kelainan patologis yang akan diperiksa
- c. Objek yang pergerakan organnya tidak dapat dikontrol.

7. Dosis Radiasi

a. *Kinetic Energi Released in Matter (KERMA)*

Kerma adalah jumlah energi kinetik awal dari partikel bermuatan yang dilepaskan oleh partikel tidak bermuatan dalam suatu materi dengan massa tertentu. Satuan khusus dari *Kerma* adalah *Gy (Gray)*. (IAEA, 2007)

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm} \quad (2.3)$$

Dengan :

K : *KERMA* (J/kg atau Gray)

dE_{tr} : Energi kinetik (J)

dm : Massa partikel (kg)

b. Incident Air Kerma (INAK)

Incident Air Kerma (INAK) adalah kerma udara yang berasal dari penyinaran sinar X yang diukur pada jarak 100 cm dari titik fokus ke detektor tanpa memperhitungkan hamburan balik (*backscatter*). Satuan khusus *INAK* yaitu Gray. (Pradana, 2011)

Persamaan untuk menghitung nilai *incident air kerma (INAK)* adalah: (IAEA, 2007)

$$K_i = Y(d) P_{lt} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2 \quad (2.4)$$

Dengan

K_i : *Incident Surface Air Kerma (mGy)*

$Y(d)$: *X ray tube output at a distance/ tube output* pada jarak d (mGy/mAs)

P_{lt} : *Tube loading (mAs)*

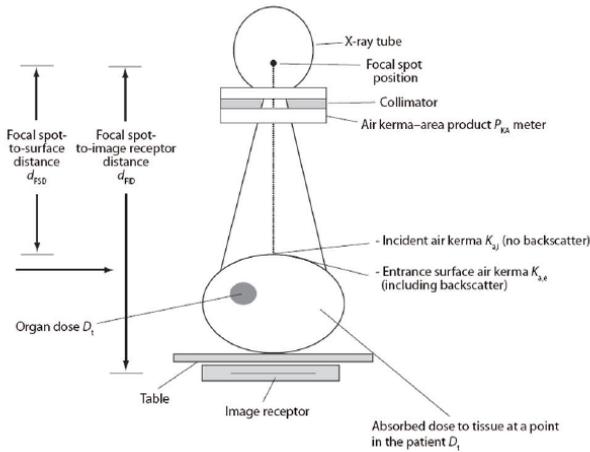
d : Jarak fokus ke detektor (m)

D_{FTD} : *Tube focus patient support distance /* Jarak fokus ke meja pemeriksaan (m)

t_p : *Patient thickness/* Tebal objek radiasi (m)

$Y(d)$ atau *tube output* pada jarak d merupakan fungsi kV (tegangan tabung) yang didapat dari hubungan persamaan power (*power function*), yaitu

$$y = cx^b \quad (2.5)$$



Gambar 2. 11 Diagram Pengukuran Dosis Radiodiagnostik (IAEA, 2007)

c. Entrance Surface Dose (ESD)

Entrance Surface Dose (ESD) adalah kerma udara yang diukur pada pusat sinar pada pertengahan posisi pasien atau phantom dengan memperhitungkan radiasi hambur yang terjadi. *ESD* merupakan perkalian *INAK* dan faktor

hamburan balik atau *backscatter factor*. Dalam *Technical Report Series No. 457* yang dikeluarkan oleh *International Atomic Energy Agency*, *Entrance Surface Dose (ESD)* merupakan salah satu satuan kuantitas pada radiologi diagnostik untuk menyatakan dosis radiasi yang diterima objek (pasien atau phantom). (IAEA, 2007)

$$K_e = K_i \cdot B \quad (2.6)$$

Dengan

K_e : *Entrance Surface Dose* (Gray)

K_i : *Incident Air Kerma* (Gray)

B : *Backscatter factor* atau faktor hamburan balik

8. Pemeriksaan *Thorax*

Foto *thorax* atau sering disebut *Chest X Ray* (CXR) merupakan pemeriksaan yang dilakukan untuk mengetahui kondisi, struktur, dan gambaran dari *thorax (cavea thoracis)* dalam menentukan kelainan yang terjadi. Secara garis besar, *thorax* berisi jantung (*cor*) dan paru paru (*pulmones*). Foto *thorax* digunakan untuk

mendeteksi beberapa penyakit seperti *pneumonia*, patah tulang rusuk, jantung kongestif, *tuberculosis* paru, penyakit pleura dan *ekstrapleura*, *lesi kosta*, trauma dada, *thorax pediatrik*, dan sebagainya. (Pearce, 2012)

a. Anatomi Thorax

Thorax merupakan bagian tubuh manusia berbentuk rongga kerucut yang terletak diantara leher dan abdomen. Bagian bawah *thorax* memiliki ukuran yang lebih lebar daripada bagian atas, sedangkan bagian belakang berukuran lebih panjang daripada bagian depan. *Thorax* terdiri dari 12 *vertebrata torakalis*, *sternum*, dan 12 pasang iga. Ada beberapa sistem yang terdapat pada *thorax*, yaitu sistem pernapasan dan sistem peredaran darah. Organ pernapasan dalam di dalam *thorax* adalah paru paru dan *esophagus*, sedangkan organ peredaran darah adalah jantung, pembuluh darah, serta saluran limfa. (Pearce, 2012)

b. Teknik Pemeriksaan Radiografi *Thorax*

Pemeriksaan thorax menggunakan teknik PA (*Posterior Anterior*) dan AP (*Anterior Posterior*).

1. *Posterior Anterior* (PA)

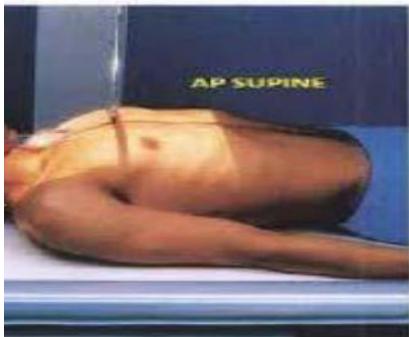
Posterior Anterior merupakan teknik pemeriksaan dengan posisi sumber sinar X masuk melalui posterior thorax dan keluar dari anterior thorax. Pasien diposisikan berdiri menghadap *bucky stand* (kaset vertikal) serta *Linea Midsternalis* sejajar garis tengah kaset. Kedua punggung tangan pasien diletakkan di atas panggul dan siku ditekan ke depan. (Andi, 2016)



Gambar 2. 12 Posisi Pasien pada Pemeriksaan Posterior Anterior (Andi, 2016)

2. *Anterior Posterior* (AP)

Anterior Posterior merupakan teknik pemeriksaan dengan posisi sumber sinar X masuk melalui anterior thorax dan keluar melalui posterior thorax. Posisi ini berkebalikan dengan *posterior anterior* (PA). Posisi ini digunakan pada pasien yang tidak bisa bangun dari tempat tidur atau pada bayi. Pada kondisi *posterior anterior* (PA), pasien diposisikan setengah duduk atau supine di atas meja pemeriksaan/*brandcare*. (Pratiwi, 2018)



Gambar 2. 13 Posisi pasien pada pemeriksaan Anterior Posterior (Andi, 2016)

B. Kajian Pustaka

Banyak tulisan yang berkaitan dengan topik pengukuran *Entrance Surface Dose*, diantaranya :

- a. Tesis yang ditulis oleh Ida Bagus Manuaba (Pasca Sarjana Fisika Kekhususan Fisika Medis Universitas Indonesia) yang berjudul Pengukuran Entrance Surface Dose (*ESD*) pada Pemeriksaan Dada Computed Radiography (CR) dengan Beberapa Metoda Pengukuran.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur nilai *entrance surface dose (ESD)* secara langsung menggunakan *thermoluminescent dosimeter (TLD)* pada jenis penyinaran dada *thorax (chest)*. Data diperoleh dari 71 pasien di tiga rumah sakit (A, B dan C) yang menggunakan sistem pencitraan *computed radiography (CR)* Kodak. *ESD* ditentukan pula dengan metoda kalkulasi berdasarkan beberapa parameter pada pengukuran secara langsung. Metoda pengukuran lainnya juga dilakukan dengan menggunakan TLD pada objek radiasi berupa *phantom* dada buatan sendiri. Penelitian ini diawali dengan beberapa pengukuran parameter seperti kVp, HVL dan *tube*

output untuk mengetahui performa pesawat sinar-X. Pengukuran *ESD* pada *phantom* dan penentuan *ESD* metoda kalkulasi dilakukan pada kondisi penyinaran yang dibuat sama dengan kondisi penyinaran untuk pengukuran *ESD* pasien. Hasil penelitian menunjukkan nilai *ESD thorax* (PA) rata-rata di tiga rumah sakit berbeda secara signifikan. Hasil penelitian *ESD thorax* (PA) mendapatkan nilai “faktor konversi metoda *phantom*” sebesar 0.874 sementara nilai *ESD* hasil perhitungan tidak berbeda signifikan dengan *ESD* pasien dengan penyimpangan maksimum sebesar $\pm 12\%$.

- b. Jurnal Fisika Unand yang ditulis oleh Nurhayati, Helfi Yanti, dkk (Jurusan Fisika Universitas Andalas, PTKMR BATAN Jakarta) dengan judul Pengukuran Dosis Radiasi dan Estimasi Efek Biologis yang Diterima Pasien Radiografi Gigi Anak Menggunakan TLD-100 pada Titik Pengukuran Mata dan Timus.

Penelitian ini bertujuan mengukur dosis radiasi yang diterima pasien anak dan estimasi efek biologis yang timbul akibat paparan radiasi. Pengambilan data dilakukan dengan pengukuran dosis radiasi pada 15 orang pasien anak usia 1-15

tahun. Pengukuran dosis radiasi dilakukan saat penyinaran intraoral, dengan teknik yang sama dalam waktu yang berbeda. Hasil pengukuran menunjukkan dosis radiasi rata-rata yang diterima pasien usia 1-5 tahun sebesar 0,031 mGy, pasien usia 5-10 tahun sebesar 0,063 mGy dan pasien usia 10-15 tahun sebesar 0,078 mGy. Mata menerima dosis radiasi rata-rata sebesar 0,074 mGy dan timus menerima dosis radiasi rata-rata sebesar 0,034 mGy. Berdasarkan pengukuran yang telah dilakukan dapat diperkirakan semua pasien akan menerima efek stokastik.

- c. Jurnal Unnes Physics yang ditulis oleh Rudi, Pratiwi, dkk (Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang) dengan judul Pengukuran Paparan Radiasi Pesawat Sinar X di Instalasi Radiodiagnostik untuk Proteksi Radiasi.

Pengukuran ini dilakukan pada tabung sumber sinar X dan di lingkungan ruang pesawat Radiodiagnostik RS dr Kariadi Semarang. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui paparan radiasi pada tabung dan lingkungan pesawat Sinar X Radiodiagnostik. Paparan tertinggi tabung sinar X berada di atas tabung sebesar 0,153 mR/jam,

sedangkan paparan tertinggi di lingkungan ruang pesawat sinarX berada di ruang operator CR (Computed Radiography) sebesar 0,031 mR/jam. Tingkat paparan tertinggi tersebut jauh dibawah 100 mR/jam (pada tabung) dan 0,25 mR/jam (untuk lingkungan) intensitas yang diperbolehkan.

- d. Skripsi yang ditulis oleh Hanna Marlina (Departemen Fisika) dengan judul Analisis Dosis Serap, Citra, dan Faktor Ekspose pada Rontgen *Thorax* Berdasarkan Usia dan Berat Badan dengan Menggunakan X-Ray Konvensional.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisa dosis serap radiasi foto *thorax* yang diterima oleh pasien anak-anak, remaja dan dewasa pada saat menjalani pemeriksaan radiodiagnostik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dosis serap dianalisis dengan menggunakan data dari tegangan (kV), arus (mA), dan waktu (s) yang diperoleh dari control ekspose, untuk mengukur citra/densitas gambaran dengan menggunakan alat densitometer. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pasien anak-anak, remaja dan dewasa menggunakan pada alat TLD di X-Ray konvensional melebihi batas dosis yang ditetapkan

kepala Bapeten. Maka dari itu X-Ray konvensional harus dilakukan uji kesesuaian alat atau dilakukan kalibrasi.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Pada penelitian ini diperoleh nilai *Incident Air Kerma (INAK)* melalui pengukuran secara langsung menggunakan detektor. Nilai yang didapat melalui pengukuran secara langsung kemudian dibandingkan dengan nilai *INAK* yang dihitung dengan metode kalkulasi. Untuk mendapat *Entrance Surface Dose (ESD)*, nilai *INAK* yang telah didapat dikoreksi dengan menggunakan nilai *backscatter factor* yang ditetapkan oleh IAEA.

B. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada 19 Januari 2020 di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang.

C. Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pesawat Sinar X

Pesawat Sinar X digunakan sebagai media utama untuk menghasilkan berkas sinar X.

Spesifikasi pesawat sinar X yang digunakan adalah sebagai berikut :

Merk : General Electric

Tipe : XR 6000

Nomor Seri : SOS15003

Tahun Pembuatan : 2015

Sistem Pencitraan : CR



Gambar 3. 1 Pesawat Sinar X GE XR 6000

2. *Solid Water Phantom*

Phantom digunakan sebagai media pengganti pasien. *Phantom* ini berukuran 25x25 cm dan mempunyai ketebalan sebesar 20 cm.



Gambar 3. 2 Solid Water Phantom

3. *Multipurpose detector* Piranha

Detektor digunakan sebagai alat untuk mengukur keluaran radiasi.

Serial Number : CB2-17050319

Manufacturer : RTI Group

Type : Piranha



Gambar 3. 3 *Multipurpose Detector* Piranha

4. Meteran

Meteran digunakan untuk mengukur jarak titik fokus ke detektor serta untuk mengukur tebal phantom

D. Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini terdiri dari dua bagian yaitu uji akurasi tegangan pesawat sinar X dan pengukuran *ESD*. Uji akurasi dilakukan untuk mengetahui akurasi kinerja pesawat sinar X. Pengukuran *Entrance Surface Dose (ESD)* dilakukan untuk mengetahui besarnya dosis yang diterima pasien. Pengukuran *ESD* dilakukan dengan metode pengukuran secara langsung dan metode kalkulasi dengan menggunakan persamaan 2.6.

a) Uji Akurasi Tegangan

1. Mempersiapkan dan mengatur peralatan *X ray*
2. Meletakkan detektor di meja pemeriksaan
3. Melakukan *setting* jarak fokus ke detektor sejauh 100 cm
4. Mengatur luas lapangan kolimasi sebesar 25x25 cm
5. Mengatur posisi agar *center* detektor berada pada titik pusat kolimasi sinar
6. Mengatur nilai masukan tegangan dan arus waktu penyinaran pada meja panel operasi

7. Melakukan penyinaran dengan menekan tombol *expose* pada meja panel operasi
8. Mengulangi langkah (1-7) untuk masing masing variasi nilai kV dan mAs.

b) Pengukuran *Incident Air Kerma (INAK)*

1. Mempersiapkan dan mengatur peralatan *X ray*
2. Memosisikan solid water phantom di atas meja pemeriksaan
3. Meletakkan detektor di atas phantom dan memastikan tidak ada kemiringan letak detektor terhadap *solid water phantom*
4. Melakukan setting jarak fokus ke detektor sejauh 100 cm
5. Mengatur luas lapangan kolimasi sebesar 25x25 cm
6. Mengatur posisi agar *center* detektor berada pada titik pusat kolimasi sinar
7. Mengatur nilai masukan tegangan dan arus waktu penyinaran pada meja panel operasi
8. Melakukan penyinaran dengan menekan tombol *ekspose* pada meja panel operasi
9. Mengulangi langkah (1-8) untuk masing masing variasi nilai kV dan mAs.

E. Teknik Analisis Data

1. Menentukan Nilai $Y(d)$

$Y(d)$ atau *tube output* pada jarak d merupakan fungsi kV (tegangan tabung) yang didapat dari hubungan persamaan power (*power function*), yaitu

$$y = cx^b$$

C dan b adalah konstanta, sedangkan b merupakan *tube output* pada jarak d masing masing tegangan input. (Irsal, Hidayanto, dan Arifin, 2014)

2. Menentukan Nilai *Incident Air Kerma (INAK)*

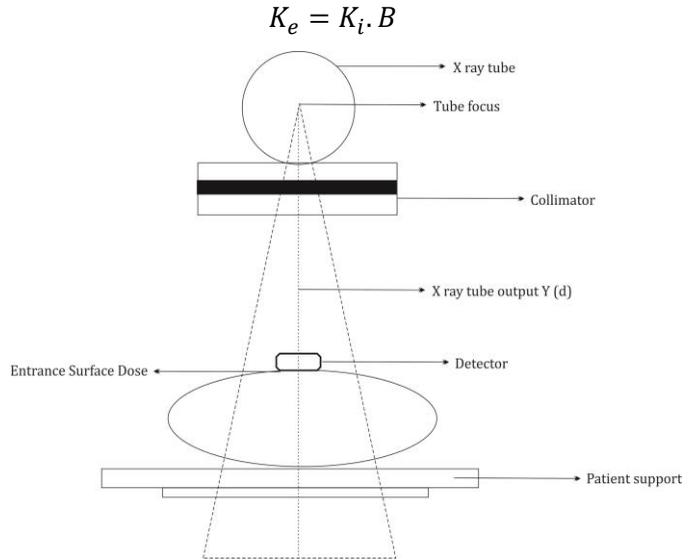
Incident Air Kerma (INAK) adalah kerma udara yang berasal dari penyinaran sinar X yang diukur pada jarak 100 cm dari titik fokus ke detektor tanpa memperhitungkan hamburan balik (*backscatter*). Nilai *Incident Air Kerma (INAK)* didapatkan dari persamaan sebagai berikut :

$$K_i = Y(d) P_{It} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2$$

3. Menentukan Nilai *Entrance Surface Dose (ESD)*

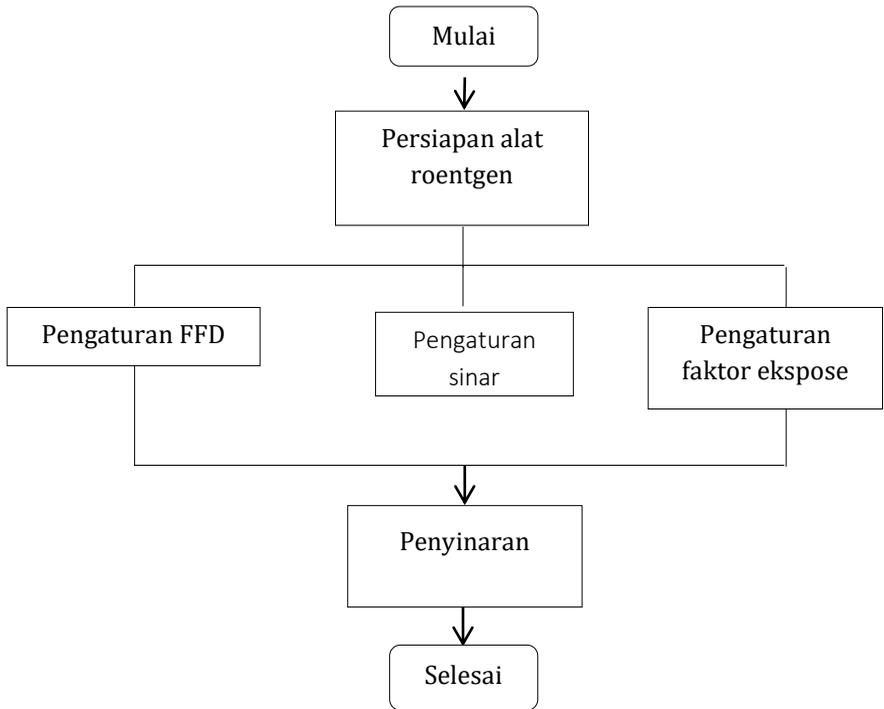
Entrance Surface Dose (ESD) adalah kerma udara yang diukur pada pusat sinar pada pertengahan posisi pasien atau phantom dengan

memperhitungkan radiasi hambur yang terjadi. *Entrance Surface Dose (ESD)* merupakan perkalian *INAK* dan faktor hamburan balik atau *backscatter factor*.



Gambar 3. 4 Bagan Pengukuran *INAK* dan *ESD*

F. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 5 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Akurasi Tegangan

Tegangan adalah parameter kualitas radiasi dan merupakan salah satu faktor yang dominan terhadap penentuan nilai keluaran radiasi yang dihasilkan. Sebelum pengukuran *incident air kerma (INAK)* dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pengukuran akurasi tegangan tabung (kV). Pengukuran akurasi tegangan tabung bertujuan untuk mengetahui nilai penyimpangan tegangan tabung yang terjadi pada mesin sinar X.

Hasil pengukuran akurasi tegangan tabung diperlihatkan pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Akurasi Tegangan Tabung

Kondisi Penyinaran		Hasil Pengukuran	Penyimpangan (%)
Arus dan Waktu (mAs)	Tegangan Tabung (kV)	Tegangan Tabung (kV)	
5	60	60.27	0.45 %
5	70	70.17	0.24 %
5	80	79.33	0.84 %
5	90	88.47	1.7 %

Tabel 4.1 memperlihatkan nilai tegangan yang diinput pada meja panel operasi, tegangan keluaran hasil pengukuran, serta nilai penyimpangan yang terjadi pada pengukuran akurasi tegangan tabung. Arus dan waktu penyinaran yang dipakai adalah konstan sebesar 5 mAs dengan nilai tegangan tabung yang diinput pada panel pengontrol sebesar 60, 70, 80, dan 90 kV. Nilai tersebut sesuai dengan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250/MENKES/SK/XII/2009 tentang Pedoman Kendali Mutu (*Quality Control*) Peralatan Radiodiagnostik. (MENKES RI, 2009)

Nilai penyimpangan yang terjadi masing masing sebesar 0,45%; 0,24%; 0,84%; dan 1,7%. Adanya perbedaan nilai tegangan tabung yang disetting dan tegangan tabung hasil pengukuran disebabkan karena beberapa faktor, yaitu pengaruh pengurangan efisiensi kerja alat serta kestabilan tegangan listrik yang digunakan. Pemakaian secara terus menerus akan menyebabkan berkurangnya performa mesin.

Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X Radiologi Diagnostik dan Intervensional menyebutkan bahwa setiap mesin pesawat sinar X harus dilakukan

kalibrasi setiap dua tahun sekali untuk menjamin hasil pengukuran agar sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.

Batas toleransi yang terdapat pada Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250 tahun 2009 tentang Pedoman Kendali Mutu (*Quality Control*) Peralatan Radiodiagnostik adalah sebesar 6%, sehingga hasil pengukuran masih dalam batas aman dan pesawat sinar X layak untuk digunakan. (MENKES RI, 2009)

B. Pengukuran *INAK* dan *ESD*

1. Pengukuran *Incident Air Kerma (INAK)*

International Atomic Energy Agency (IAEA) telah merekomendasikan dua metode yang dapat dilakukan untuk mengukur *incident air kerma (INAK)* dan *entrance surface dose (ESD)*, yaitu dengan metode langsung (*direct*) dan metode tidak langsung (*indirect*). (IAEA, 2007)

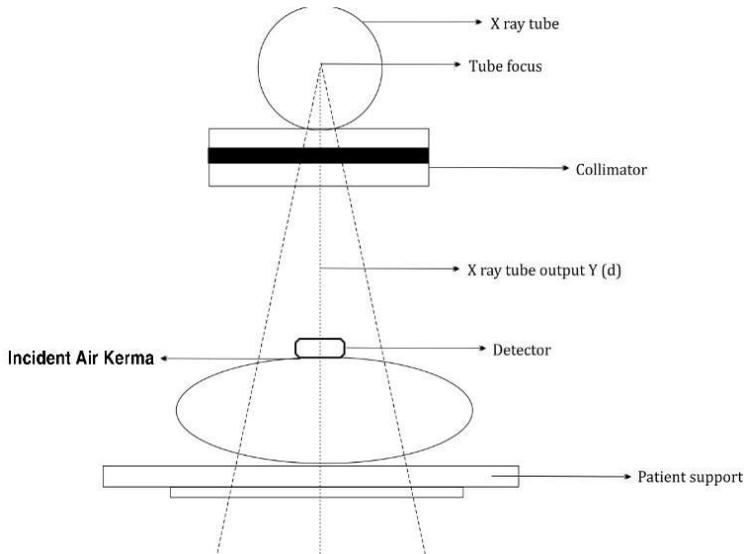
A. Metode Langsung (*Direct*)

Pesawat sinar X yang digunakan adalah General Electric XR 6000 dengan total filtrasi 1,3 mmAl. Jarak fokus ke detektor diatur sejauh 100 cm. Pengukuran dilakukan menggunakan phantom sebagai media

pengganti pasien, yaitu phantom berjenis *solid water phantom* dengan luas lapangan 25 x 25 cm dan ketebalan 20 cm.

Metode pengukuran *incident air kerma* (INAK) secara langsung dilakukan dengan menggunakan detektor dan phantom. Penelitian ini menggunakan *multipurpose detector piranha* sebagai detektor dan *solid water phantom* sebagai phantom untuk menggantikan pasien. Pada saat pengukuran, detektor *piranha* diletakkan di tengah lapangan penyinaran dan tidak boleh ada kemiringan terhadap meja pemeriksaan.

Diagram pengukuran *INAK* diperlihatkan pada gambar 4.1 berikut :



Gambar 4. 1 Bagan Pengukuran *INAK*

Pengukuran *incident air kerma* dilakukan pada *range* tegangan tabung sebesar 50-80 kV dengan arus waktu tabung yang divariasikan sebanyak tiga kali, yaitu 2 mAs, 5 mAs, dan 8 mAs. Pengambilan data dilakukan hanya satu kali untuk masing masing penyinaran. Hal ini disebabkan karena hasil nilai *INAK* yang didapat pada detektor merupakan nilai mutlak, karena tegangan tabung dan arus waktu penyinaran telah

ditentukan nilainya di meja panel operasi, sehingga apabila dilakukan pengulangan penyinaran akan menghasilkan nilai yang sama.

Pengukuran pertama menggunakan nilai tegangan tabung 50-80 kV dan arus waktu konstan sebesar 2 mAs menghasilkan nilai *incident air kerma (INAK)* masing masing sebesar 0,027; 0,043; 0,061; dan 0,081 mGy.

Data hasil pengukuran ditampilkan pada tabel 4.2 berikut :

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran *INAK* pada Arus Waktu 2 mAs

No	Tube voltage (kV)	Exposure (μ Gy)	HVL (mm Al)	Exposure (mGy)
1	48,90	27,36	1,87	0,02736
2	60,51	42,73	2,45	0,0428
3	70,34	60,75	3,00	0,0608
4	79,46	80,95	3,57	0,0809

Pada pengukuran dengan variasi arus waktu penyinaran 5 mAs dan 8 mAs juga menghasilkan nilai *incident air kerma (INAK)* yang meningkat seiring dengan peningkatan tegangan tabung dan arus waktu yang digunakan. Pengukuran *INAK* dengan tegangan tabung 50-80 kV dan arus waktu tabung konstan 5 mAs menghasilkan nilai *incident air kerma (INAK)* masing masing sebesar 0,069; 0,12; 0,151; dan 0,206 mGy.

Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran *INAK* pada Arus Waktu 5 mAs

No	Tube voltage (kV)	Exposure (μ Gy)	HVL (mm Al)	Exposure (mGy)
1	50,41	69,74	2,01	0,0697
2	60,17	109,3	2,46	0,0109
3	70,34	154,1	2,98	0,0154
4	79,57	205,7	3,53	0,0206

Sedangkan pada pengukuran dengan variasi tegangan tabung 50-80 kv serta arus waktu penyinaran konstan sebesar 8 mAs menghasilkan nilai *incident air kerma (INAK)* masing masing sebesar 0,112; 0,176; 0,248; dan 0,331 mGy.

Tabel 4. 4 Hasil Pengukuran *INAK* pada Arus Waktu 8 mAs

No	Tube voltage (kV)	Exposure (μ Gy)	HVL (mm Al)	Exposure (mGy)
1	50,18	111,8	2,05	0,0112
2	60,19	175,5	2,47	0,0176
3	70,31	247,6	2,99	0,0248
4	79,80	331,2	3,54	0,0331

Hasil pengukuran pada masing masing variasi arus dan waktu penyinaran, menunjukkan bahwa semakin besar tegangan yang dipakai maka semakin besar pula *INAK* yang dihasilkan. Semakin tinggi tegangan yang diberikan, maka intensitas dan energi sinar X meningkat. Jika energi sinar X meningkat, maka kemampuannya untuk menembus suatu bahan akan meningkat, sehingga intensitas sinar X yang sampai ke film akan lebih tinggi. Selain itu, arus dan waktu penyinaran juga mempengaruhi nilai *INAK* yang dihasilkan. Semakin besar arus yang diberikan antara katoda dan anoda, maka semakin banyak elektron yang bergerak dari katoda ke anoda. Dengan meningkatnya elektron maka akan menghasilkan sinar X banyak pula, sehingga akan meningkatkan radiasi yang diterima oleh film.

B. Metode Tidak Langsung (*Indirect*)

Metode pengukuran tidak langsung (*indirect*) dilakukan dengan kalkulasi atau perhitungan menggunakan persamaan 2.4, yaitu :

$$K_i = Y(d) P_{lt} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2 \quad (2.4)$$

Dengan

K_i : *Incident Surface Air Kerma (mGy)*

$Y(d)$: *X ray tube output at a distance/ tube output pada jarak d (mGy/mAs)*

P_{lt} : *Tube loading (mAs)*

d : *Jarak fokus ke detektor (m)*

D_{FTD} : *Tube focus patient support distance / Jarak fokus ke meja pemeriksaan (m)*

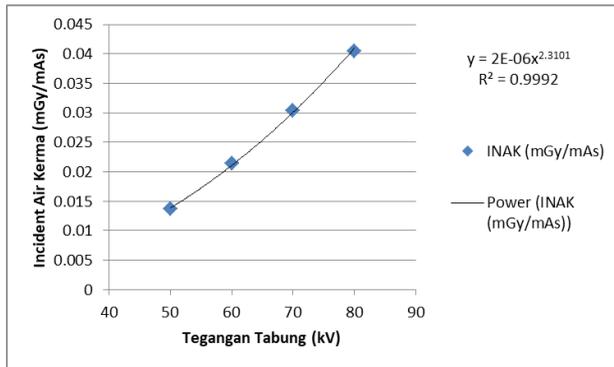
tp : *Patient thickness/ Tebal objek radiasi (m)*

$Y(d)$ atau *tube output* pada jarak d merupakan fungsi kV (tegangan tabung) yang didapat dari hubungan persamaan power (*power function*), yaitu

$$y = cx^b$$

C dan b adalah konstanta, sedangkan x merupakan *tube output* masing masing tegangan input pada jarak d . (Irsal, Hidayanto, dan Arifin, 2014)

Grafik persamaan *power function* yang menyatakan hubungan antara tegangan tabung dengan nilai *incident air kerma* pada pengukuran tegangan tabung 50-80 kV dan arus waktu konstan 2 mAs diperlihatkan pada gambar 4.2 berikut :



Gambar 4. 2. Grafik Persamaan Power Function Tegangan Tabung pada Arus Waktu 2 mAs

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa nilai *incident air kerma (INAK)* naik secara spesifik terhadap kenaikan nilai tegangan tabung yang digunakan dan sesuai dengan persamaan garis :

$$y = 2 \times 10^{-6} x^{2,31008}$$

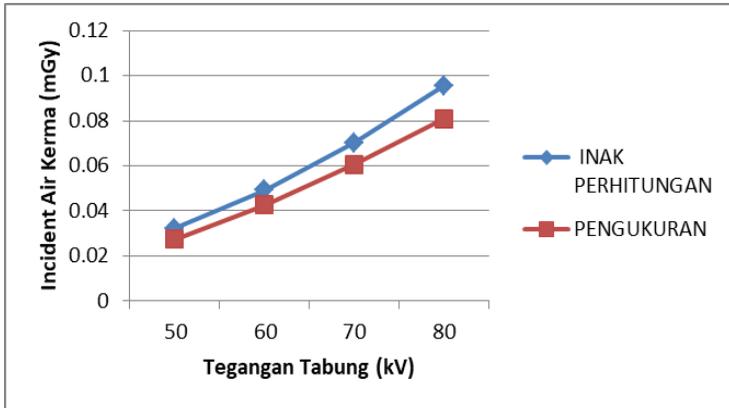
Dengan nilai koefisien korelasi sebesar :

$$R^2 = 0,9992$$

Koefisien korelasi merupakan nilai yang menyatakan kekuatan (kuat atau tidaknya) hubungan linier antar dua variabel (Muhson, 2013). Dengan nilai koefisien korelasi yang mendekati nilai 1 maka memperkuat hubungan linearitas antara tegangan tabung yang digunakan dengan *incident air kerma* (*INAK*) yang didapatkan.

Hasil kalkulasi *incident air kerma* (*INAK*) menggunakan persamaan 2.4 pada tegangan tabung 50-80 kV dan arus waktu penyinaran konstan 2 mAs masing masing sebesar 0,032; 0,049; 0,07; dan 0,096 mGy.

Nilai *incident air kerma* (*INAK*) hasil pengukuran dan perhitungan menggunakan persamaan 2.4 cenderung memiliki selisih nilai yang diperlihatkan pada gambar 4.3 berikut:



Gambar 4. 3 Grafik Hasil Pengukuran dan Perhitungan Incident Air Kerma pada 2 mAs

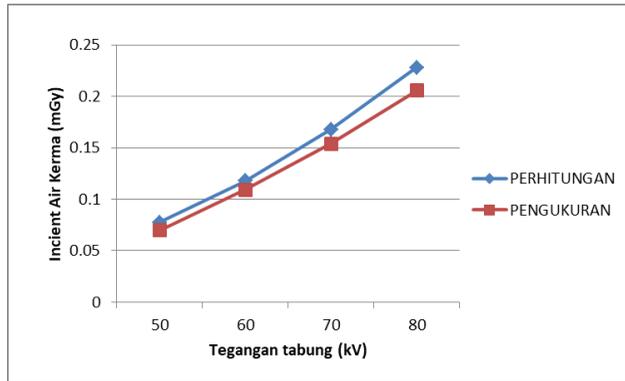
Gambar 4.3 memperlihatkan adanya perbedaan nilai *incident air kerma* (*INAK*) secara pengukuran dan kalkulasi. Hal ini disebabkan karena beberapa hal. Pada pengukuran secara langsung (*indirect*) menggunakan detektor, posisi detektor akan sangat berpengaruh terhadap nilai *incident air kerma* (*INAK*) yang dihasilkan. Detektor harus diletakkan di tengah pusat sinar dan tidak boleh terdapat kemiringan, sehingga akan didapat nilai

incident air kerma (INAK) yang akurat. Sedangkan pada pengukuran tidak langsung menggunakan kalkulasi atau perhitungan dengan persamaan 2.4 dipengaruhi oleh keakuratan dan hasil uji fungsi pesawat sinar X.

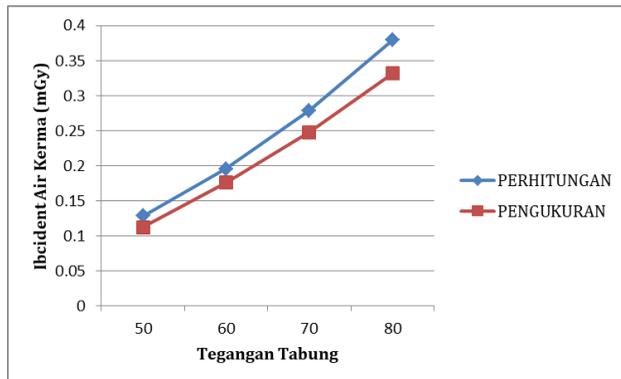
Hasil kalkulasi *incident air kerma (INAK)* menggunakan persamaan 2.4 pada tegangan tabung 50-80 kV dan arus waktu penyinaran konstan 5 mAs masing masing sebesar 0,077; 0,118; 0,168; dan 0,228 mGy. Hasil kalkulasi *incident air kerma (INAK)* pada tegangan tabung 50-80 kV dan arus waktu penyinaran konstan 8 mAs masing masing sebesar 0,128; 0,195; 0,278; dan 0,379 mGy.

Masing masing perbedaan nilai akan ditampilkan pada gambar 4.4 dan 4.5 sebagai berikut

:



Gambar 4. 4. Grafik Hasil Pengukuran dan Perhitungan *Incident Air Kerma* pada 5 mAs



Gambar 4. 5 Grafik Hasil Pengukuran dan Perhitungan *Incident Air Kerma* pada 8 mAs

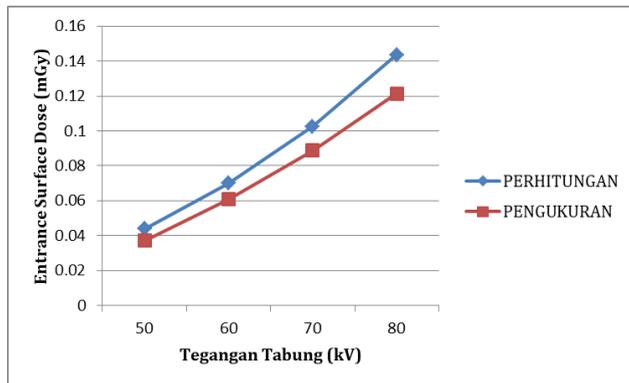
Adanya perbedaan nilai dikarenakan posisi detektor yang tidak presisi sehingga mengakibatkan nilai INAK secara pengukuran berbeda dengan perhitungan.

2. Pengukuran *Entrance Surface Dose (ESD)*

Entrance Surface Dose (ESD) adalah kerma udara yang diukur pada pusat sinar pada pertengahan posisi pasien atau phantom dengan memperhitungkan radiasi hambur yang terjadi. Perhitungan *ESD* menggunakan persamaan 2.6 dan menggunakan nilai *backscatter factor* sesuai rekomendasi *Technical Report Series (TRS) No. 457 "Dosimetry in Diagnostic Radiology An International Code of Practice"*. Nilai *backscatter factor* bergantung pada nilai tegangan yang digunakan, filtrasi, luas lapangan penyinaran, serta jenis phantom yang digunakan. Semakin tinggi tegangan tabung maka semakin besar nilai *backscatter factor* yang digunakan. (IAEA, 2007)

Nilai pengukuran *entrance surface dose (ESD)* yang didapat pada tegangan tabung 50-80 kV dan arus waktu penyinaran 2 mAs masing masing sebesar 0,037; 0,061; 0,089; dan 1,121 mGy. Nilai

entrance surface dose (ESD) secara perhitungan adalah masing masing sebesar 0,0439; 0,0699; 0,103; dan 0,144 mGy. Nilai *entrance surface dose (ESD)* hasil pengukuran dan perhitungan menggunakan persamaan 2.6 cenderung memiliki selisih nilai yang diperlihatkan pada gambar 4.6 berikut:

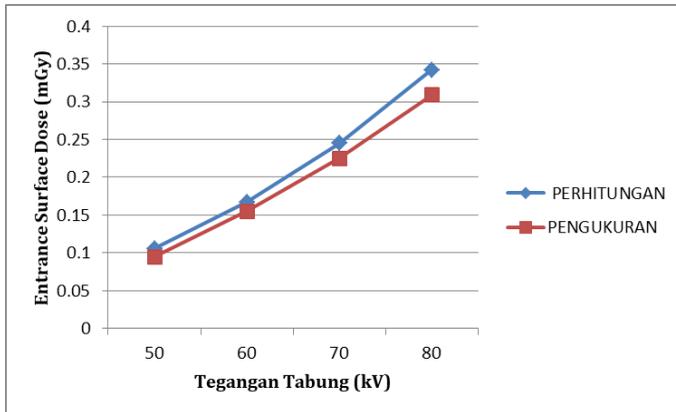


Gambar 4. 6 Grafik Hasil Pengukuran dan Perhitungan *Entrance Surface Dose (ESD)* pada 2 mAs

Pengukuran *entrance surface dose (ESD)* pada tegangan 50-80 kV dengan variasi arus waktu penyinaran 5 mAs menghasilkan nilai *ESD* masing masing sebesar 0,095; 0,156; 0,225; dan 0,309 mGy. Hasil perhitungan *entrance surface dose (ESD)*

menggunakan persamaan 2.6 masing masing sebesar 0,105; 0,167; 0,245; dan 0,342 mGy.

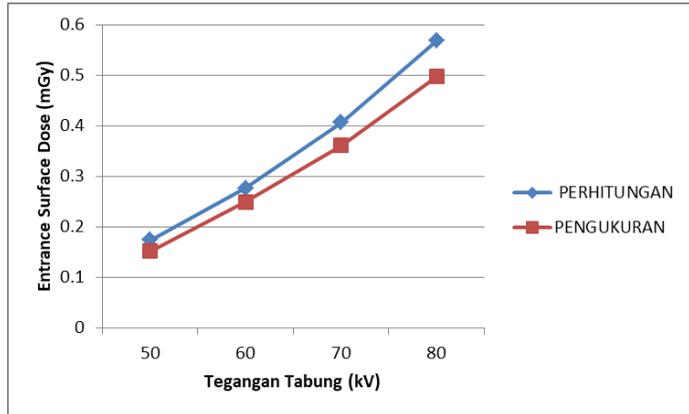
Selisih nilai *ESD* hasil perhitungan dan pengukuran ditampilkan pada gambar 4.7 berikut :



Gambar 4. 7 Grafik Hasil Pengukuran dan Perhitungan *Entrance Surface Dose (ESD)* pada 5 mAs

Pengukuran *entrance surface dose (ESD)* pada tegangan 50-80 kV dengan variasi arus waktu penyinaran 8 mAs menghasilkan nilai *ESD* masing masing sebesar 0,152; 0,249; 0,361; dan 0,497 mGy. Sedangkan hasil perhitungan *ESD* menggunakan persamaan 2.6 masing masing sebesar 0,174; 0,277; 0,406; dan 0,568 mGy.

Selisih perbedaan nilai keduanya ditampilkan pada gambar 4.8 berikut :



Gambar 4. 8 Grafik Hasil Pengukuran dan Perhitungan Entrance Surface Dose (*ESD*) pada 8 mAs

Perbedaan nilai antara hasil pengukuran dan perhitungan *ESD* disebabkan karena adanya perbedaan nilai *INAK*. Pada saat pengukuran, posisi detektor yang tidak presisi mengakibatkan nilai *INAK* secara pengukuran berbeda dengan perhitungan. Hasil uji fungsi pesawat sinar X juga mempengaruhi nilai *ESD* yang dihasilkan.

Keseluruhan nilai *entrance surface dose* (*ESD*) yang didapat dari ketiga pengukuran tersebut dapat dinyatakan bahwa nilai tersebut dibawah nilai panduan dosis pada Keputusan Kepala Badan

Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 01-P /Ka-BAPETEN/ I-03 tentang Pedoman Dosis Pasien Radiodiagnostik yang menyebutkan bahwa nilai panduan dosis untuk thorax AP adalah sebesar 0,6 mGy, sehingga dapat disimpulkan bahwa ketiga pengukuran yang dilakukan di Instalasi Radiologi Sultan Agung Semarang menghasilkan nilai *incident air kerma (INAK)* dan *entrance surface dose (ESD)* yang aman bagi pasien.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

1. *Entrance surface dose (ESD)* yang dihasilkan pada arus waktu penyinaran 2 mAs masing masing sebesar 0,037; 0,061; 0,089; dan 1,121 mGy. Pada arus waktu 5 mAs menghasilkan nilai *ESD* sebesar 0,095; 0,156; 0,225; dan 0,309 mGy. Sedangkan pada arus waktu 8 mAs menghasilkan nilai *ESD* sebesar 0,152; 0,249; 0,361; dan 0,497 mGy.
2. Pengukuran yang dilakukan di Instalasi Radiologi Sultan Agung Semarang menghasilkan nilai *INAK* dan *ESD* dibawah nilai batas dosis yang ditetapkan oleh BAPETEN sehingga aman bagi pasien.

B. Saran

Saran yang dapat disampaikan dari hasil penulisan ini yaitu operator sebaiknya mengupayakan agar pasien menerima dosis radiasi yang serendah rendahnya sesuai dengan asas optimasi atau yang dikenal dengan istilah *as low as reasonably achievable* (ALARA), sehingga proteksi radiasi di Instalasi

Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung lebih terjamin.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, M. 2000. *Dasar Dasar Proteksi Radiasi*. Jakarta: PT Rineka Cipta.
- Bapeten. 1998. *Keputusan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 01/Ka-Bapeten/V-99 tentang Ketentuan Keselamatan Kerja terhadap Radiasi*. Jakarta: Bapeten
- Bapeten. 2011. *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 8 Tahun 2011 tentang Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*. Jakarta: Bapeten
- Bapeten. 2015. *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 15 Tahun 2015 tentang Keselamatan Radiasi dalam Produksi Pesawat Sinar X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*. Jakarta: Bapeten
- Bapeten. 2018. *Peraturan Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 2 Tahun 2018 tentang Uji Kesesuaian Pesawat Sinar X Radiologi Diagnostik dan Intervensional*. Jakarta: Bapeten
- Bapeten. 2019. *Pedoman Teknis Penyusunan Tingkat Panduan Radiodiagnostik atau Diagnostic Reference Level (DRL) Nasional*. Jakarta: Bapeten
- C Bushong,. 2017. *Radiologic Science for Technologists*. Eleventh edn. Canada: Elsevier
- Cember, H. 1983. *Pengantar Fisika Kesehatan*. 2nd edn. Terjemahan A. Toekiman. Semarang: IKIP Semarang Press.

- Dianasari, T. 2016. *Gambaran Penerapan Manajemen Keselamatan Radiasi dalam Penggunaan Pesawat Sinar X di Instalasi Radiologi RSUD Ungaran Kabupaten Semarang Tahun 2016*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang
- Hasmawati. 2016. *Analisis Dosis Paparan Radiasi Sinar X di Unit Radiologi RS Bhayangkara Makassar*. Skripsi. Makassar. UIN Alauddin Makassar
- Hiswara, E. 2015. *Buku Pintar Proteksi dan Keselamatan Radiasi di Rumah Sakit*. Jakarta: Batan Press
- IAEA. 2007. *Dosimetry in diagnostic Radiology: An International Code of Practice*. Vienna: International Atomic Energy Agency
- ICRP. 2005. *Patient Dosimetry for X Rays used in Medical Imaging*. Vol 5. International Commission on Radiation Protection.
- ICRP. 2007. *Recomendations of the International Commission on Radiological Protection*. Vol 7. International Commission on Radiation Protection.
- J. Bushberg, J. Seibert, E. L. and Boone, J. 2002. *The Essential Physics for Medical Imaging Second Edition*. 2nd edn. Edited by J. John. USA: Lippincott Williams Wilkins.
- Khan, F. 2014. *The Physics of Radiation Therapy*. 5th edn. Philadelphia USA: Lippincott Williams Wilkins
- Martina, D., Susilo dan Sunarno. 2015. *Uji Kolimator pada Pesawat Sinar X Merk/ Type MEDNIF/SF-100 BY di*

Laboratorium Fisika Medik Menggunakan Unit RMI. MIPA. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang

MENKES RI. 2009. *Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1250/MENKES/SK/XII/2009 tentang Pedoman Kendali Mutu (Quality Control) Peralatan Radiodiagnostik*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia

Musfira, A. 2016. *Analisis Perbandingan Dosis Serap Radiasi Foto Thorax pada Pasien dengan berbagai Tingkatan Umur*. Skripsi. Makassar: UIN Alauddin Makassar

Podgorsak, E. 2005. *Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students*. Edited by E. Podgorsak. Austria: International Atomic Energi Agency.

Podgorsak, E. 2009. *Radiation Physics for Medical Physicists*. 2nd edn. Edited by E. Greenbaum. London: Springer.

Pratiwi, H. M. 2018. *Analisis Dosis Serap, Citra, dan Faktor Ekspose pada Rontgen Thorax Berdasarkan Usia dan Berat Badan dengan Menggunakan X-Ray Konvensional*. Skripsi. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Supriyadi. 2008. *Evaluasi Apoptosis Sel Odontoblas Akibat Paparan Radiasi Ionisasi*. Indonesian Journal of Dentistry. 15(1). 71-76

Yulianti, S. 2014. *Penentuan Faktor Eksposi Mesin Radiografi Konvensional di Laboratorium Fisika Medik UNNES*. Skripsi. Semarang: Universitas Negeri Semarang

Lampiran 1. Surat Penunjukan Pembimbing I



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Prof. Dr. Hamka (Kampus II) Ngaliyan Semarang Telp.024-76433366 Fax.7615387

Nomor : B-3148/Un.10.8/J2/PP.00.9/08/2019

Semarang, 16 Agustus 2019

Lamp : -

Hal : Penunjukan Pembimbing Skripsi

Kepada Yth.
Edi Daenuri Anwar, M.Si
di tempat

Assalamualaikum Wr. Wb.

Berdasarkan hasil pembahasan usulan judul penelitian di Jurusan Fisika, maka Fakultas Sains dan Teknologi menyetujui judul skripsi mahasiswa.

Nama : Siva Tahula Haba

NIM : 1508026010

Judul : *Analisis Incident Air Kerma (INAK) dan Entrance Surfase Dose (ESD) Thorax pada Pesawat Sinar X di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang*

Dan menunjuk Bapak/ Ibu

1. Edi Daenuri Anwar, M.Si sebagai Pembimbing I
2. Arsini, M.Sc sebagai Pembimbing II

Demikian pemberitahuan ini kami sampaikan, atas perkenan dan kerjasama Bapak/Ibu kami ucapkan terima kasih.

Wassalamualaikum Wr. Wb

a.n. Dekan
Keturunan Fisika



Agus Sudarmanto, M.Si.
197708232009121001

Tembusan:

1. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo (sebagai laporan)
2. Mahasiswa yang bersangkutan
3. Arsip

Lampiran 2. Surat Penunjukan Pembimbing II



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Prof. Dr. Hamka (Kampus II) Ngaliyan Semarang Telp.024-76433366 Fax.7615387

Nomor : B-3148/Un.10.8/T2/PP.00.9/08/2019

Semarang, 16 Agustus 2019

Lamp : -

Hal : Penunjukan Pembimbing Skripsi

Kepada Yth.
Arsini, M.Sc
di tempat

Assalamualaikum Wr. Wb.

Berdasarkan hasil pembahasan usulan judul penelitian di Jurusan Fisika, maka Fakultas Sains dan Teknologi menyetujui judul skripsi mahasiswa.

Nama : Siva Tahula Haba

NIM : 1508026010

Judul : *Analisis Incident Air Kerma (INAK) dan Entrance Surfase Dose (ESD) Thorax pada Pesawat Sinar X di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang*

Dan menunjuk Bapak/ Ibu

1. Edi Daenuri Anwar, M.Si sebagai Pembimbing I
2. Arsini, M.Sc sebagai Pembimbing II

Demikian pemberitahuan ini kami sampaikan, atas perkenan dan kerjasama Bapak/Ibu kami ucapkan terima kasih.

Wassalamualaikum Wr. Wb

a.n. Dekan
Kepala Jurusan Fisika



Agus Sudarmanto, M.Si.
197708232009121001

Tembusan:

1. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Walisongo (sebagai laporan)
2. Mahasiswa yang bersangkutan
3. Arsip

Lampiran 3. Surat Ijin Penelitian



Nomor : 2076/B/RSI-SA/VIII/2019
Lamp : -
Hal : Ijin Penelitian

Semarang, 21 Agustus 2019 M
20 Dzul Hijjah 1440 H

Kepada Yth
Dekan
Fakultas Sains Dan Teknologi
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
Di
Semarang

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Teriring rasa syukur semoga limpahan kasih sayang Allah SWT menyertai didalam melaksanakan tugas dan pengabdian kita. Aamiin.

Menjawab surat wakil dekan bidang akademik dan kelembagaan nomor : B.3159/Un.10.8/D1/TL.00/08/2019 perihal permohonan penelitian bagi mahasiswa UIN Walisongo Semarang di Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang, maka dengan ini kami sampaikan bahwa Direktur Pendidikan dan Penunjang Medis RSI Sultan Agung memberikan ijin mahasiswa berikut :

Nama	: Siva Tahula Haba.
NIM	: 1508026010
Fakultas	: Fakultas Sains Dan Teknologi.
Jurusan	: Fisika.
Universitas	: Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang
Judul Penelitian	: Analisis <i>Incident Air Kerma</i> (INAK) dan <i>Entrance Surface Dose</i> (ESD) Thorax pada Pesawat Sinar X di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang.
Pembimbing	: Edi Daenuri Anwar, M.Si. (Pembimbing I). Arsini, M.Sc. (Pembimbing II).

Untuk melakukan penelitian di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian, atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Billahittaufiq wal hidayah
Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

YAYASAN BADAN WAKAF SULTAN AGUNG SEMARANG
RSI SULTAN AGUNG SEMARANG

ISLAMIC TEACHING HOSPITAL
Muhammad Fasitarsari, M. Sc, Sp. GK.
Dekan Pendidikan & Penunjang Medis

Tembusan

1. Kepala Instalasi Radiologi
2. Penjab Radiologi.
3. Arsip.

Lampiran 4. Surat Selesai Penelitian



SURAT KETERANGAN
SELESAI PENELITIAN
NOMOR : 60/B/RSI-SA/IV/2020

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : dr. Minidian Fasitasari, M. Sc, Sp. GK
Jabatan : Direktur Pendidikan & Penunjang Medik

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa:

Nama : Siva Tahula Haba.
NIM : 1508026010
Fakultas : Fakultas Sains Dan Teknologi.
Jurusan : Fisika.
Universitas : Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang

Telah melaksanakan Penelitian di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang pada tanggal 21 Agustus 2019 sampai dengan 14 April 2020 dalam rangka penyusunan skripsi dengan judul Analisis *Incident Air Kerma* (INAK) dan *Entrance Surface Dose* (ESD) Thorax pada Pesawat Sinar X di Instalasi Radiologi Rumah Sakit Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 14 April 2020 M
20 Sya'ban 1441 H



Minidian Fasitasari, M. Sc, Sp. GK,
Direktur Pendidikan dan Penunjang Medik

Lampiran 5. Hasil Pengukuran Akurasi Tegangan

Print date: 1/19/2020

Radiography

Test date: 1/19/2020

Measurements

No	Tube voltg (kV)	Exposure time (ms)	Exposure (μGy)	Exposure rate (mGy/s)	HVL (mm Al)	Total filtr. (mm Al)
1	60.27	10.05	109.3	10.87	2.45	3.4
2	70.17	10.06	154.1	15.32	2.98	3.7
3	79.33	10.05	205.8	20.48	3.53	4.0
4	88.47	10.03	263.7	26.29	4.06	4.2

Test equipment used

Meter(s): Piranha S/N CB2-15080317
Detector(s): MPD S/N MP2-15080319
1/19/2020 9:44:29 AM 1 (1)

Lampiran 6. Hasil Pengukuran *Incident Air Kerma (INAK)* pada Tegangan Tabung 50-80 kV dan arus waktu 2 mAs

Print date: 1/19/2020

Radiography

Test date: 1/19/2020

Measurements

No	Tube voltg (kV)	Exposure time (ms)	Exposure (μGy)	Exposure rate (mGy/s)	HVL (mm Al)	Total filtr. (mm Al)
1	48.90	10.02	27.36	2.729	1.87	---
2	60.51	10.02	42.73	4.262	2.45	3.4
3	70.34	10.03	60.75	6.054	3.00	3.7
4	79.46	10.05	80.95	8.053	3.57	4.1

Test equipment used

Meter(s): Piranha S/N CB2-15080317
Detector(s): MPD S/N MP2-15080319
1/19/2020 9:44:29 AM 1 (1)

Lampiran 7. Hasil Pengukuran *Incident Air Kerma (INAK)* pada Tegangan Tabung 50-80 kV dan arus waktu 5 mAs

Print date: 1/19/2020

Radiography

Test date: 1/19/2020

Measurements

No	Tube voltg (kV)	Exposure time (ms)	Exposure (μGy)	Exposure rate (mGy/s)	HVL (mm Al)	Total filtr. (mm Al)
1	50.4 1	10.05	69.74	6.938	2.01	3.2
2	60.1 7	10.06	109.3	10.86	2.46	3.4
3	70.3 4	10.05	154.1	15.32	2.98	3.7
4	79.5 7	10.03	205.7	20.50	3.53	4.0

Test equipment used

Meter(s): Piranha S/N CB2-15080317

Detector(s): MPD S/N MP2-15080319

1/19/2020 9:44:29 AM 1 (1)

Lampiran 8. Hasil Pengukuran *Incident Air Kerma (INAK)* pada Tegangan Tabung 50-80 kV dan arus waktu 8 mAs

Print date: 1/19/2020

Radiography

Test date: 1/19/2020

Measurements

No	Tube voltage (kV)	Exposure time (ms)	Exposure (μ Gy)	Exposure rate (mGy/s)	HVL (mm Al)	Total filtr. (mm Al)
1	50.18	16.07	111.8	6.957	2.05	3.4
2	60.19	15.56	175.5	11.28	2.47	3.4
3	70.31	15.55	247.6	15.92	2.99	3.7
4	79.80	16.08	331.2	20.60	3.54	4.0

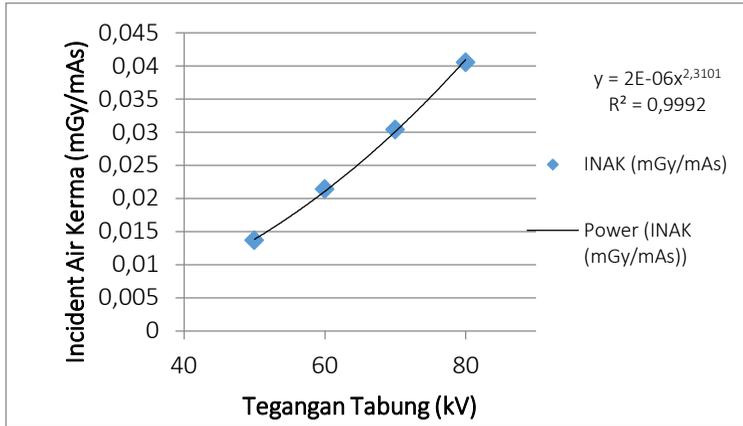
Test equipment used

Meter(s): Piranha S/N CB2-15080317

Detector(s): MPD S/N MP2-15080319

1/19/2020 9:44:29 AM 1 (1)

Lampiran 9. Hasil Kalkulasi Incident Air Kerma (INAK) pada Tegangan Tabung 50-80 kV dan arus waktu 2 mAs



1. Tegangan 50 kV

$$K_i = Y(d) P_{lt} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2$$

$$K_i = 2 \times 10^{-6} \times 50^{2,3101} \times 2 \left(\frac{1}{1,22 - 0,2} \right)^2$$

$$K_i = 0,0168 \times 2 \times 0,9604$$

$$K_i = 0,0323 \text{ mGy}$$

$$K_e = K_i \cdot B$$

$$K_e = 0,0323 \times 1,36$$

$$K_e = 0,0439 \text{ mGy}$$

2. Tegangan 60 kV

$$K_i = Y(d) P_{lt} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2$$

$$K_i = 2 \times 10^{-6} \times 60^{2,3101} \times 2 \left(\frac{1}{1,22 - 0,2} \right)^2$$

$$K_i = 0,0256 \times 2 \times 0,9604$$

$$K_i = 0,0492 \text{ mGy}$$

$$K_e = K_i \cdot B$$

$$K_e = 0,0492 \times 1,42$$

$$K_e = 0,0699 \text{ mGy}$$

3. Tegangan 70 kV

$$K_i = Y(d) P_{lt} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2$$

$$K_i = 2 \times 10^{-6} \times 70^{2,3101} \times 2 \left(\frac{1}{1,22 - 0,2} \right)^2$$

$$K_i = 0,0366 \times 2 \times 0,9604$$

$$K_i = 0,0703 \text{ mGy}$$

$$K_e = K_i \cdot B$$

$$K_e = 0,0492 \times 1,46$$

$$K_e = 0,0718 \text{ mGy}$$

4. Tegangan 80 kV

$$K_i = Y(d) P_{lt} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2$$

$$K_i = 2 \times 10^{-6} \times 80^{2,3101} \times 2 \left(\frac{1}{1,22 - 0,2} \right)^2$$

$$K_i = 0,0498 \times 2 \times 0,9604$$

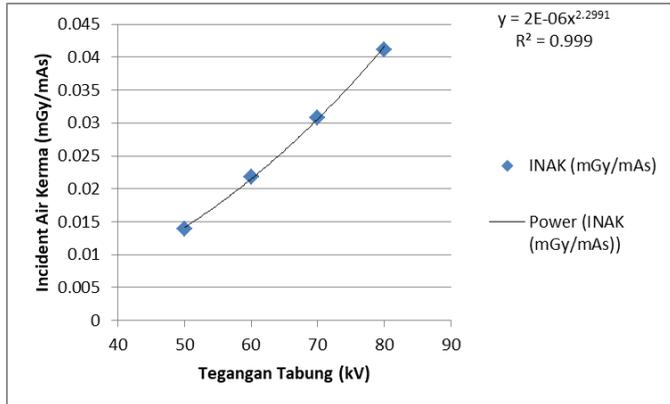
$$K_i = 0,0957 \text{ mGy}$$

$$K_e = K_i \cdot B$$

$$K_e = 0,0492 \times 1,5$$

$$K_e = 0,0738 \text{ mGy}$$

Lampiran 10. Hasil Kalkulasi *Incident Air Kerma (INAK)* pada Tegangan Tabung 50-80 kV dan arus waktu 5 mAs



1. Tegangan 50 kV

$$K_i = Y(d) P_{lt} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2$$

$$K_i = 2 \times 10^{-6} \times 50^{2,2991} \times 5 \left(\frac{1}{1,22 - 0,2} \right)^2$$

$$K_i = 0,0161 \times 5 \times 0,9604$$

$$K_i = 0,0774 \text{ mGy}$$

$$K_e = K_i \cdot B$$

$$K_e = 0,0774 \times 1,36$$

$$K_e = 0,1053 \text{ mGy}$$

2. Tegangan 60 kV

$$K_i = Y(d) P_{lt} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2$$

$$K_i = 2 \times 10^{-6} \times 60^{2,2991} \times 5 \left(\frac{1}{1,22 - 0,2} \right)^2$$

$$K_i = 0,0245 \times 5 \times 0,9604$$

$$K_i = 0,1177 \text{ mGy}$$

$$K_e = K_i \cdot B$$

$$K_e = 0,1177 \times 1,42$$

$$K_e = 0,1671 \text{ mGy}$$

3. Tegangan 70 kV

$$K_i = Y(d) P_{lt} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2$$

$$K_i = 2 \times 10^{-6} \times 70^{2,2991} \times 5 \left(\frac{1}{1,22 - 0,2} \right)^2$$

$$K_i = 0,0349 \times 5 \times 0,9604$$

$$K_i = 0,1677 \text{ mGy}$$

$$K_e = K_i \cdot B$$

$$K_e = 0,1677 \times 1,46$$

$$K_e = 0,2448 \text{ mGy}$$

4. Tegangan 80 kV

$$K_i = Y(d) P_{lt} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2$$

$$K_i = 2 \times 10^{-6} \times 80^{2,2991} \times 5 \left(\frac{1}{1,22 - 0,2} \right)^2$$

$$K_i = 0,0475 \times 5 \times 0,9604$$

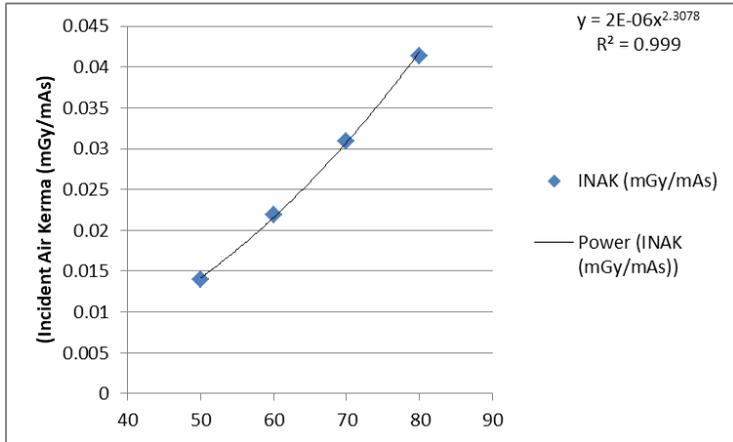
$$K_i = 0,2279 \text{ mGy}$$

$$K_e = K_i \cdot B$$

$$K_e = 0,2279 \times 1,5$$

$$K_e = 0,3419 \text{ mGy}$$

Lampiran 11. Hasil Kalkulasi Incident Air Kerma (INAK) pada Tegangan Tabung 50-80 kV dan arus waktu 8 mAs



1. Tegangan 50 kV

$$K_i = Y(d) P_{lt} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2$$

$$K_i = 2 \times 10^{-6} \times 50^{2,3078} \times 8 \left(\frac{1}{1,22 - 0,2} \right)^2$$

$$K_i = 0,01667 \times 8 \times 0,9604$$

$$K_i = 0,1281 \text{ mGy}$$

$$K_e = K_i \cdot B$$

$$K_e = 0,1281 \times 1,36$$

$$K_e = 0,1742 \text{ mGy}$$

2. Tegangan 60 kV

$$K_i = Y(d) P_{lt} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2$$

$$K_i = 2 \times 10^{-6} \times 60^{2,3078} \times 8 \left(\frac{1}{1,22 - 0,2} \right)^2$$

$$K_i = 0,02539 \times 8 \times 0,9604$$

$$K_i = 0,1951 \text{ mGy}$$

$$K_e = K_i \cdot B$$

$$K_e = 0,1951 \times 1,42$$

$$K_e = 0,277 \text{ mGy}$$

3. Tegangan 70 kV

$$K_i = Y(d) P_{lt} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2$$

$$K_i = 2 \times 10^{-6} \times 70^{2,3078} \times 8 \left(\frac{1}{1,22 - 0,2} \right)^2$$

$$K_i = 0,03624 \times 8 \times 0,9604$$

$$K_i = 0,2784 \text{ mGy}$$

$$K_e = K_i \cdot B$$

$$K_e = 0,2784 \times 1,46$$

$$K_e = 0,4065 \text{ mGy}$$

4. Tegangan 80 kV

$$K_i = Y(d) P_{lt} \left(\frac{d}{d_{FTD} - t_p} \right)^2$$

$$K_i = 2 \times 10^{-6} \times 80^{2,3078} \times 8 \left(\frac{1}{1,22 - 0,2} \right)^2$$

$$K_i = 0,0493 \times 8 \times 0,9604$$

$$K_i = 0,3789 \text{ mGy}$$

$$K_e = K_i \cdot B$$

$$K_e = 0,3789 \times 1,5$$

$$K_e = 0,5684 \text{ mGy}$$

Lampiran 12. Tabel Pedoman Nilai *Backscatter* Factor

TABLE VIII. BACKSCATTER FACTORS, B , FOR WATER, ICRU TISSUE AND PMMA FOR 2I DIAGNOSTIC X RAY BEAM QUALITIES AND FOR THREE FIELD SIZES AT A FOCUS TO SKIN DISTANCE OF 1000 mm*

Tube voltage (kV)	Filter	Backscatter factor (B)											
		Field size			100mm × 100 mm			200 mm × 200 mm			250 mm × 250 mm		
		HVL (mm Al)	Water	ICRU tissue	Water	PMMA	ICRU tissue	Water	PMMA	ICRU tissue	Water	PMMA	ICRU tissue
50	2.5 mm Al	1.74	1.24	1.25	1.33	1.36	1.27	1.36	1.41	1.31	1.32	1.28	1.36
60	2.5 mm Al	2.08	1.28	1.28	1.36	1.41	1.32	1.41	1.31	1.31	1.32	1.32	1.42
70	2.5 mm Al	2.41	1.30	1.31	1.39	1.45	1.36	1.45	1.35	1.35	1.36	1.36	1.46
70	3.0 mm Al	2.64	1.32	1.32	1.40	1.47	1.37	1.47	1.36	1.36	1.38	1.38	1.48
70	3.0 mm Al +0.1 mm Cu	3.96	1.38	1.39	1.48	1.47	1.47	1.58	1.46	1.46	1.47	1.47	1.59
80	2.5 mm Al	2.78	1.32	1.33	1.41	1.37	1.39	1.48	1.38	1.39	1.39	1.39	1.50
80	3.0 mm Al	3.04	1.34	1.34	1.42	1.39	1.40	1.51	1.40	1.40	1.41	1.41	1.52
80	3.0 mm Al +0.1 mm Cu	4.55	1.40	1.40	1.49	1.48	1.50	1.60	1.49	1.49	1.51	1.51	1.63
90	2.5 mm Al	3.17	1.34	1.34	1.43	1.40	1.41	1.51	1.41	1.41	1.42	1.42	1.53
90	3.0 mm Al	3.45	1.35	1.36	1.44	1.42	1.43	1.53	1.42	1.42	1.44	1.44	1.55
90	3.0 mm Al +0.1 mm Cu	5.12	1.41	1.41	1.50	1.50	1.51	1.62	1.51	1.51	1.53	1.53	1.65
100	2.5 mm Al	3.24	1.34	1.34	1.42	1.40	1.41	1.51	1.41	1.41	1.42	1.42	1.53
100	3.0 mm Al	3.88	1.36	1.37	1.45	1.44	1.45	1.55	1.45	1.45	1.46	1.46	1.57

Lampiran 13. Nilai DRL pada Pemeriksaan Radiografi Umum

	PUSAT PENGKAJIAN SISTEM DAN TEKNOLOGI PENGAWASAN FASILITAS RADIASI DAN ZAT RADIOAKTIF BADAN PENGAWAS TENAGA NUKLIR Jalan Gajah Mada No. 8, Jakarta 10120 Tel. (021) 63858269 – 70, Fax. (021) 63858275
	Jenis Rekaman : Rekaman Unit Kerja Judul : Pedoman Teknis Penyusunan Tingkat Panduan Diagnostik atau <i>Diagnostic Reference Level (DRL)</i> Nasional

Nilai DRL pada Pemeriksaan menggunakan Radiografi Umum

Kategori	: Pasien Bayi (Baby/Infant Patient, 0 – 4 year)	
Jenis Pemeriksaan	Entrance Skin Air Kerma, ESAK (mGy)	
Chest AP	0,4	
Chest/Thorax PA	0,2	

Kategori	: Pasien Anak-Anak (Children Patient, 5 – 14 year)	
Jenis Pemeriksaan	Entrance Skin Air Kerma, ESAK (mGy)	
Chest AP	0,5	
Chest/Thorax PA	0,7	
Upper Extremities	0,7	

Kategori	: Pasien Dewasa (Adult Patient, ≥ 15 year)	
Jenis Pemeriksaan	Entrance Skin Air Kerma, ESAK (mGy)	
Abdomen AP	3,6	
BNO AP	1,8	
Chest AP	0,6	
Chest/Thorax LAT	0,5	
Chest/Thorax PA	0,6	
Genu AP	0,9	
Hip Joint AP	0,4	
Lower Extremities	0,4	
Lumbal Spine AP	3,2	
Lumbal Spine LAT	3,7	
Pedis AP	0,8	
Pedis LAT	0,8	
Pelvis AP	1,7	
Skull LAT	1,3	
Skull PA	1,3	
Thoracic Spine AP	1,5	
Thoracic Spine LAT	1,9	
Upper Extremities	0,4	
Waters	1,9	

No. Rek.: LT/STI/KN 01/P2STPFRZR 1/077/2016	Tanggal : 29 Februari 2016
Revisi : 02/2019	Hal : 20 dari 20

Lampiran 12. Dokumentasi Pengambilan Data







RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

Nama Lengkap : Siva Tahula Haba
Tempat Tanggal Lahir : Jepara, 17 November 1997
Alamat Rumah : Kompleks Ponpes Darul Hikmah
001/001 Menganti Kedung
Jepara
Nomor HP : 082242355326
Email : sivahaba17@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal

- a. RA Darul Hikmah tahun 2002-2003
- b. MI Darul Hikmah tahun 2003-2009
- c. MTs Darul Hikmah tahun 2009-2012
- d. MA Darul Hikmah tahun 2012-2015

Semarang, April 2020

Siva Tahula Haba

NIM. 1508026010