



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS FAKTOR KOREKSI k_Q, Q_0 DETEKTOR
RADIODIAGNOSTIK TERHADAP KUALITAS RADIASI RQR
MENGUNAKAN PROTOKOL IAEA TRS NO. 457**

SKRIPSI

AINUR RAHMI

0305020071

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

DEPARTEMEN FISIKA

DEPOK

JUNI 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS FAKTOR KOREKSI k_Q, Q_0 DETEKTOR
RADIODIAGNOSTIK TERHADAP KUALITAS RADIASI RQR
MENGUNAKAN PROTOKOL IAEA TRS NO. 457**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains

**AINUR RAHMI
0305020071**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
DEPARTEMEN FISIKA
FISIKA MEDIS
DEPOK
18 JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ainur Rahmi

NPM : 0305020071

Tanda Tangan :

Tanggal : 18 Juni 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ainur Rahmi

NPM : 0305020071

Program Studi : Fisika

Peminatan : Fisika Medis

Judul Skripsi : Analisis Faktor Koreksi kQ, Q_0 Detektor Radiodiagnostik
Terhadap Kualitas Radiasi RQR Menggunakan Protokol
IAEA TRS No. 457

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

DEWAN PENGUJI

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

Pembimbing II : Heru Prasetyo, M.Si ()

Penguji I : Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko ()

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

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 18 Juni 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains jurusan Fisika pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai tersusunnya skripsi ini, sangat sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

- 1) Heru Prasetyo, M.Si dan Dwi Seno Kuncoro Sihono, M.Si sebagai pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini;
- 2) Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko dan Kristina Tri Wigati, M. Si sebagai penguji yang telah menyediakan waktu dan pikiran untuk melakukan ujian dan revisi pada skripsi ini;
- 3) Dr. Imam Fachrudin sebagai ketua sidang skripsi;
- 4) Dra. Caecilia Tuti Budiantari, Drs. Nurman Rajagukguk, dan Assef selaku penanggung jawab dan staff di Lab. Metrologi Radiasi Nasional, Secondary Standard Dosimetry Laboratory (SSDL) BATAN yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang penulis perlukan;
- 5) Drs. Mursyid (Papa), Desmi, S.Pd (Mama), Hilma Withri (Adik), dan keluarga besar di Cimanggis yang telah memberikan kasih sayang, do'a dan perhatian tiada kira, bantuan dukungan material dan moral, dan teladan yang baik;
- 6) Jupri Rahman yang telah memberikan semangat dan do'a;
- 7) Semua dosen Fisika yang telah memberikan ilmu, nasehat, dan inspirasi sehingga penulis mendapatkan pengetahuan dan pelajaran yang sangat berharga;
- 8) Mbak Ratna, Mas Mardi, dan semua staf sekretariat Fisika yang selalu siap sedia memberikan informasi;

- 9) Koko, Andreas, Fauzi, Andika, dan Hara selaku rekan kerja yang ikut membantu dalam pengambilan data;
- 10) Icha, Fadli, Rifki, Bondan, Margo, dan Sammy selaku rekan satu bimbingan Bapak Heru Prasetio, M.Si yang telah memberikan semangat dan arahan dalam penulisan;
- 11) Semua sahabat di Fisika, kosan, SMA yang telah memberikan tenaga, pikiran, dan do'a sehingga penyusunan skripsi ini Alhamdulillah berjalan lancar.
- 12) Fanny Azizi (alm), mahasiswa Fisika UI angkatan 2005 yang telah berpulang ke rahmatullah tgl 20 mei 2010 dalam pejalanannya mengumpulkan draft skripsi. Kepergian sahabat penulis Fanny Azizi telah memberikan inspirasi untuk semangat memperjuangkan kelulusan semester 10 ini.
- 13) Bu Ocha, Mbak Lusi, Kak Tarto, Sigit, Cenmi, Lisa, Kharry, dan Emil yang telah memberikan bekal ilmu dan pengalaman dalam melakukan penelitian.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini memberikan mamfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Penulis

2010

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

Sebagai civitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ainur Rahmi
NPM : 0305020071
Program Studi : Fisika Medis
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

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

Analisis Faktor Koreksi kQ, Q_0 Detektor Radiodiagnostik Terhadap Kualitas Radiasi RQR Menggunakan Protokol IAEA TRS No. 457

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada Tanggal : 18 Juni 2010

Yang Menyatakan

Ainur Rahmi

ABSTRAK

Nama : Ainur Rahmi
Program Studi : Fisika Medis
Judul : Analisis Faktor Koreksi kQ, Q_0 Detektor Radiodiagnostik Terhadap Kualitas Radiasi RQR Menggunakan Protokol IAEA TRS No. 457

Sinar-x digunakan dalam bidang kedokteran pada metode diagnosis dan terapi penyakit. Kualitas radiasi sinar-x yang digunakan harus terstandarisasi karena dapat mengakibatkan efek stokastik pada pasien. Efek stokastik dikurangi melalui *quality control* pada mesin radiologi, dan akan berjalan baik jika dilakukan pengukuran dan kalibrasi yang tepat. Skripsi ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas berkas radiasi RQR pesawat sinar-x Y.TU 320-D03 berdasarkan protokol IAEA *Technical Reports Series (TRS)* no. 457 dan kemudian menentukan nilai faktor koreksi detektor radiodiagnostik terhadap kualitas radiasi RQR. Detektor yang digunakan adalah Farmer 2571, Unfors Xi, dan TLD 100 LiF. Hasil menunjukkan nilai faktor koreksi Farmer relatif konstan, sedangkan TLD memiliki nilai faktor koreksi pada rentang 0.944 ± 0.045 s.d 1.000 ± 0.053 .

Kata kunci : Kualitas radiasi, RQR, faktor koreksi detektor.

ABSTRACT

Name : Ainur Rahmi
Study Program : Medical Physics
Title : Analysis of The Radiodiagnostic Detector Correction Factor k_{Q,Q_0} to RQR Radiation Quality Use TRS No. 457 IAEA's Protocol

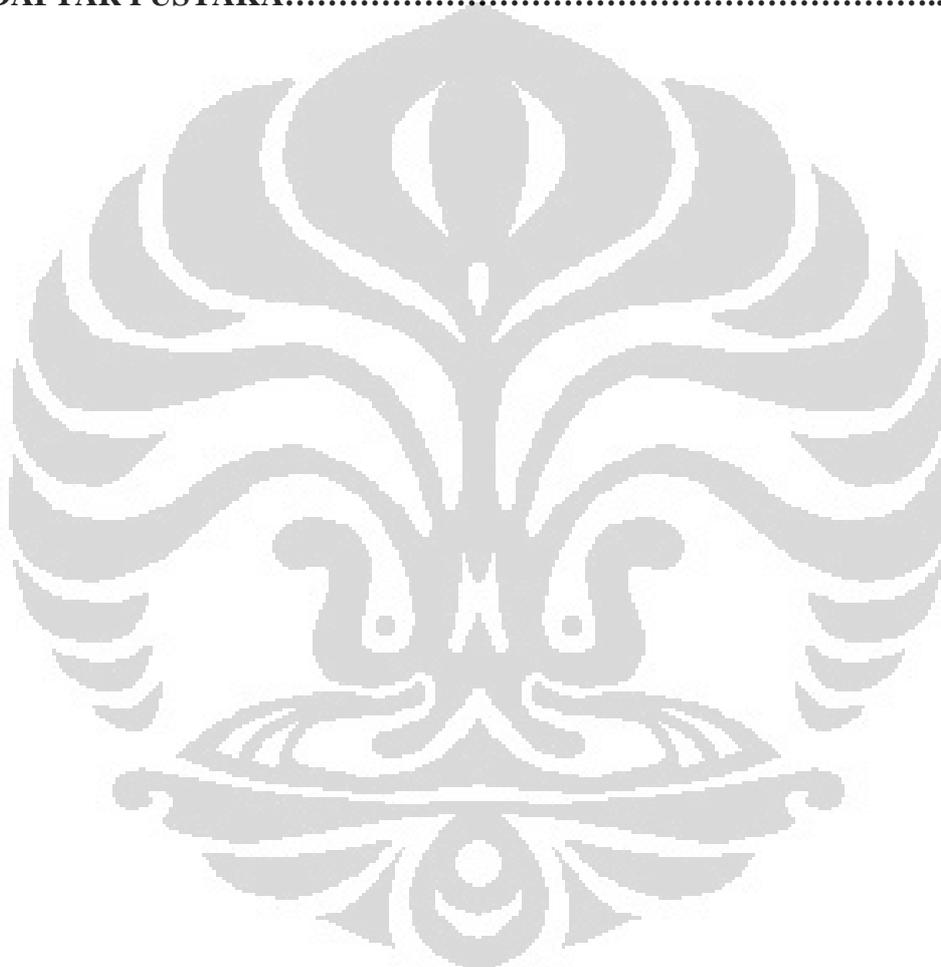
X rays used for diagnosis and therapy in medicine filed. X rays should be standardize to use, because it can make the stochastic effect to patient. It can be decrease by doing quality control to radiology machine, and it will work satisfactorily if correct calibration and measurement are made. This research has goal for evaluating the RQR radiation quality of Y.TU 329-D03 x rays machine based on IAEA *Technical Reports Series* (TRS) no. 457 and determining the correction factor of radiodiagnostic detector to RQR radiation quality. Detector which is used for this research are Farmer 2571, Unfors Xi, and TLD 100 LiF. The result are correction factor for Farmer is constant and correction factor for TLD 100 LiF is 0.944 ± 0.045 to 1.000 ± 0.053 .

Key words : Radiation quality, RQR, detector correction factor.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vi
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Metode penelittian.....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Produksi Sinar X.....	5
2.2 Interaksi Radiasi Dengan Materi.....	7
2.3 Dosimeter.....	9
3. METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1 Peralatan Pengukuran HVL dan Faktor Koreksi Detektor.....	14
3.2 Set-Up Pengukuran HVL Pesawat Sinar X.....	14
3.3 Kondisi Sistem Dan Lingkungan.....	17
3.4 Pengukuran <i>Added Filter</i> Untuk Memperoleh HVL.....	17
3.5 Verifikasi HVL.....	20
3.5.1 Prosedur Verifikasi HVL Menggunakan Farmer 2571.....	20
3.5.2 Prosedur Verifikasi HVL Menggunakan Unfors Xi.....	21
3.6 Penentuan Faktor Koreksi Detektor Terhadap Kualitas Radiasi	22

4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	25
4.1 Analisis Added Filter Untuk HVL RQR.....	25
4.2 Analisis Verifikasi HVL.....	26
4.2.1 Verifikasi HVL Menggunakan Farmer 2571.....	26
4.2.2 Verifikasi HVL Menggunakan Unfors Xi.....	29
4.3 Analisis Faktor Koreksi Detektor Terhadap Kualitas Radiasi.....	30
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	36
DAFTAR PUSTAKA.....	37



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Skema Penelitian.....	3
Gambar 2.1.	Skema Tabung Sinar X.....	5
Gambar 2.2.	Spektrum Sinar X.....	6
Gambar 2.3.	Jenis Interaksi Elektron Dengan Materi Target.....	7
Gambar 2.4.	Efek Fotolistrik.....	8
Gambar 2.5.	Hamburan Compton.....	9
Gambar 3.1.	Skema <i>Set-Up</i> Pengukuran HVL.....	15
Gambar 3.2.	Kurva Atenuasi Untuk Memperoleh <i>Added Filter</i>	19
Gambar 3.3.	Kurva Atenuasi Untuk Memperoleh F_{HVL}	19
Gambar 3.4.	Grafik Menentukan HVL.....	21
Gambar 4.1.	Kurva Faktor Koreksi Detektor Farmer 2571.....	34
Gambar 4.2.	Kurva Faktor Koreksi TLD 100 LiF.....	35

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Tabel Karakteristik Kualitas Radiasi RQR.....	13
Tabel 4.1. <i>Added Filter</i> Kualitas Radiasi RQR Hasil Pengukuran.....	25
Tabel 4.2. <i>Added Filter</i> Kualitas Radiasi RQR Verifikasi (Farmer).....	27
Tabel 4.3. HVL Hasil Pengukuran.....	28
Tabel 4.4. Koefisien Homogenitas Kualitas Radiasi RQR Pengukuran.	29
Tabel 4.5. Hasil Verifikasi HVL Menggunakan Detektor Unfors Xi...	30
Tabel 4.6. Waktu Penyinaran Untuk 100 mGy.....	30
Tabel 4.7. Verifikasi Dosis Terukur Terhadap Waktu.....	31
Tabel 4.8. Nilai Koefisien Kalibrasi, k_Q Detektor.....	32
Tabel 4.9. Nilai Faktor Koreksi, k_Q Detektor.....	33

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sinar-x pertama kali ditemukan oleh seorang fisikawan berkebangsaan Jerman W.C Rontgen, dan ini merupakan penemuan pertama yang dapat memperlihatkan struktur anatomi tubuh manusia. Penemuan sinar-x ini memberikan perubahan yang mendasar dalam bidang kedokteran. Sinar-x dimanfaatkan dalam metode diagnosis dan terapi penyakit sehingga semenjak ditemukan, sistem pencitraan medis berkembang mulai dari unit yang sederhana hingga digital.

Sinar-x dimanfaatkan harus dengan penuh perhitungan karena dapat menghasilkan dosis yang akan menyebabkan efek deterministik selama proses radiologi berlangsung. Efek deterministik bisa dikurangi dengan meminimisasi *patient exposure*, namun tetap memberikan *exposure* yang cukup besar untuk bisa menghasilkan diagnosis yang layak. Tujuan diatas dapat dicapai, salah satunya adalah dengan melakukan *Quality control* pada mesin radiologi. *Quality control* dibutuhkan untuk memastikan bahwa mesin radiologi bekerja dengan baik. *Quality control* hanya bisa dilakukan dengan baik jika pengukuran dan kalibrasi dilakukan dengan benar.

Respon detektor sangat ditentukan oleh kualitas radiasi yang akan diukur, sehingga penentuan kualitas radiasi untuk proses penentuan faktor koreksi detektor sangat penting dilakukan. Kualitas radiasi pesawat sinar-x dinyatakan dalam nilai HVL. Protokol kalibrasi memberikan nilai standar HVL yang harus dipenuhi untuk setiap energi yang akan digunakan untuk kalibrasi. Protokol yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Technical Reports Series (TRS) No. 457 "Dosimetry In Diagnostic Radiology : An International Code Of Practice"*.

Penelitian ini dimulai dengan mencari *added filter* supaya dihasilkan kualitas radiasi yang sesuai dengan *Technical Reports Series (TRS) No. 457 “Dosimetry In Diagnostic Radiology : An International Code Of Practice”* pada rentang tegangan kerja 40-150 kV. Setelah diperoleh *added filter* yang sesuai, maka akan dihasilkan HVL yang merepresentasikan kualitas radiasi RQR. RQR merupakan kualitas radiasi yang radiasinya langsung berasal dari pesawat sinar-X tanpa phantom. Aplikasinya adalah pada radiografi umum, fluoroskopi dan aplikasi dental. Untuk memastikan akurasi dari pengukuran, kita harus mengetahui respon chamber terhadap setiap kualitas radiasi, oleh karena itu perlu diketahui nilai faktor koreksi alat ukur (detektor) terhadap perubahan nilai kualitas radiasi, dikenal dengan besar nilai K_Q .

1.2 Tujuan Penelitian

- Evaluasi kualitas berkas radiasi RQR pesawat sinar-x Y.TU 320-D03 berdasarkan protokol *Technical Reports Series (TRS) No. 457*.
- Menentukan nilai faktor koreksi detektor radiodiagnostik terhadap kualitas radiasi RQR pada pesawat sinar-x Y.TU 320-D03.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah pembahasan tentang evaluasi kualitas berkas radiasi pesawat sinar-x Y.TU 320-D03 berdasarkan protokol *Technical Reports Series (TRS) No. 457* dan melakukan analisa faktor koreksi detektor terhadap kualitas radiasi.

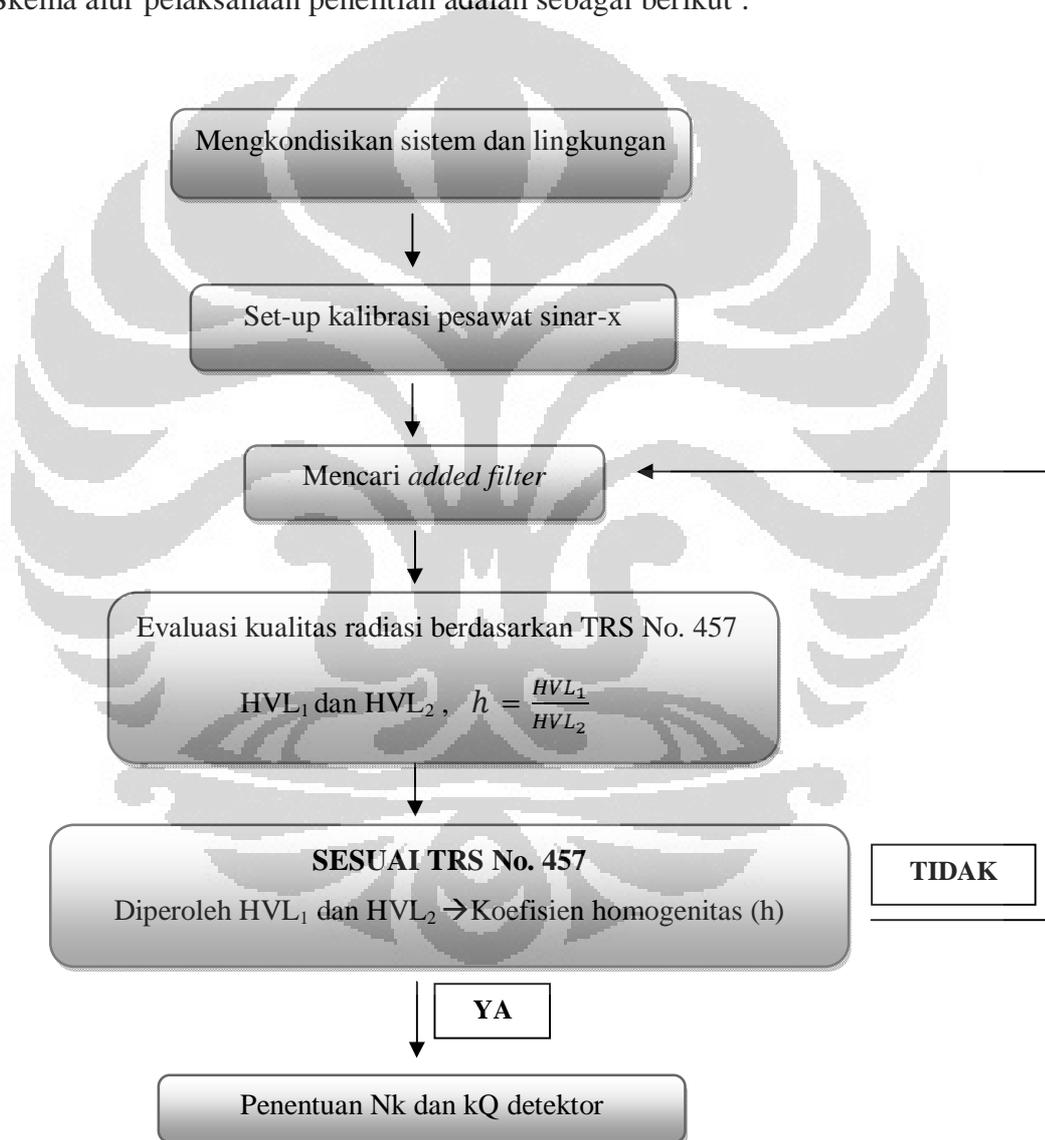
1.4 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam skripsi ini adalah :

1. Tinjauan pustaka, mempelajari buku, artikel, jurnal dan situs yang terkait dengan kalibrasi pesawat sinar-x.

2. Diskusi, melakukan studi dengan metode diskusi kepada dosen, pembimbing, ataupun praktisi yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas dalam tugas akhir ini.
3. Membuat laporan tugas akhir mulai dari latar belakang masalah, tujuan, dasar teori, analisis, hingga ditarik kesimpulan, setelah dilakukannya penelitian tersebut.

Skema alur pelaksanaan penelitian adalah sebagai berikut :



Gambar 1.1. Skema penelitian.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah terdiri dari 5 bab, secara garis besar dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bab 1 Pendahuluan

Bab ini menjelaskan latar belakang masalah yang terkait dengan penelitian, tujuan penelitian, dan pembatasan masalah.

2. Bab 2 Tinjauan Pustaka

Bab ini menjelaskan tentang teori dasar yang berkaitan dengan penelitian sebagai modal pengetahuan dasar untuk memahami pembahasan yang sedang dikaji.

3. Bab 3 Metodologi Penelitian

Bab ini membahas metodologi penelitian yang mencakup semua serangkaian kegiatan yang dilakukan selama pengambilan data dan disertai dengan pendekatan teoritik terhadap masalah yang sedang dikaji.

4. Bab 4 Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi hasil pengolahan data dan analisis secara komprehensif.

5. Bab 5 Penutup

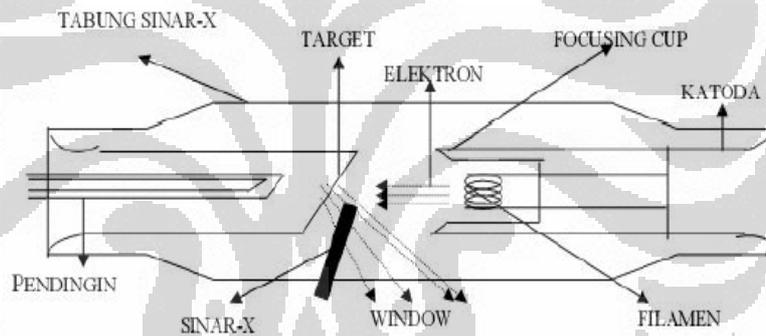
Bab ini berisi kesimpulan penelitian dan saran yang mendukung penelitian agar untuk pengembangannya mendapatkan hasil yang lebih baik lagi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Produksi Sinar-X

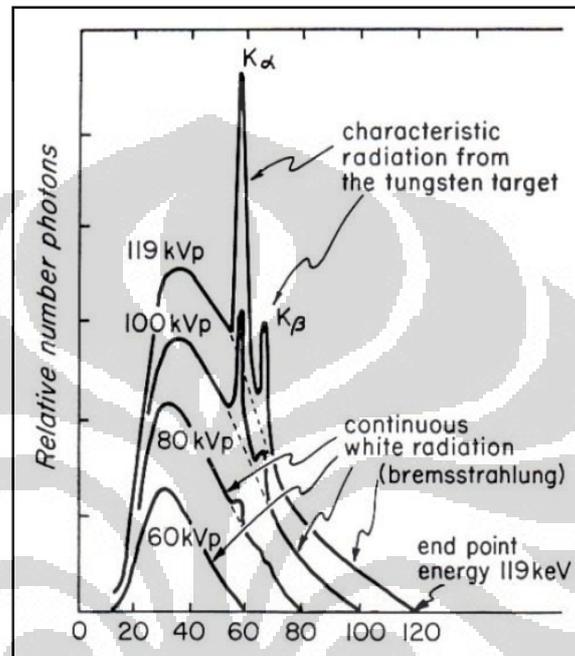
Sinar-x adalah gelombang elektromagnetik yang dihasilkan ketika suatu materi beratraksi dengan elektron berkecepatan tinggi. Tabung sinar-x diperlihatkan pada gambar 2.1 terdiri dari anoda dan katoda yang dibungkus oleh gelas kaca dengan keadaan vakum. Katoda terdiri dari tungsten dalam bentuk kumparan dan ditempatkan diantara “focusing cup” atau cekung untuk memfokuskan elektron ke anoda. Elektron akan lepas dari permukaan filament tungsten ketika filament dipanaskan, sehingga tertarik ke anoda.



Gambar 2.1 Skema tabung sinar-x

Ruang antara anoda dan katoda vakum, maka elektron ketika berinteraksi dengan anoda tidak akan melewati atau bertumbukan dengan molekul gas. Elektron yang bergerak cepat ketika tiba-tiba di rem oleh anoda, maka sinar-x akan dihasilkan dan diemisikan ke semua arah. Namun demikian bagian dalam tabung yang terbuat dari logam berat akan menyerap sebagian besar sinar-x yang dipancarkan, kecuali yang mengarah ke jendela tabung dan sudah sangat sedikit. Tegangan yang digunakan pada radiologi diagnostic, menghasilkan sinar-x kurang dari 1 % energy dan lebih dari 99 % berubah menjadi energy panas pada anoda. Anoda yang kokoh dan tahan terhadap tekanan panas dibuat dari campuran tungsten dan rhenium (90 % Tungsten, 10 % Rhenium).

Produksi sinar-x dapat dimengerti dengan melihat properti dari berkas sinar-x. Gambar 2.2 menunjukkan spektrum terukur dari emisi foton tabung sinar-x diagnostic pada 60, 80, 200, dan 119 kVp. Grafik memberikan angka relative dari foton terhadap fungsi energy foton. Area dibawah kurva sebanding dengan total foton yang diemisikan.



Gambar 2.2 : Spektrum sinar-x tabung diagnostik keluaran 60, 80, 100, dan 119 kVp dengan added filter 2 mmAl.

Spektrum sinar-x pada gambar 2.2 menunjukkan bahwa spektrum terdiri dari spektrum kontinu yang disebut dengan “white radiation” atau “bremsstrahlung” puncak-puncak diskrit yang tajam. Puncak ini disebut dengan radiasi karakteristik yang bergantung pada nomor atom target.

Bremstrahlung

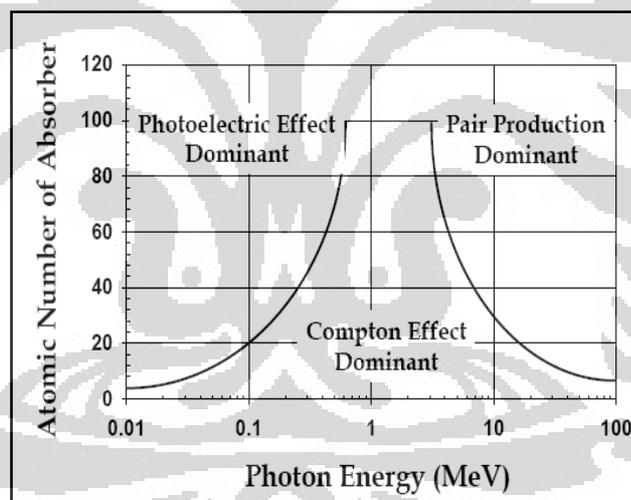
Bremstrahlung terbentuk ketika elektron berkecepatan tinggi akan menumbuk anoda terjadi pengereman sehingga energi kinetik dari elektron berubah menjadi sinar-x. pengereman terjadi karena muatan dan massa dari inti atom target jauh lebih besar dari elektron, sehingga elektron di rem dan dibelokkan. Sinar-x yang terbentuk adalah radiasi kontinu bremsstrahlung.

Sinar-x karakteristik

Sinar-x karakteristik dihasilkan dari proses perpindahan elektron dari tingkat energi tinggi ke tingkat energi yang lebih rendah. Elektron yang mengalami transisi memiliki selisih energi senilai energi sinar-x karakteristik. Energi ini khas untuk setiap jenis atom, maka sinar-x yang terbentuk disebut dengan sinar-x karakteristik.

2.2 Interaksi Radiasi Dengan Materi

Interaksi radiasi dengan materi adalah pemindahan energi dari radiasi ke materi. Materi terdiri dari inti atom dan elektron-elektron ekstra nuklir. Radiasi bisa berinteraksi dengan salah satu atau kedua unsur pokok pembentuk materi ini. Kemungkinan terjadinya interaksi, daya tembus beberapa radiasi, tergantung pada tipe dan energi radiasi dan juga pada sifat medium penyerap.

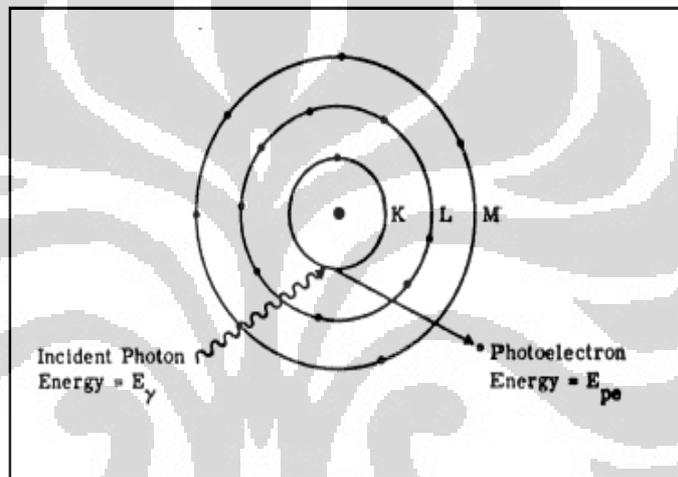


Gambar 2.3 Jenis interaksi elektron dengan materi target.

Proses eksitasi dan ionisasi dari atom-atom penyerap disebabkan oleh interaksi elektron dengan materi. Jenis interaksi di tunjukkan pada gambar 2.3, yaitu efek fotolistrik, efek Compton, dan produksi pasangan. Efek fotolistrik dan efek Compton terjadi pada energy rendah, yaitu tidak melebihi 1.02 MeV, energinya sebanding dengan massa diam dari dua electron. Produksi pasangan adalah pada energy tinggi yang merupakan langsung dari konversi energy elektromagnetik menjadi massa.

Efek Foto Listrik

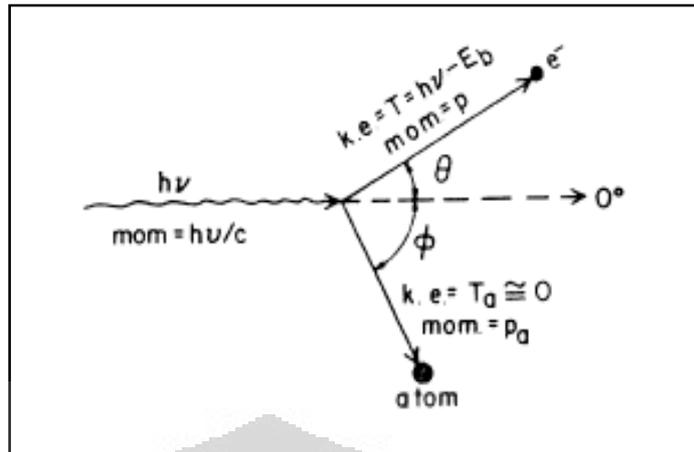
Efek fotolistrik adalah ketika energi radiasi sinar-x yang datang semuanya diserap materi, dimana energi yang diserap digunakan sebagian untuk melepaskan elektron dari orbitnya dan sebagian lagi menjadi energi kinetik elektron untuk keluar dari atom atau materi. Elektron yang terlepas ini dapat mengionisasi atom materi yang dilaluinya. Elektron-elektron yang terlepas dialami oleh elektron pada kulit terdalam, yaitu kulit k, dan disebut dengan foto elektron, sehingga peristiwa ini disebut efek fotolistrik, seperti pada gambar 2.4. Peristiwa ini terjadi pada energi radiasi yang rendah, kira-kira 50 KeV.



Gambar 2.4 Efek Fotolistrik

Hamburan Compton

Pada hamburan Compton, radiasi dianggap sebagai partikel yang bertumbukan dengan materi. Radiasi yang datang hanya memberikan sebagian energinya kepada materi, Energi yang diserap digunakan untuk mengeluarkan elektron-elektron bebas atau terikat secara lemah dari atom, sehingga radiasi yang dihamburkan memiliki energi sisa setelah berinteraksi dengan materi. Elektron akan mempunyai energi kinetik yang besarnya sama dengan perbedaan antara energi yang diperoleh radiasi datang dengan radiasi terhambur. Elektron ini akan kehilangan energinya dengan cara mengionisasi atom dari materi yang dilaluinya. Pada efek ini hukum kekekalan energi dan momentum tetap berlaku. Seperti gambar 2.5, peristiwa ini terjadi pada energi radiasi sebesar 200 – 1000 KeV.



Gambar 2.5 Hamburan Compton

2.3 Dosimeter

Alat ukur radiasi adalah alat yang mampu mengukur kuantitas radiasi baik secara langsung maupun tidak langsung. Detektor adalah bagian yang peka terhadap radiasi dan elektrometer adalah alat elektronik yang mengubah tanggapan detektor menjadi besaran fisika yang diinginkan. Berdasarkan prinsip interaksi radiasi dengan materi, semua jenis detektor harus dapat digunakan untuk mengukur dosis dan paparan radiasi. Besaran fisika yang diukur dalam pendeteksian radiasi adalah banyaknya ionisasi yang dihasilkan dari interaksi radiasi dengan materi detektor. Berdasarkan nilai ionisasi tersebut akan diperoleh besaran dosis atau paparan radiasi.

Setiap detektor harus memiliki faktor yang dapat mengubah besaran yang terukur oleh detektor menjadi besaran yang diinginkan dalam proses pengukuran. Faktor pengubah tersebut dikenal sebagai faktor kalibrasi, dan akan sangat menentukan ketepatan hasil pengukuran.

Detektor yang ideal harus memenuhi beberapa kriteria, antara lain:

- a) Akurasi : menyatakan kemampuan detektor untuk mengukur besaran radiasi dengan benar. Gabungan kesalahan mengakibatkan pergeseran hasil pengukuran dan secara umum dikenal sebagai deviasi, dan sangat menentukan tingkat presisi detektor.

- b) Presisi : menyatakan kemampuan detektor untuk memberikan pengulangan hasil pengukuran yang sama pada kondisi yang tetap.
- c) Linieritas detektor : menyatakan respon detektor terhadap perubahan dosis. Detektor harus memiliki respon yang linier terhadap perubahan dosis.
- d) Ketergantungan laju dosis : menyatakan perubahan respon detektor terhadap perubahan laju dosis.
- e) Ketergantungan energi : menyatakan perubahan respon detektor terhadap perubahan energi berkas radiasi.
- f) Ketergantungan arah berkas : menyatakan perubahan respon detektor terhadap perubahan sudut berkas radiasi.
- g) Resolusi spasial : menyatakan kemampuan detektor untuk mengukur pada titik yang berdekatan. Resolusi spasial sangat ditentukan oleh ukuran dan desain detektor. Pada umumnya, semakin kecil ukuran detektor resolusi spasial akan lebih baik. Detektor yang memiliki resolusi paling baik adalah detektor film.

Ionization Chamber

Pengukuran air kerma pada radiologi diagnostik biasanya menggunakan plane parallel chamber. Plane parallel ionization chamber yang biasanya disebut juga dengan parallel plate chamber menggunakan dua parallel, elektroda flat, yang terpisah beberapa milimeter. Detector dikalibrasi diarahkan tegak lurus terhadap sumbu. Untuk beberapa chamber memiliki jendela masuk dan keluar yang berbeda, dan pintu masuk harus menghadap sinar-x focal point.

Solid State Dosimeters

Pengukuran real time mudah dicapai dengan dosimeter semikonduktor ; thermoluminescence (TLDs) yang ukurannya kecil bisa digunakan untuk pengukuran pada pasien. Kekurangan utama dari dosimeter ini adalah respon ketergantungan energinya berbeda signifikan dengan ionization chamber.

Dosimeter tipe ini sering digunakan pada pengukuran klinis di rumah sakit, namun tidak digunakan untuk kalibrasi dosimeter lain di SSDLs.

TLDs

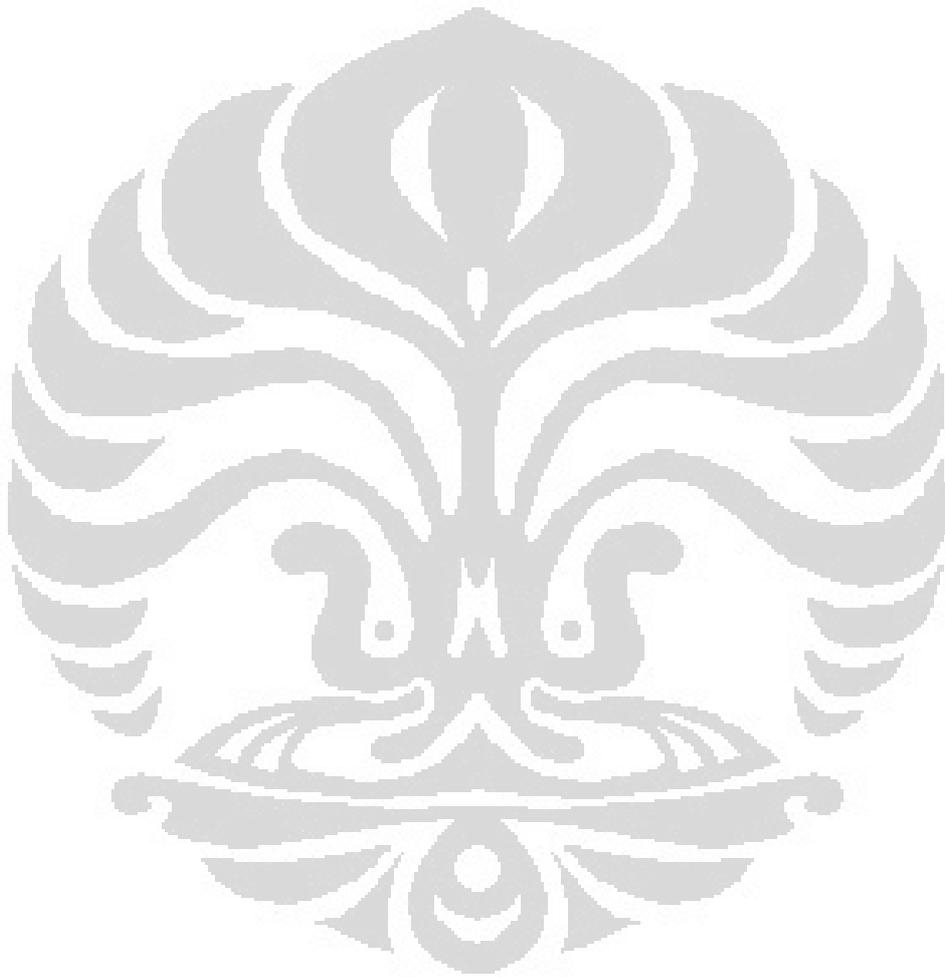
Kepekaan suatu TLD adalah kemampuan dosimeter tersebut untuk menerima energi radiasi pengion dan menyimpannya pada waktu yang relatif lama. Dosimeter dikatakan memiliki kepekaan optimum bila kemampuan menerima dosis di daerah tertentu dan menyimpannya secara optimum. Suatu dosimeter juga dapat dikatakan stabil bila dosimeter tersebut mampu menyimpan dosis pada waktu relative lama sampai beberapa tahun yang berarti tidak terjadi perubahan fisik dan kimia akibat lingkungan.

Dosimeter Semikonduktor

Detector semikonduktor juga kecil dan respon seketika terhadap radiasi merupakan kombinasi kedua detector solid state, yang menghasilkan sinyal besar dari sejumlah radiasi yang tidak cukup besar. Detector ini rigid sehingga tidak butuh koreksi tekanan, sehingga cocok dalam aplikasi klinik. Yang paling sederhana dari alat semikonduktor adalah diode yang berdasarkan pada p-n junction antar bagian semikonduktor tipe-p dan tipe-n. ketika radiasi mengenai semikonduktor, maka pasangan electron hole di induksi. Ini menyebabkan junction menjadi konduktif dan arus meningkat dengan seiring laju produksi ion. Ukuran dari sinyal yang diproduksi bergantung pada penampang melintang dari junction yang ditabrak berkas. Jadi, ada ketergantungan energy dan bagian sensitivitas pada alat ini. Alat ini menggunakan filter metal untuk mengkompensasi terhadap sinyal dari detector solid state dan terhadap kemungkinan efek elektronik.

Menghentikan radiasi berarti menghentikan produksi ion dan diode kembali ke keadaan dia semula, kecuali terjadi kemungkinan perubahan pada struktur dari junction. Contohnya pada terapi, akan terjadi kerusakan detector semikonduktor akibat penyinaran berulang. Ini akan merubah sensitivitas setiap waktunya. Namun pada radiologi diagnostic lebih kecil dari terapi, jadi kerusakan

struktur juga lebih kecil. Walaupun begitu tetap direkomendasikan untuk melakukan cek respon dosimeter pada jangka waktu yang teratur.



BAB 3

METODE PENELITIAN

Penelitian ini adalah tentang analisa faktor koreksi detektor radiodiagnostik terhadap kualitas radiasi RQR menggunakan protokol *International Atomic Energy Agency (IAEA) Technical Reports Series (TRS) No. 457 "Dosimetry In Diagnostic Radiology : An International Code of Practice"*. *Radiation Qualities in A Conventional Radiodiagnostic*^[5] (RQR) adalah rentang kualitas radiasi yang digunakan pada radiografi umum, fluoroskopi, dan aplikasi dental. Kualitas radiasi ini diperoleh tanpa menggunakan phantom, dan sumber radiasinya langsung dari tabung sinar-x. Karakteristik dari deretan kualitas radiasi RQR dicantumkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 : Tabel Karakteristik Kualitas Radiasi RQR ^[1]

Kualitas Radiasi	Tegangan Tabung Sinar-X (kV)	HVL Pertama (mmAl)	Koefisien Homogenitas (h)
RQR 2	40	1.42	0.81
RQR 3	50	1.78	0.76
RQR 4	60	2.19	0.74
RQR 5*	70	2.58	0.71
RQR 6	80	3.01	0.69
RQR 7	90	3.48	0.68
RQR 8	100	3.97	0.68
RQR 9	120	5.00	0.68
RQR 10	150	6.57	0.72

*** Nilai ini secara umum dipilih sebagai kualitas radiasi referensi untuk "unattenuated beams" pada aplikasi radiografi umum.**

Prosedur pertama yang dilakukan adalah mencari *added filter* pesawat sinar-x Y.TU 320-D03 untuk masing-masing tegangan kerja pada kualitas radiasi RQR agar diperoleh nilai HVL yang sesuai. Setelah diperoleh nilai HVL, maka

dilakukan pengukuran untuk menentukan nilai faktor koreksi detektor radiodiagnostik sehingga diperoleh koefisien kalibrasi, N_k untuk masing-masing HVL dan faktor koreksi detektor, K_Q . Setiap pengukuran dilakukan pada arus 10 mA, dan FOC 5.5 mm.

3.1 Peralatan Pengukuran HVL dan Faktor Koreksi Detektor

Peralatan yang dibutuhkan pada saat pengukuran HVL dan faktor koreksi detektor adalah sebagai berikut :

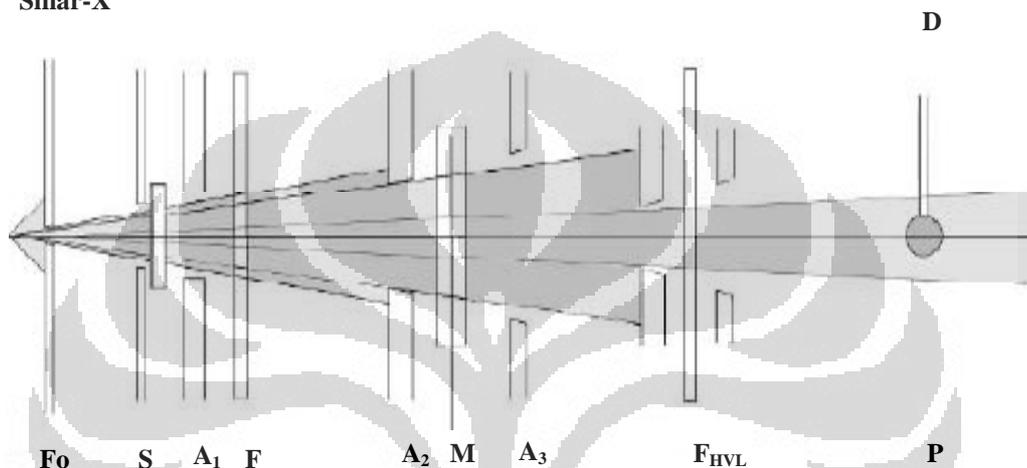
- a) Dosimeter : ionization chamber dan dosimeter solid state. Dosimeter yang digunakan seharusnya bisa dioperasikan pada rentang radiasi yang dibutuhkan, koefisien kalibrasi yang konsisten, memiliki stabilitas yang tinggi dan terbuat dari material yang dapat mengurangi respon terhadap usia, suhu, kelembaban, dan energi mekanik ^[1]. Dosimeter yang digunakan dalam penelitian ini adalah detektor ionization chamber Farmer 2571, detektor solid state semikonduktor Unfors Xi dan TLD 100 LiF ;
- b) Elektrometer : digunakan untuk mengukur muatan atau arus yang dihasilkan selama penyinaran. Elektrometer yang digunakan dalam penelitian ini adalah Keithley 6487 dan Farmer 2570 ;
- c) Termometer : digunakan untuk mengukur suhu ruangan selama pengukuran ;
- d) Barometer : digunakan untuk mengukur tekanan udara di ruangan pengukuran ;
- e) Higrometer : digunakan untuk mengukur kelembaban udara di ruangan;
- f) Filter : digunakan sebagai filter atau attenuator dalam menentukan HVL, filter yang digunakan adalah filter aluminium ;
- g) Pesawat sinar-x dan perangkatnya ;
- h) Perangkat lunak pendukung yaitu Excelinx-Keithley yang sudah di install dalam Microsoft Office Excel 2007 ;

3.2 Set-Up Pengukuran HVL Pesawat Sinar-X

Skema *Set-up* pengukuran HVL di SSDL yang harus diikuti oleh fisikawan ditunjukkan pada Gambar 3.1 . Prosedur yang digunakan untuk

menentukan HVL harus mengikuti rekomendasi yang diberikan oleh *International Commission On Radiation units And Measurement (ICRU)* dan *International Atomic Energy Agency (IAEA)*^[1]. Hal ini dilakukan agar hasil pengukuran memenuhi standar internasional yang telah disepakati untuk mengurangi efek negatif dari pemanfaatan radiasi sinar-x.

**Jendela
Tabung
Sinar-X**



Gambar 3.1 Skema *Set-Up* Pengukuran HVL^[1].

Keterangan gambar 3.1 adalah; Fo adalah *focal spot*; S adalah *shutter*; A1, A2, A3 adalah *apertures*; F adalah *added filter*; F_{HVL} adalah filter HVL; M adalah *monitor chamber*; D adalah detektor ; P adalah titik pengukuran.

Skema *set-up* pengukuran HVL dimulai dari pesawat sinar-x. Pesawat sinar-x yang digunakan adalah Y.TU 320-D03 dengan filter inherent berurutan adalah 1.0 mmBe, 3.0 mmAl, dan 0.5 mmCu, memiliki rentang tegangan kerja 10-320 kV dan radiasi bocor $< 5\text{mSv/h}$ ^[6]. Radiasi keluarannya adalah berkas radiasi sempit agar tidak adanya luas penampang radiasi yang tidak dibutuhkan dan bisa menghasilkan hamburan tambahan sehingga berkontribusi pada signal, dan diameter dari berkas radiasi harus cukup untuk meradiasi detektor secara keseluruhan.

Pesawat sinar-x ini menggunakan generator tegangan tinggi untuk memberikan tegangan tabung sinar x yang konstan, agar bisa dilakukannya

kalibrasi peralatan dosimetri dalam hal kualitas radiasi yang sesuai dengan radiologi diagnostik konvensional. Material target pada tabung sinar-x untuk radiologi konvensional adalah tungsten, namun bukan tungsten murni. Tungsten yang digunakan adalah tungsten dengan campuran 10% rhenium^[1]. Ini dilakukan untuk mengurangi efek panas pada anoda.

Komponen penting selanjutnya adalah *added filter* pada jendela keluaran sinar-x. Filter ini bertujuan untuk mempertajam berkas sinar-x yang keluar dari tabung. Selain itu ada shutter dan diikuti oleh aperture, A1, yang berada dalam dinding proteksi sinar-x. Aperture atau rongga digunakan sebagai diafragma pembatas berkas yang harus cukup besar untuk dapat menghasilkan berkas radiasi terkecil yang bisa melingkupi chamber pengukur. Diafragma tambahan, A2, A3, sebaiknya digunakan untuk melindungi chamber pengukur dari hamburan radiasi oleh filter.

Filter yang digunakan adalah aluminium. Kemurnian dari filter aluminium direkomendasikan minimal 99.9%. Filter diposisikan pada jarak yang sama dari monitor chamber dan dari detektor untuk memperoleh pencapaian terbaik dalam pengukuran. Jarak dari filter ke detektor setidaknya lima kali diameter berkas radiasi pada posisi detektor^[1]. Susunan ini memastikan produksi dari radiasi hamburan pada filter tidak berkontribusi besar pada signal.

Monitor chamber diposisikan pada posisi dimana pembacaannya tidak bergantung pada ketebalan dan posisi filter, oleh karena itu monitor chamber yang digunakan saat pengukuran dan pembacaan dari pengukuran ionization chamber direkomendasi untuk dinormalisasikan dengan pembacaan pada monitor. Ini dilakukan untuk mencegah perbedaan yang disebabkan oleh variasi keluaran tabung sinar-x. Pada pengukuran dalam penelitian ini tidak menggunakan monitor chamber.

Detektor adalah alat ukur radiasi yang digunakan pada pengukuran HVL dan faktor koreksi detektor. Detektor yang digunakan adalah ionization chamber Farmer 2571, semikonduktor Unfors Xi, dan TLD 100 LiF. Detektor harus ditempatkan pada posisi untuk mengetahui nilai HVL. Pada umumnya, ini adalah

posisi kalibrasi pada SSDL atau klinik. Pada penelitian ini, jarak detektor ke pesawat sinar-x adalah 100 cm. Ionization Chamber 2571 memiliki volume sensitif 0.6 cc dengan rentang energi 50-300 kV^[7]. Detektor semikonduktor Unfors Xi memiliki volume sensitif 12 x 22 x 117 mm, dengan rentang energi 40-150 kV^[8].

3.3 Kondisi Sistem Atau Lingkungan

Keadaan ruang saat melakukan pengukuran harus dikontrol dan dipertahankan pada suhu 18-24 °C dan kelembaban relatif harus di bawah 80%. ini dilakukan karena berpengaruh pada ionization chamber. Jika suhu ruang bervariasi secara signifikan selama pengukuran, sebuah koreksi untuk pengaruhnya harus dilakukan.

3.4 Pengukuran *Added filter* Untuk Memperoleh HVL

Half value layer (HVL) atau HVL_1 dari berkas radiasi adalah ketebalan dari filter yang mengatenuasi kuantitas radiasi terukur menjadi setengah kuantitas awalnya. Kuantitas berkurang karena diatenuasi ketika melewati ketebalan filter aluminium yang ditambahkan pada saat pengukuran. Penambahan filter ini dilakukan untuk memperoleh HVL yang sesuai dengan kualitas radiasi RQR. Jadi HVL merepresentasikan kualitas radiasi untuk masing-masing tegangan kerja tabung sinar-x.

Lapisan atenuator atau filter ditambahkan untuk mengurangi air kerma yang terukur. Ketika berkas radiasi melewati ketebalan dari material total HVL_1 dan HVL_2 , air kerma (air kerma rate) berkurang menjadi seperempat nilai awalnya. HVL_2 setara dengan perbedaan antara ketebalan absorber yang dibutuhkan untuk mengurangi air kerma (air kerma rates) menjadi seperempatnya.

$$HVL_2 = d_{1/4} - HVL_1 \quad (3.1)$$

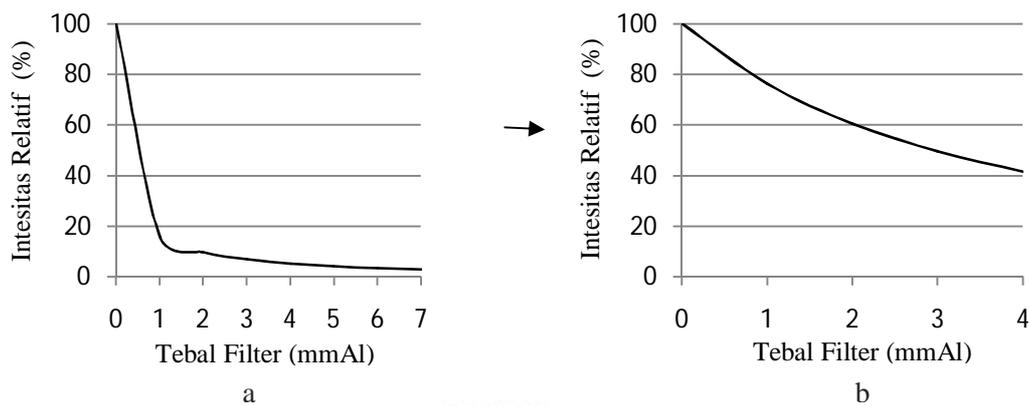
Perbandingan antara HVL_1 dan HVL_2 , dinamakan dengan koefisien homogenitas, h :

$$h = \frac{HVL_1}{HVL_2} \quad (3.2)$$

nilai dari h memberikan indikasi yang spesifik dari lebar spektrum sinar-x. nilai ini berkisar antara 0 dan 1. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan spektrum yang lebih sempit. Nilai h yang biasa untuk berkas radiasi dalam radiologi diagnostik adalah pada rentang 0.7-0.9.

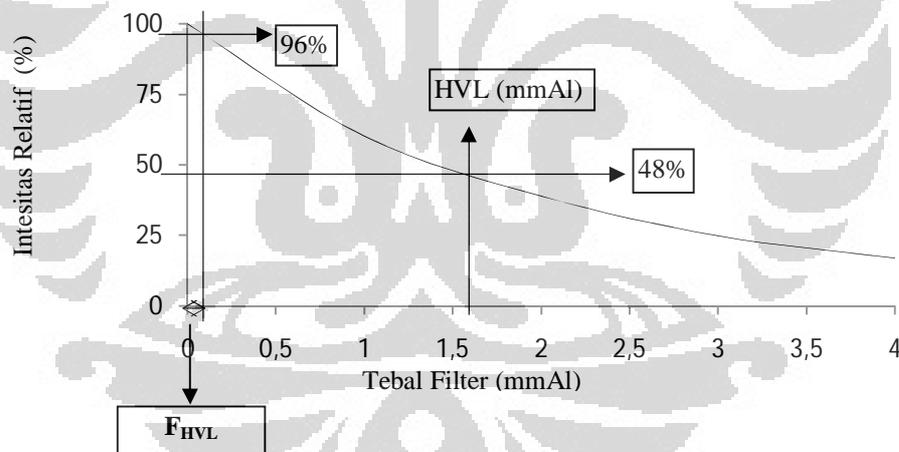
Menentukan *added filter* yang dibutuhkan dalam memperoleh nilai HVL rentang RQR digunakan *ionization chamber* Farmer 2571, elektrometer Keithley 6487, dan dibantu dengan perangkat lunak Excelinx-Keithley. Prosedur yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a) Apparatus pesawat sinar-x untuk pengukuran sudah terpasang lengkap.
- b) Mencatat suhu, tekanan dan kelembaban ruang selama pengukuran. Pencatatan dilakukan tiga kali untuk melihat perubahannya, yaitu pagi saat awal melakukan pengukuran, siang, dan sore ketika pengukuran terakhir.
- c) Mengukur nilai *background*, yaitu melakukan penyinaran tanpa adanya filter dan shutter dalam keadaan tertutup. Pencatatan dilakukan sepuluh kali untuk setiap penyinaran. Penyinaran dilakukan tiga kali.
- d) Memplot kurva atenuasi untuk tegangan yang diukur, yaitu ketebalan filter aluminium mmAl terhadap persen intensitas relatif yang terukur. Kurva ini diperoleh dari pengukuran 0 mmAl sebagai kuantitas awal tanpa filter, dan selanjutnya dengan menambahkan filter aluminium kelipatan 1 mmAl pada posisi F_{HVL} pada gambar 3.1 hingga diperoleh intensitas relatif terukur menjadi kurang dari 10% kuantitas semula. Untuk masing-masing kelipatan mmAl dilakukan pencatatan 10 kali untuk setiap penyinaran, dan penyinaran dilakukan 3 kali.
- e) Memotong kurva sebesar mmAl untuk memperoleh *added filter*. Pemotongan dilakukan mendekati nilai HVL yang diukur. Hal ini dilakukan selain untuk mempermudah pembacaan kurva, akan tetapi juga bertujuan untuk mempercepat pencapaian nilai HVL. Contoh : untuk RQR 6, 80 kV, maka kita memotong kurva pada 3 mmAl karena nilai HVLnya adalah 3,01 mmAl. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 3.2



Gambar 3.2 Contoh Kurva Atenuasi Untuk Memperoleh *Added Filter*: Sebelum dipotong (a) Dan Setelah Dipotong (b).

- f) Setelah dipotong, maka dicari F_{HVL} nya dengan titik 3 mmAl sebagai kuantitas awal. Kemudian menggambar kurva untuk memperoleh tambahan F_{HVL} mencapai intensitas relatif 100 % dari titik HVL. Jelasnya bisa dilihat pada gambar 3.3



Gambar 3.3. Contoh Kurva Atenuasi Untuk Memperoleh F_{HVL}

- g) Memplot kurva atenuasi kembali untuk memperoleh HVL sesuai TRS no. 457. Kurva diperoleh melalui pengukuran yang dilakukan dengan memasang *added filter* yang telah diperoleh pada poin “e” dan F_{HVL} pada poin “f”. Pengukuran dilakukan seperti poin “c” dan “d” dan kurva seperti poin “f”. Maka akan diperoleh nilai HVL apakah sudah berada pada posisi 50 % atau belum, dengan toleransi $\pm 2\%$.

- h) Apabila nilai filter HVL yang diperoleh tidak mendekati intensitas relatif 50%, maka dicari kembali besar F_{HVL} yang dibutuhkan seperti pada gambar 3.3.
- i) Melakukan kembali langkah poin “f” dan “g”. Apabila HVL belum juga mendekati intensitas relatif 50%, maka dilanjutkan kembali seperti langkah poin “h”. Begitu seterusnya hingga diperoleh persentase HVL mendekati 50% dengan toleransi $\pm 2\%$.
- j) Setelah memperoleh HVL sesuai TRS no. 457, maka dilanjutkan untuk masing-masing tegangan tabung pada kualitas radiasi RQR lainnya.

3.5 Verifikasi HVL

Verifikasi HVL dilakukan dua kali menggunakan dosimeter yang berbeda, karena untuk kepastian pengukuran tidak bisa hanya menggunakan satu sistem. Pertama adalah menggunakan *ionization chamber* Farmer 2571 dan yang kedua adalah semikonduktor Unfors Xi.

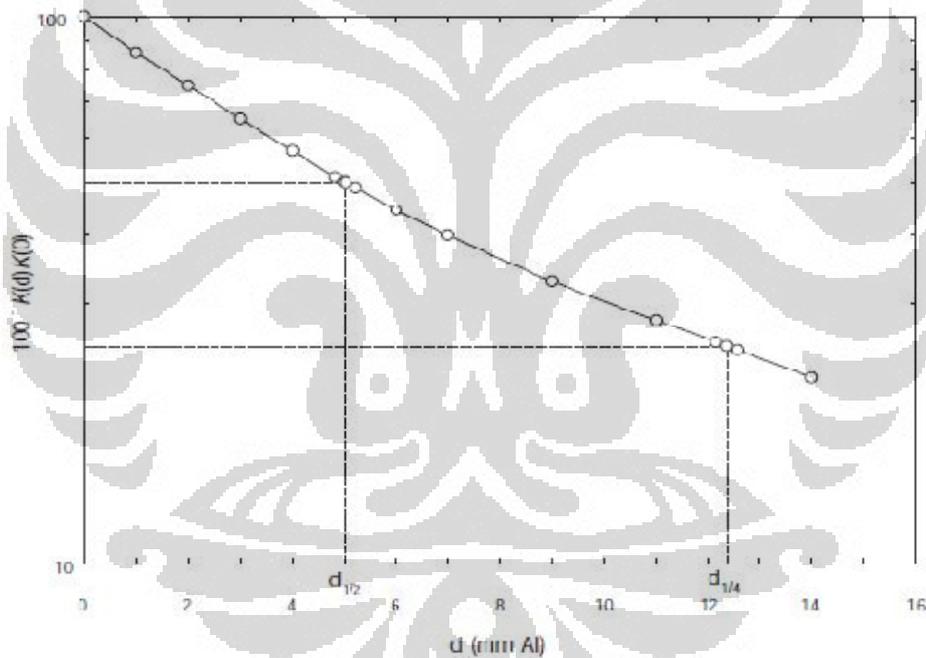
Skema verifikasi sinar-x sama dengan skema pengukuran HVL sinar-x, bisa dilihat pada gambar 3.1. Pada saat verifikasi sinar-x, *added filter* merupakan gabungan dari *added filter* dan F_{HVL} yang telah diperoleh dari pengukuran HVL, dan *added filter* disini merepresentasikan masing-masing kualitas radiasi RQR.

3.5.1 Prosedur Verifikasi HVL Menggunakan Farmer 2571

Prosedur verifikasi HVL menggunakan Farmer 2571 adalah sebagai berikut :

- a) Apparatus verifikasi HVL terpasang lengkap
- b) Mencatat suhu, tekanan dan kelembaban ruang pengukuran selama verifikasi berlangsung sebanyak tiga kali, yaitu ketika awal verifikasi, siang, dan sore saat verifikasi terakhir.
- c) Memasang *added filter* diposisinya, *added filter* disini adalah gabungan *added filter* dan F_{HVL} yang telah diperoleh dari pengukuran HVL. Kemudian melakukan paparan yang merupakan nilai paparan 100 %.

- d) Memasang filter aluminium sebesar nilai HVL RQR pada tabel 3.1 pada posisi F_{HVL} dan tetap membiarkan *added filter* pada posisi sebelumnya. Kemudian melakukan paparan untuk melihat apakah dihasilkan intensitas relatif 50% dari intensitas sebelumnya.
- e) Jika belum, maka tambahkan atau kurangi *added filter* hingga intensitas relatif ketika F_{HVL} dipasangkan adalah 50 % dari intensitas relatif awalnya.
- f) Jika sudah mencapai 50 %, maka dilakukan kembali pembuatan kurva HVL untuk mendapatkan nilai HVL_2 agar diperoleh koefisien homogenitas (h). Bisa dilihat pada gambar 3.4.
- g) Melakukan hal yang sama untuk kualitas radiasi RQR berikutnya.



Gambar 3.4. Grafik menentukan HVL_1 dan HVL_2 dari interpolasi nilai kuantitas yang terukur.

3.5.2 Prosedur Verifikasi HVL Menggunakan Unfors Xi

Verifikasi HVL menggunakan Unfors Xi adalah untuk melihat perbandingan antara HVL referensi pada TRS no. 457 dengan HVL hasil verifikasi menggunakan Unfors Xi. Untuk memperoleh HVL verifikasi, digunakan *added filter* yang dihasilkan dari verifikasi HVL menggunakan Farmer

2571. Setelah dipasangkan *added filter*, kemudian diberikan paparan sesuai kualitas radiasi RQR sehingga Unfors Xi akan mengukur HVL dari masing-masing tegangan kerja tabung sinar-x.

3.6 Penentuan Faktor Koreksi Detektor Terhadap Kualitas Radiasi

Prosedur yang dilakukan sebelum melakukan pengukuran adalah semua detektor yang akan ditentukan nilai faktor koreksinya terhadap kualitas radiasi harus di sesuaikan dengan ruang sinar-x, yaitu menempatkannya minimal dua jam sebelum memulai pengukuran. Penentuan nilai faktor koreksi dilakukan pada detektor Farmer 2571 dan TLD-100. Detektor yang digunakan sebagai standar uji banding adalah dosimeter solid state Unfors Xi. Laser line digunakan untuk menandakan titik pengukuran dari detektor. Rincian prosedurnya adalah sebagai berikut :

- a) Memberikan waktu untuk dosimeter standar dan dosimeter yang dilihat nilai faktor koreksinya melakukan penyesuaian terhadap sistem;
- b) Posisikan dosimeter pada posisi titik referensi, tepatnya pada titik pengukuran;
- c) Mengukur temperatur, tekanan, dan kelembaban.

Pada pengukuran hanya menggunakan tegangan tabung kualitas radiasi RQR pada rentang tegangan tabung 50-100 kV, karena sudah mewakili energi rendah hingga energi tinggi pada RQR dan karena hasil verifikasi menggunakan Unfors Xi bagus pada rentang tegangan tabung 50-100 kV. Pengukuran dilakukan tiga tahap, tahap pertama adalah menentukan waktu penyinaran menggunakan detektor Unfors Xi untuk memperoleh 100 mGy. Kuantitas yang harus dicatat adalah tegangan tabung terukur dan laju dosis sehingga kita memperoleh waktu yang dibutuhkan untuk memaparkan dosis sebesar 100 mGy. Pengukuran dilakukan sebanyak lima kali untuk masing-masing tegangan kerja tabung RQR dimana :

$$D = \dot{D} \cdot t \quad 3.3$$

Keterangan :

D = Dosis (mGy)

\dot{D} = Laju dosis (mGy/s)

t = waktu penyinaran (s)

Tahap kedua adalah melakukan penyinaran menggunakan detektor Unfors Xi selama waktu yang telah diperoleh pada tahap pertama. Ini dilakukan untuk melihat perbandingan antara dosis melalui perhitungan dengan dosis yang terukur. Selain itu adalah untuk memastikan waktu dalam memberikan dosis 100 mGy yang diperoleh pada tahap pertama adalah benar. Selama proses pengukuran berlangsung tidak dibutuhkan pengukuran suhu dan tekanan, karena dosimeter yang digunakan adalah jenis solid state semikonduktor yang tidak memerlukan faktor koreksi bacaan.

Tahap ketiga adalah melakukan penyinaran pada detektor Farmer 2571 menggunakan elektrometer Farmer 2570 dan TLD-100. Selama pengukuran dilakukan pengukuran suhu dan tekanan sebagai faktor koreksi pembacaan Farmer 2571, Dimana :

$$k_{TP} = \left(\frac{273.2 + T}{273.2 + T_0} \right) \left(\frac{P_0}{P} \right) \quad 3.4$$

Keterangan :

P_0 = tekanan udara referensi ($P_0 = 101.3$ kPa)

T_0 = suhu udara referensi ($T_0 = 20^{\circ}\text{C}$)

P = tekanan udara selama pengukuran

T = suhu udara selama pengukuran

Pengukuran dilakukan lima kali, dan masing-masing dilakukan koreksi pembacaan detektor Farmer 2571. Setelah melakukan pengukuran, dilakukan penghitungan koefisien kalibrasi detektor. Dimana :

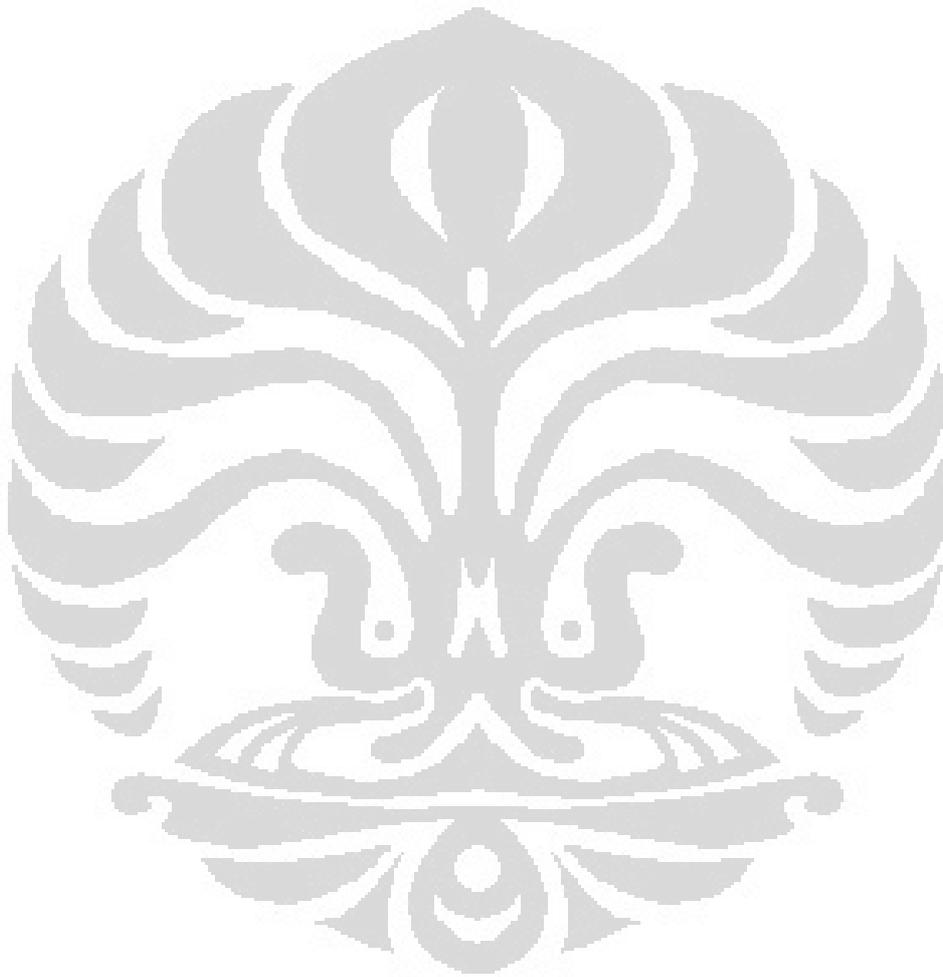
$$Nk = \frac{\text{Dosis}}{\text{Bacaan Detektor}} \quad 3.5$$

Untuk mengetahui faktor koreksi detektor yang digunakan adalah dari faktor koreksi kQ, dimana :

$$k_Q^{user} = \frac{N_{K,Q}^{user}}{N_{K,Q_0}^{user}} \quad 3.6$$

Keterangan :

k_Q^{user} = faktor koreksi detektor.



BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis *Added filter* Untuk HVL RQR

HVL RQR pesawat sinar-x Y.TU 320-D03 diperoleh sesuai dengan protokol *Technical Reports Series* (TRS) No. 457. Prosedur pertama yang dilakukan adalah menentukan *added filter*. *Added filter* ditentukan mulai dari tegangan kerja tabung 40 kV hingga 150 kV. Pengukuran HVL ini dilakukan dengan arus 10 mA, FOC 5.5 mm, dan keadaan ini sama pada setiap pengukuran.

Dari hasil pengukuran maka dapat dirincikan total *added filter* untuk HVL RQR adalah :

Tabel 4.1. *Added Filter* Kualitas Radiasi RQR Hasil Pengukuran

Kualitas Radiasi	Tegangan tabung sinar-x (kV)	HVL (mmAl)	<i>Added filter</i> (mmAl)
RQR 2	40	1.42	2.69
RQR 3	50	1.78	2.61
RQR 4	60	2.19	2.79
RQR 5*	70	2.58	2.93
RQR 6	80	3.01	3.10
RQR 7	90	3.48	3.23
RQR 8	100	3.97	3.45
RQR 9	120	5.00	3.72
RQR 10	150	6.57	4.26

Added filter adalah filter tambahan yang digunakan untuk memperoleh kualitas radiasi dari tegangan tabung yang digunakan pada pesawat sinar-x. kualitas radiasi direpresentasikan dalam bentuk HVL. HVL adalah ketebalan dari filter yang mengatenuasi kuantitas radiasi terukur menjadi setengah kuantitas awalnya. Atenuasi disebabkan oleh interaksi sinar-x dengan materi yang mengalami proses penyerapan. Proses ini dapat mengakibatkan berkurangnya intensitas radiasi sinar-x karena diserap oleh medium. Bisa dibayangkan bahwa

intensitas berkurang secara eksponensial terhadap ketebalan medium atau filter yang diberikan.

Dari hasil pengukuran dapat dilihat pada tabel 4.1 *added filter* untuk masing-masing kualitas radiasi itu berbeda. Tabel 4.1 bisa dibaca seperti, pada tegangan tabung sinar-x Y.TU 320-D03 40 kV untuk menghasilkan kualitas radiasi 1.42 mmAl dibutuhkan *added filter* 2.69 mmAl, pada tegangan tabung sinar-x Y.TU 320-D03 50 kV untuk menghasilkan kualitas radiasi 1.78 mmAl dibutuhkan *added filter* 2.61 mmAl, pada tegangan tabung sinar-x Y.TU 320-D03 60 kV untuk menghasilkan kualitas radiasi 2.19 mmAl dibutuhkan *added filter* 2.79 mmAl, pada tegangan tabung sinar-x Y.TU 320-D03 70 kV untuk menghasilkan kualitas radiasi 2.58 mmAl dibutuhkan *added filter* 2.93 mmAl, begitulah seterusnya hingga tegangan tabung 150 kV.

4.2 Analisis Verifikasi HVL

4.2.1 Verifikasi HVL Menggunakan Farmer 2571

Verifikasi HVL menggunakan Farmer 2571 dilakukan untuk memastikan apakah benar *added filter* yang diperoleh pada pengukuran HVL memberikan kualitas radiasi yang sesuai karakteristik kualitas radiasi RQR pada *Technical Reports Series (TRS) No. 457 "Dosimetry In Diagnostic Radiology : An International Code of Practice"*. Verifikasi ini dilakukan dengan menggunakan *added filter* sesuai kualitas radiasi yang akan diukur dan menempatkannya pada posisi *added filter* sesuai skema dari set-up pengukuran HVL gambar 3.1. Keadaan ini merupakan keadaan dengan intensitas 100 %. Keadaan dengan intensitas 50 % diperoleh dengan menambahkan HVL setebal mmAl yang sesuai pada posisi F_{HVL} sesuai skema dari set-up pengukuran HVL gambar 3.1.

Added filter yang diperoleh pada saat verifikasi tidak selalu sama dengan *added filter* yang diperoleh saat pengukuran HVL. Jika terjadi ketidakcocokan HVL maka dilakukan penambahan atau pengurangan *added filter* hingga diperoleh HVL yang sesuai untuk masing-masing tegangan tabung sinar-x rentang kualitas radiasi RQR. Tabel 4.2 menampilkan hasil verifikasi *added filter* menggunakan detektor Farmer 2571.

Tabel 4.2 : *Added Filter* Kualitas Radiasi RQR Verifikasi Menggunakan Detektor Farmer 2571

Kualitas Radiasi	Tegangan Tabung Sinar-x (kV)	HVL (mmAl)	Added Filter Pengukuran (mmAl)	Added Filter Verifikasi (mmAl)	Δ Added Filter %
RQR 2	40	1.42	2.69	2.69	0.00
RQR 3	50	1.78	2.61	2.52	3.45
RQR 4	60	2.19	2.79	2.94	5.38
RQR 5*	70	2.58	2.93	2.83	3.41
RQR 6	80	3.01	3.10	3.10	0.00
RQR 7	90	3.48	3.23	3.31	2.48
RQR 8	100	3.97	3.45	3.35	2.90
RQR 9	120	5.00	3.72	3.80	2.15
RQR 10	150	6.57	4.26	4.26	0.00

Data *added filter* yang telah diverifikasi pada tabel 4.2 menunjukkan adanya perbedaan dengan data *added filter* yang diperoleh melalui pengukuran pertama pada tabel 4.1. Perbedaan ini diakibatkan oleh hamburan dari sinar-x. Hamburan sinar-x berkontribusi pada signal yang terukur. Dari hasil yang ditunjukkan pada tabel 4.2 menunjukkan kontribusi hamburan yang dihasilkan pada saat pengukuran dan verifikasi berbeda. Ini diakibatkan oleh *added filter* dan filter HVL yang dipasang secara bersamaan pada saat verifikasi. Ini dapat menyebabkan hamburan yang berkontribusi pada signal terukur. Faktor lain adalah kemurnian filter yang digunakan. Filter yang digunakan memiliki kemurnian yang rendah karena sudah banyaknya goresan dan rusak. Filter akan mempengaruhi koefisien atenuasi linear, sehingga intensitas yang terbaca akan berbeda dengan filter yang memiliki kemurnian lebih tinggi.

Setelah diperoleh *added filter* verifikasi, maka dilakukan pengukuran untuk memperoleh kurva HVL. Tujuannya ada dua, yaitu yang pertama adalah untuk mendapatkan nilai HVL jika ditarik dari nilai intensitas 50% agar dapat dilihat penyimpangan dari nilai HVL referensi terhadap nilai HVL pengukuran yang dihasilkan dari *added filter* verifikasi dan yang kedua adalah untuk

memperoleh HVL_2 agar bisa menghitung koefisien homogenitas dari masing-masing kualitas radiasi RQR serta membandingkannya dengan koefisien homogenitas referensi yang tertera pada *Technical Reports Series (TRS) No. 457 "Dosimetry In Diagnostic Radiology : An International Code of Practice"* (tabel 3.1).

Tabel 4.3 : HVL RQR Hasil Pengukuran

Kualitas Radiasi	Tegangan Tabung Sinar-X (kV)	Added Filter (mmAl)	HVL Referensi (mmAl)	HVL Pengukuran (mmAl)	Δ HVL %
RQR2	40	2.69	1.42	1.39	2.11
RQR 3	50	2.52	1.78	1.77	0.56
RQR 4	60	2.94	2.19	2.20	0.46
RQR 5*	70	2.83	2.58	2.56	0.78
RQR 6	80	3.10	3.01	3.00	0.33
RQR 7	90	3.31	3.48	3.43	1.44
RQR 8	100	3.35	3.97	3.95	0.50
RQR 9	120	3.80	5.00	5.07	1.40
RQR 10	150	4.26	6.57	6.52	0.76

Tabel 4.3 menunjukkan besarnya penyimpangan pada HVL pengukuran terhadap HVL referensi. Nilai penyimpangan berkisar antara 0.33 % - 2.11 %. Penyimpangan terbesar adalah pada tegangan tabung 40 kV. Ini terjadi akibat detektor yang digunakan tidak sensitif pada tegangan 40 kV karena radiasi tidak mampu menyinari detektor dengan sempurna dan keseluruhan sehingga hasilnya tidak tepat dan diluar batas toleransi.

Hasil perhitungan koefisien homogenitas dari verifikasi HVL ditunjukkan pada tabel 4.4. Koefisien homogenitas penting diketahui untuk membatasi energi yang digunakan. Koefisien homogenitas untuk berkas radiasi yang digunakan dalam radiodiagnostik adalah berkisar antara 0.7 – 0.9, dan hasil pengukuran memenuhinya. Namun ada perbedaan antara koefisien homogenitas hasil pengukuran dengan koefisien homogenitas referensi, ini menunjukkan bahwa bentuk spektrum yang dihasilkan oleh tabung sinar-x Y.TU 320-D03 berbeda

dengan spektrum yang dihasilkan tabung sinar-x yang dijadikan referensi IAEA. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan spektrum yang lebih sempit.

Tabel 4.4 : Koefisien Homogenitas Kualitas Radiasi RQR Pengukuran

Kualitas Radiasi	Tegangan Tabung Sinar-x (kV)	Added Filter (mmAl)	HVL ₁ (mmAl)	HVL ₂ (mmAl)	Koefisien Homogenitas Pengukuran (h)	Koefisien Homogenitas Referensi (h)	Δ Koefisien Homogenitas %
RQR 2	40	2.69	1.39	1.51	0.94	0.81	13.65
RQR 3	50	2.52	1.77	2.19	0.81	0.76	6.34
RQR 4	60	2.94	2.20	2.98	0.73	0.74	0.24
RQR 5*	70	2.83	2.56	3.42	0.75	0.71	5.43
RQR 6	80	3.10	3.00	4.29	0.70	0.69	1.35
RQR 7	90	3.31	3.43	4.87	0.71	0.68	3.58
RQR 8	100	3.35	3.95	5.75	0.69	0.68	1.02
RQR 9	120	3.80	5.07	7.52	0.66	0.68	0.85
RQR 10	150	4.26	6.52	9.18	0.72	0.72	1.36

Pada tabel 4.4 menunjukkan koefisien homogenitas yang paling tinggi adalah pada tegangan kerja tabung sinar-x 40 kV dan yang paling rendah adalah pada tegangan kerja tabung 120 kV yaitu antara 0.66 – 0.94. Koefisien homogenitas yang diperoleh memiliki penyimpangan terhadap koefisien homogenitas referensi berkisar antara 0.24 % - 13.65 %. Penyimpangan terbesar adalah pada tegangan tabung 40 kV.

4.2.2 Verifikasi HVL Menggunakan Unfors Xi

Verifikasi HVL menggunakan detektor Unfors Xi adalah untuk melihat perbedaan antara HVL yang diperoleh dari *added filter* hasil verifikasi dengan HVL RQR yang tertera pada *Technical Reports Series (TRS) No. 457 "Dosimetry In Diagnostic Radiology : An International Code of Practice"* (tabel 3.1). Hasil verifikasi pada tabel 4.5 menunjukkan perbedaan antara HVL referensi dengan HVL terukur menggunakan detektor Unfors Xi. Walaupun ada perbedaan, namun hasil pengukuran masih dalam batas toleransi Unfors Xi. Toleransi Unfors Xi dalam mengukur HVL adalah sebesar 10 % atau ± 0.2 mm.

Tabel 4.5. Hasil Verifikasi HVL Menggunakan Detektor Unfors Xi

Kualitas Radiasi	Tegangan Tabung Sinar-X (kV)	Added Filter (mmAl)	HVL Referensi (mmAl)	HVL Terukur (mmAl)
RQR 2	40	2.69	1.42	1.33±0.2
RQR 3	50	2.52	1.78	1.68±0.2
RQR 4	60	2.94	2.19	2.16±0.2
RQR 5*	70	2.83	2.58	2.49±0.2
RQR 6	80	3.10	3.01	2.99±0.2
RQR 7	90	3.31	3.48	3.43±0.2
RQR 8	100	3.35	3.97	3.81±0.2
RQR 9	120	3.80	5.00	4.69±0.2
RQR 10	150	4.26	6.57	5.77±0.2

4.3 Analisis Faktor koreksi Detektor Terhadap Kualitas Radiasi

Pengukuran dilakukan untuk melihat faktor koreksi detektor terhadap kualitas radiasi. Faktor koreksi detektor, kQ diperoleh dari hasil perhitungan koefisien kalibrasi. Detektor yang digunakan sebagai standard uji banding adalah solid state Unfors Xi karena memiliki sertifikat kalibrasi yang masih berlaku. Prosedur pertama yang dilakukan adalah menentukan waktu penyinaran untuk memperoleh dosis 100 mGy menggunakan detektor Unfors Xi.

Tabel 4.6 : Waktu Penyinaran Untuk 100 mGy Menggunakan Unfors Xi

Kualitas Radiasi	Tegangan Tabung Sinar-X (kV)	Added Filter (mmAl)	HVL (mmAl)	Waktu Penyinaran Farmer 2571 (s)	Waktu Penyinaran TLD 100 LiF (s)
RQR 3	50	2.52	1.77	305.82	319.94
RQR 4	60	2.94	2.20	238.85	250.69
RQR 5*	70	2.83	2.56	167.92	174.86
RQR 6	80	3.10	3.00	142.10	145.86
RQR 7	90	3.31	3.43	118.73	122.00
RQR 8	100	3.35	3.95	97.91	98.46

Waktu ditentukan dengan memberikan paparan sebanyak lima kali untuk masing-masing tegangan tabung setiap menitnya. Maka Unfors Xi akan mencatat laju dosis per menit, kemudian untuk memperoleh waktu dapat dihitung dengan melakukan pembagian antara laju dosis yang terukur dengan dosis yang diinginkan yaitu 100 mGy. Waktu untuk masing-masing tegangan tabung sinar-x diambil waktu rata-rata dari lima kali pengukuran tadi. Waktu yang diperoleh ditunjukkan pada tabel 4.6.

Waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh dosis 100 mGy diverifikasi menggunakan detektor Unfors Xi dengan cara mengatur waktu pada panel sesuai waktu yang diperoleh, kemudian melakukan penyinaran. Detektor Unfors Xi akan mencatat tegangan tabung, laju dosis, dan dosis yang terukur. Dari hasil pengukuran akan diperoleh perbedaan antara dosis hitung dengan dosis yang terukur oleh detektor Unfors Xi

Tabel 4.7 : Verifikasi Dosis Terukur Terhadap Waktu yang Diperoleh Untuk Dosis 100 mGy Menggunakan Unfors Xi

Kualitas Radiasi	Tegangan Tabung Sinar-X (kV)	Added Filter (mmAl)	laju Dosis (mGy/s)	Dosis Hitung (mGy)	Dosis Terukur (mGy)	Δ Dosis %
RQR 3	50	2.52	0.33	100.19	100.54	0.35
RQR 4	60	2.94	0.42	100.14	100.06	0.08
RQR 5*	70	2.83	0.60	100.02	100.08	0.06
RQR 6	80	3.10	0.69	100.02	100.00	0.02
RQR 7	90	3.31	0.84	100.43	100.43	0.00
RQR 8	100	3.35	1.02	100.01	100.92	0.91

Hasil verifikasi waktu untuk memperoleh dosis 100 mGy ditunjukkan pada tabel 4.7. Hasil menunjukkan deviasi yang sangat kecil antara dosis hitung dengan dosis yang terukur dan hal ini menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh dosis 100 mGy pada masing-masing tegangan tabung dari 50-100 kV adalah benar.

Prosedur selanjutnya adalah melakukan penyinaran pada detektor Farmer 2571 dan TLD 100 LiF pada masing-masing tegangan tabung selama waktu yang

telah diperoleh pada tabel 4.6 dengan lima kali pengukuran pada masing-masing kV. Ionization chamber Farmer 2571 memerlukan faktor koreksi $K_{p,t}$ untuk setiap bacaannya, namun tidak diperlukan pada pembacaan TLD 100 LiF karena TLD adalah dosimeter solid state yang rigid.

Perubahan suhu dan tekanan yang terjadi selama pengukuran tidak signifikan dan tidak melebihi batas maksimum. Suhu berkisar antara 19-20 °C dan tekanan berkisar antar 1008-1010 mBar. Jadi keadaan sistem tidak terlalu mempengaruhi pembacaan dari detektor Farmer 2571. Dari hasil pengukuran diperoleh koefisien kalibrasi detektor. Nilai koefisien kalibrasi, N_k ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8. Nilai Koefisien Kalibrasi, N_k Detektor

Kualitas Radiasi	Tegangan Tabung Sinar-X (kV)	Added Filter (mmAl)	HVL (mmAl)	N_k Farmer 2571 Terhadap Unfors mGy/nC	N_k TLD 100 LiF Terhadap Unfors mGy/nC
RQR 3	50	2.52	1.77	42.946±0.003	0.448±0.061
RQR 4	60	2.94	2.20	42.573±0.004	0.450±0.056
RQR 5*	70	2.83	2.56	42.346±0.003	0.466±0.037
RQR 6	80	3.10	3.00	42.344±0.001	0.457±0.022
RQR 7	90	3.31	3.43	42.275±0.000	0.458±0.055
RQR 8	100	3.35	3.95	42.445±0.001	0.447±0.024

Tabel 4.8 menunjukkan nilai koefisien kalibrasi dari masing-masing detektor yang digunakan, yaitu koefisien kalibrasi Farmer 2571 dan TLD 100 LiF. Koefisien kalibrasi detektor Farmer 2571 menunjukkan nilai yang tidak jauh dari nilai minimum 42.275±0.000 mGy/nC ke nilai maksimumnya 42.946±0.003 mGy/nC. Koefisien kalibrasi untuk TLD 100 LiF juga menunjukkan nilai yang relatif konstan dan tidak jauh dari nilai minimum 0.447±0.024 mGy/nC ke nilai maksimumnya 0.466±0.037 mGy/nC.

Koefisien kalibrasi yang relatif konstan menunjukkan kemampuan detektor bagus dalam mengukur besaran radiasi dengan benar, karena koefisien kalibrasi merupakan faktor pengubah besaran yang terukur oleh detektor menjadi

besaran yang diinginkan dalam proses pengukuran. Dengan kata lain, detektor memiliki akurasi pengukuran yang tinggi.

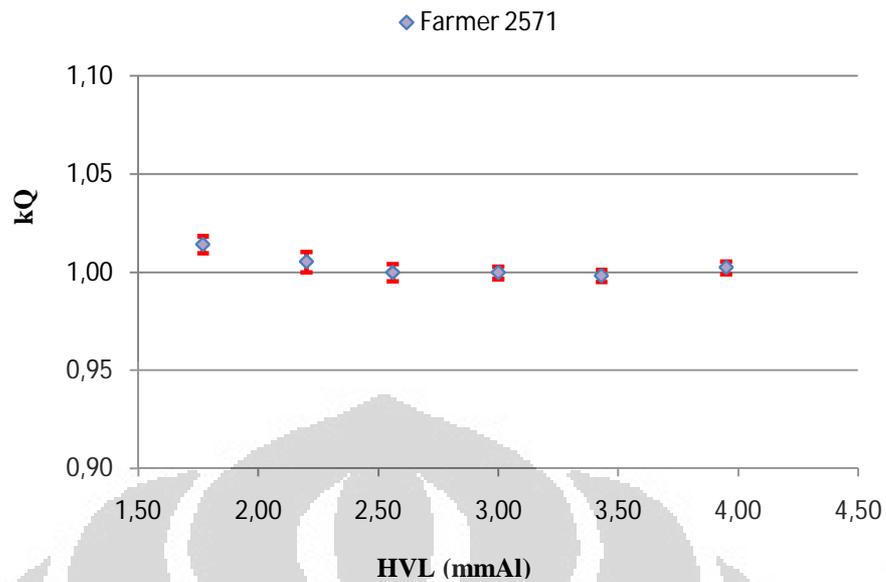
Faktor koreksi diperoleh dari koefisien kalibrasi masing-masing detektor dan ditunjukkan pada tabel 4.9.

Tabel 4.9. Nilai Faktor Koreksi, kQ Detektor

Kualitas Radiasi	Tegangan Tabung Sinar-X (kV)	Added Filter (mmAl)	HVL (mmAl)	kQ Farmer 2571 Terhadap Unfors	kQ TLD 100 LiF Terhadap Unfors
RQR 3	50	2.52	1.77	1.014±0.004	0.962±0.071
RQR 4	60	2.94	2.20	1.005±0.005	0.965±0.067
RQR 5*	70	2.83	2.56	1.000±0.004	1.000±0.053
RQR 6	80	3.10	3.00	1.000±0.003	0.982±0.044
RQR 7	90	3.31	3.43	0.998±0.003	0.983±0.066
RQR 8	100	3.35	3.95	1.002±0.003	0.960±0.045

Tabel 4.9 memberikan nilai kQ dari masing-masing detektor, yaitu detektor Farmer 2571 dan TLD 100 LiF. Nilai faktor koreksi untuk detektor Farmer 2571 menunjukkan nilai yang relatif konstan, karena tidak jauh dari nilai referensi 1.000±0.004 yaitu pada rentang 0.998±0.003 sampai dengan 1.014±0.004. Ini menunjukkan bahwa respon detektor baik pada rentang energi dengan tegangan tabung 50-100 kV.

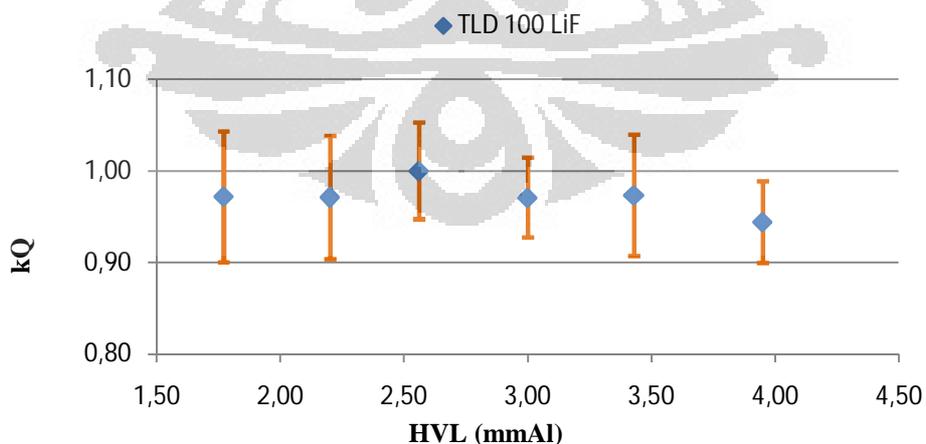
Pada tabel 4.9 bisa dibuat kurva hubungan antara kualitas radiasi dengan faktor koreksi, ini menggambarkan bagaimana respon detektor terhadap kualitas radiasi. Kurva ditunjukkan pada gambar 4.1.



Gambar 4.1. Kurva Faktor koreksi Detektor Farmer 2571 Terhadap Kualitas Radiasi.

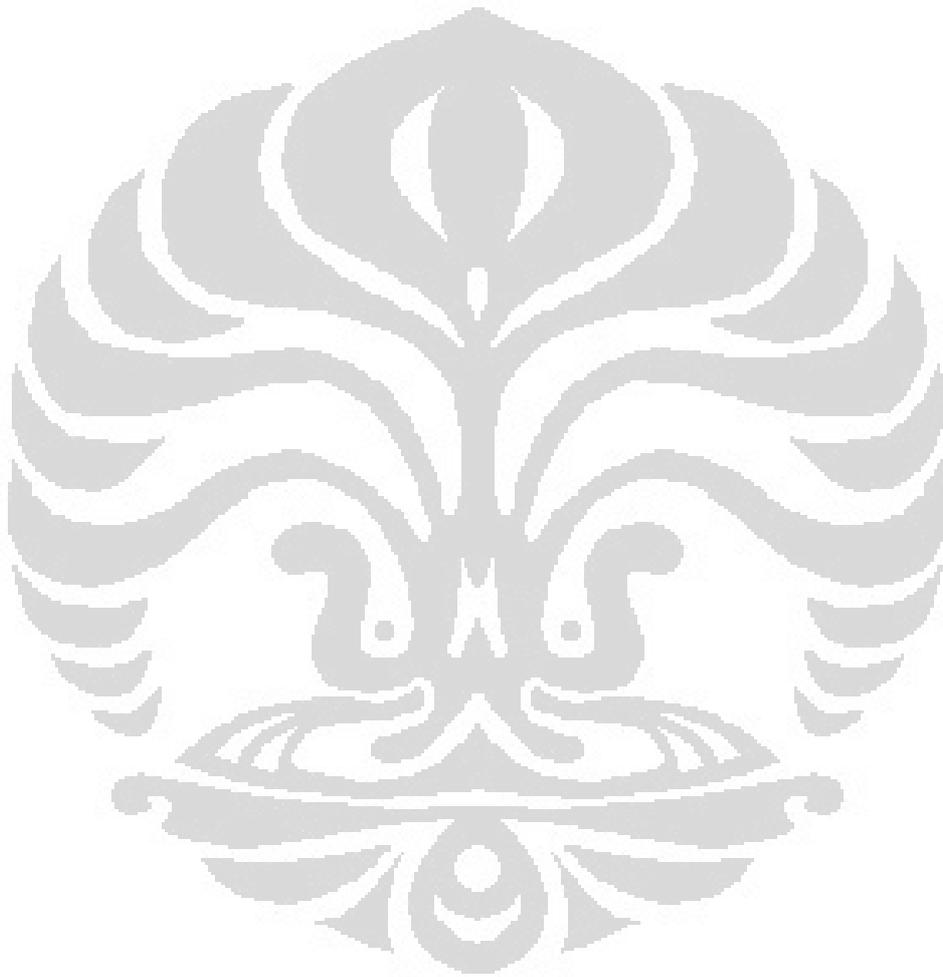
Kurva faktor koreksi detektor Farmer 2571 terhadap kualitas radiasi yang digambarkan pada gambar 4.1 memberikan informasi bahwa nilainya tidak terlalu bervariasi karena setiap titik mendekati titik referensi, sehingga bisa digunakan untuk keperluan kalibrasi detektor. Detektor cukup dikalibrasi pada satu energi.

Nilai faktor koreksi untuk TLD 200 LiF menunjukkan nilai yang bervariasi pada rentang $0.960 \pm 0.045 - 1.000 \pm 0.053$ dengan referensi 1.000 ± 0.053 .



Gambar 4.2. Kurva Faktor koreksi TLD 100 LiF Terhadap Kualitas Radiasi

Kurva faktor koreksi energi terhadap kualitas radiasi untuk TLD 100 LiF ditunjukkan pada gambar 4.2. Nilai faktor koreksi TLD 100 LiF terhadap kualitas radiasi pada kurva bervariasi, sehingga mengakibatkan kurva tidak bisa digunakan untuk keperluan kalibrasi yang hanya pada satu energi saja, namun kalibrasi harus dilakukan pada masing-masing energy RQR.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengukuran pada penelitian analisis faktor koreksi kQ, Q₀ Detektor Radiodiagnostik Terhadap Kualitas Radiasi RQR Menggunakan Protokol IAEA TRS No. 457 adalah sebagai berikut :

1. Added filter untuk HVL pada rentang tegangan kerja RQR dengan menggunakan filter aluminium dari pesawat sinar-x Y.TU 320-D03 SSDL BATAN menunjukkan nilai mendekati nilai referensi pada protokol *Technical Reports Series* (TRS) No. 457. Total added filter yang dibutuhkan ditunjukkan pada tabel 5.1.

Tabel 5.1 : Karakteristik kualitas radiasi RQR pesawat sinar-x Y.TU 320-D03

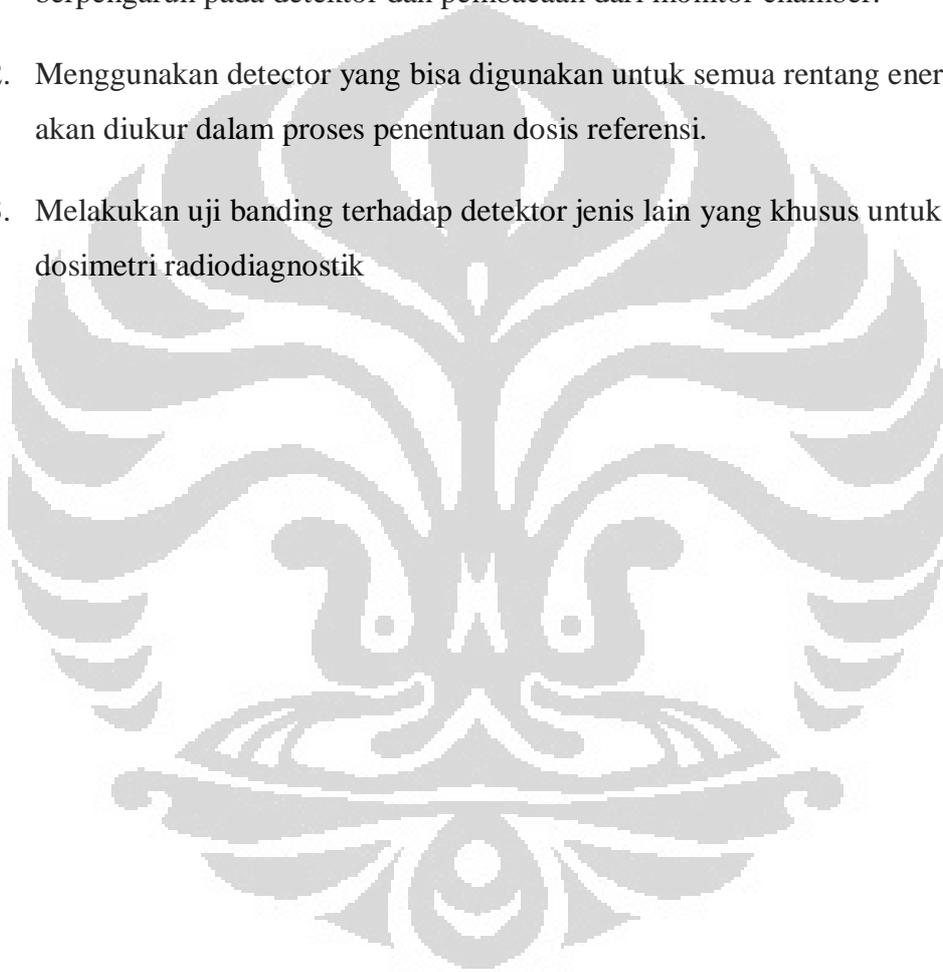
Kualitas Radiasi	Tegangan Tabung Sinar-x (kV)	Added Filter Pengukuran (mmAl)	HVL (mmAl)	Koefisien Homogenitas Pengukuran (h)
RQR 2	40	2.69	1.39	0.94
RQR 3	50	2.52	1.77	0.81
RQR 4	60	2.94	2.20	0.73
RQR 5*	70	2.83	2.56	0.75
RQR 6	80	3.1	3.00	0.70
RQR 7	90	3.31	3.43	0.71
RQR 8	100	3.35	3.95	0.69
RQR 9	120	3.8	5.07	0.66
RQR 10	150	4.26	6.52	0.72

2. Berdasarkan hasil pengukuran HVL₁ dan HVL₂ diperoleh koefisien homogenitas minimal 0.66 untuk RQR9 dan maksimal 0.94 untuk RQR2.
3. Nilai faktor koreksi detektor farmer 2571 terhadap kualitas radiasi tidak bervariasi dan relatif konstan 1.000 ± 0.004 pada rentang RQR3-RQR8, sehingga kalibrasi cukup dilakukan pada energi referensi RQR5. Berbeda dengan Farmer 2571, TLD 100 LiF memiliki faktor koreksi yang bervariasi

antara 0.944 ± 0.045 sampai dengan 1.000 ± 0.053 sehingga kalibrasi sebaiknya dilakukan pada tiap kualitas radiasi RQR.

Sebagai tindak lanjut dari penelitian ini, kedepan ada beberapa poin penting yang dianjurkan untuk dilakukan antara lain :

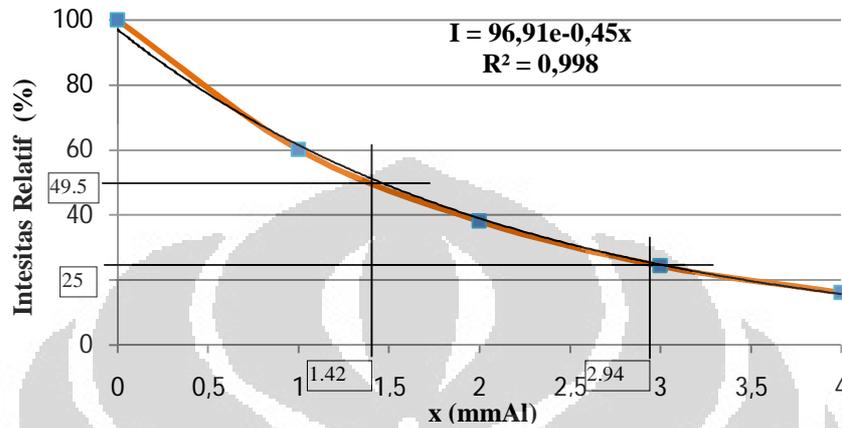
1. Menjaga keadaan system, seperti suhu, dan kelembaban yang tidak melebihi batas operasional yaitu suhu 22 ± 4 °C dan kelembaban 40-60 %, karena akan berpengaruh pada detektor dan pembacaan dari monitor chamber.
2. Menggunakan detector yang bisa digunakan untuk semua rentang energi yang akan diukur dalam proses penentuan dosis referensi.
3. Melakukan uji banding terhadap detektor jenis lain yang khusus untuk aplikasi dosimetri radiodiagnostik



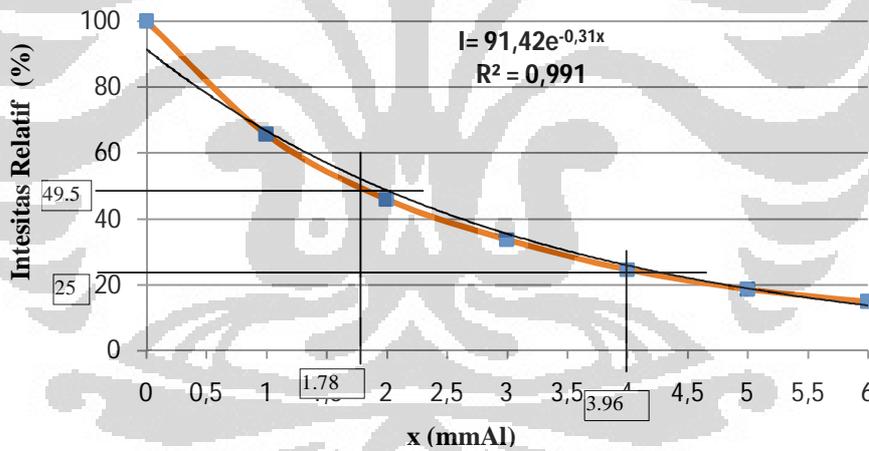
LAMPIRAN I

Grafik HVL RQR

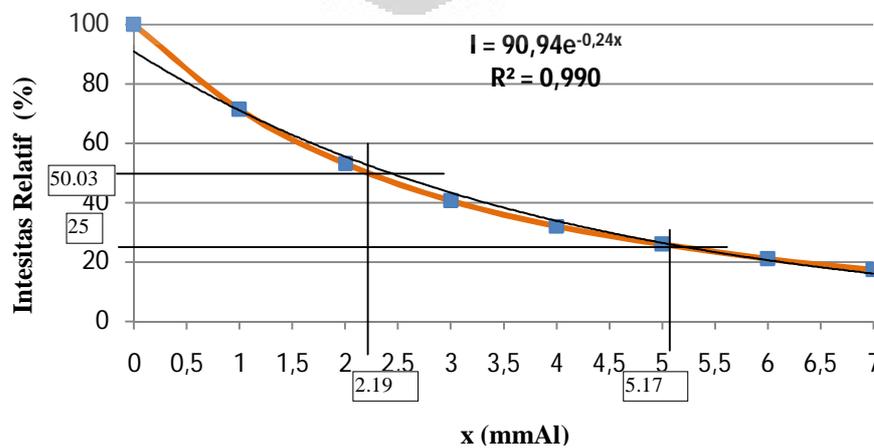
a) 40 kV (Added Filter 2.69 mmAl)



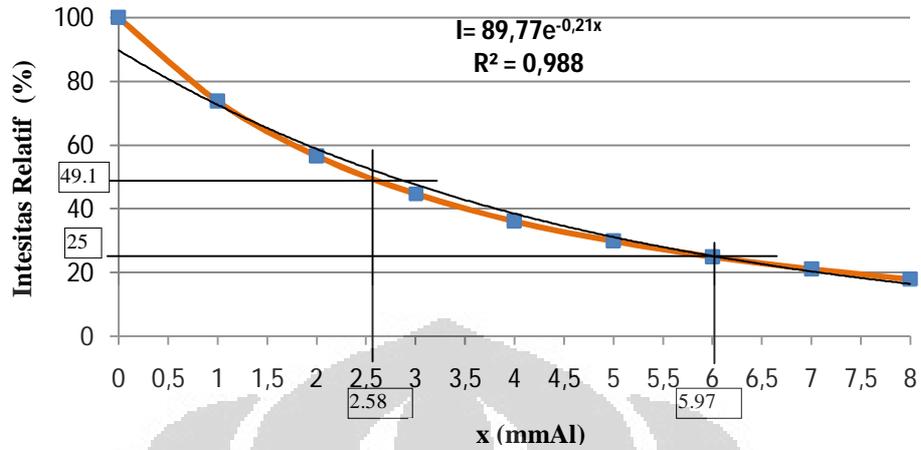
b) 50 kV (Added Filter 2.52 mmAl)



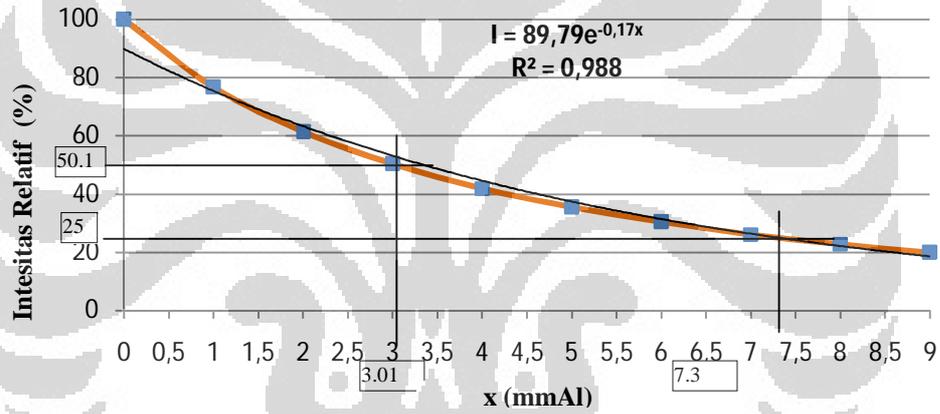
c) 60 kV (Added Filter 2.94 mmAl)



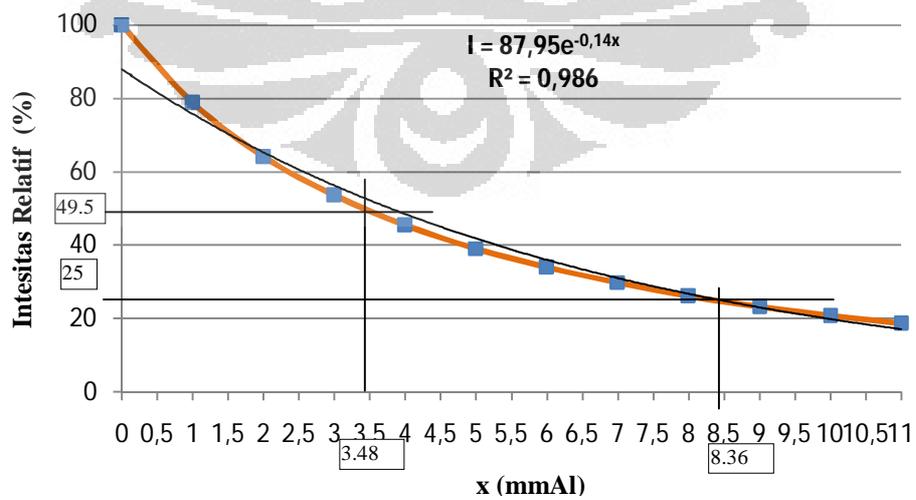
d) 70 kV (Added Filter 2.83 mmAl)



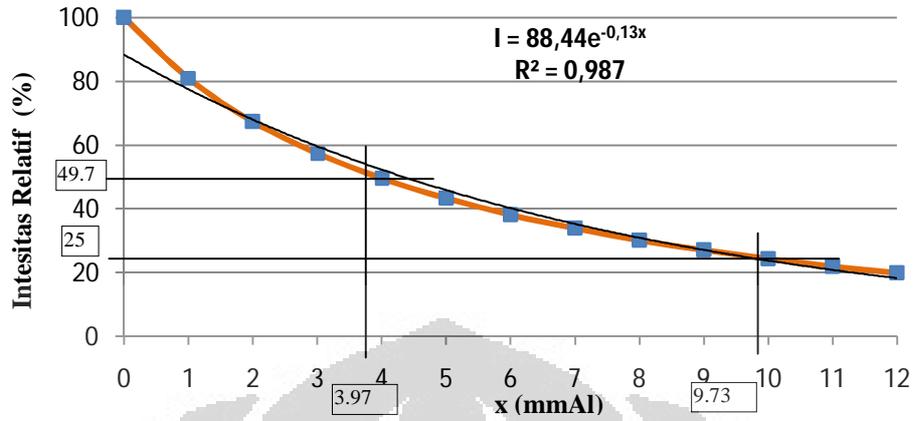
e) 80 kV (Added Filter 3.1 mmAl)



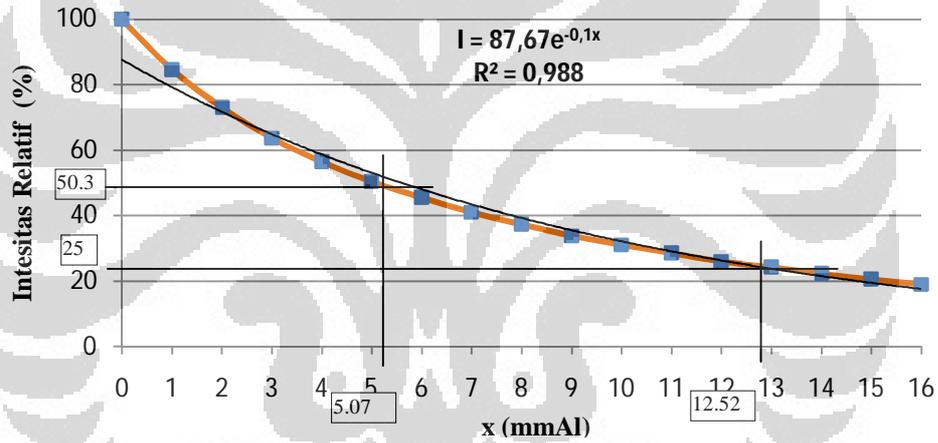
f) 90 kV (Added Filter 3.31 mmAl)



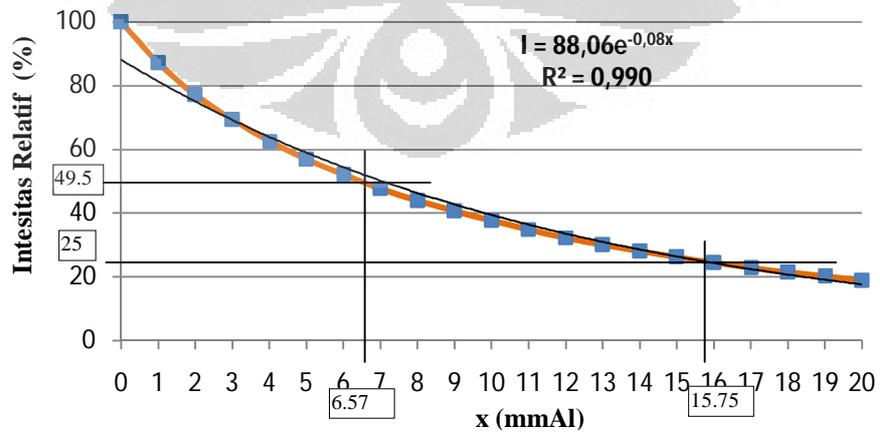
g) 100 kV (Added Filter 3.35 mmAl)



h) 120 kV (Added Filter 3.8 mmAl)



i) 150 kV (Added Filter 4.26 mmAl)



LAMPIRAN II

Data Pengukuran Faktor Koreksi Detektor

A. Farmer 2571

- Waktu untuk 100 mGy

kV panel kV	kV Ukur kVp	Laju Dosis (mGy/s)	Dosis (mGy)	Waktu (s)	Waktu menit
50	49.582	0.327	100.000	305.547	5.092
	49.567	0.327	100.000	305.661	5.094
	49.645	0.327	100.000	305.707	5.095
	49.640	0.327	100.000	306.126	5.102
	49.587	0.327	100.000	306.060	5.101
Rata-Rata	49.60	0.33	100.00	305.82	5.097
60	59.473	0.418	100.000	239.002	3.983
	59.483	0.419	100.000	238.762	3.979
	59.342	0.419	100.000	238.706	3.978
	59.494	0.419	100.000	238.768	3.979
	59.325	0.418	100.000	239.002	3.983
Rata-Rata	59.423	0.419	100.000	238.848	3.981
70	70.204	0.596	100.000	167.839	2.797
	70.318	0.595	100.000	167.974	2.800
	70.035	0.595	100.000	168.018	2.800
	70.099	0.596	100.000	167.839	2.797
	70.113	0.596	100.000	167.878	2.798
Rata-Rata	70.158	0.596	100.000	167.915	2.799
80	80.600	0.703	100.000	142.188	2.370
	80.491	0.704	100.000	142.069	2.368
	80.649	0.704	100.000	142.056	2.368
	80.302	0.704	100.000	142.125	2.369
	80.563	0.704	100.000	142.078	2.368
Rata-Rata	80.521	0.704	100.000	142.103	2.368
90	90.992	0.842	100.000	118.727	1.979
	90.832	0.843	100.000	118.690	1.978
	90.961	0.842	100.000	118.713	1.979
	90.698	0.842	100.000	118.825	1.980
	90.944	0.842	100.000	118.708	1.978
Rata-Rata	90.885	0.842	100.000	118.733	1.979
100	101.550	1.022	100.000	97.858	1.631
	101.481	1.022	100.000	97.872	1.631
	100.980	1.022	100.000	97.867	1.631
	100.990	1.021	100.000	97.953	1.633
	101.029	1.021	100.000	97.991	1.633
Rata-Rata	101.206	1.021	100.000	97.908	1.632

- Verifikasi Dosis

kV panel kv	kVukur kvp	Laju Dosis (mGy/s)	waktu (menit)	(s)	Dosis Hit (mGy)	Dosis ukur (mGy)	Δ Dosis
50	49.527	0.327	5.000	6.000	100.081	100.374	0.003
	49.507	0.327	5.000	6.000	100.211	100.456	0.002
	49.507	0.327	5.000	6.000	100.211	100.538	0.003
	49.507	0.327	5.000	6.000	100.211	100.620	0.004
	49.507	0.327	5.000	6.000	100.211	100.702	0.005
Rata-Rata	49.511	0.327	5.000	6.000	100.185	100.538	0.004
60	59.356	0.419	3.000	59.000	100.045	100.031	0.000
	59.466	0.419	3.000	59.000	100.159	100.067	-0.001
	59.466	0.419	3.000	59.000	100.159	100.067	-0.001
	59.466	0.419	3.000	59.000	100.159	100.067	-0.001
	59.466	0.419	3.000	59.000	100.159	100.067	-0.001
Rata-Rata	59.444	0.419	3.000	59.000	100.137	100.060	-0.001
70	70.115	0.596	2.000	48.000	100.045	99.988	-0.001
	70.268	0.595	2.000	48.000	99.975	99.974	0.000
	70.201	0.595	2.000	48.000	99.941	100.579	0.006
	70.168	0.595	2.000	48.000	100.003	99.985	0.000
	70.071	0.595	2.000	48.000	99.921	99.972	0.001
	70.265	0.597	2.000	48.000	100.223	99.972	-0.003
Rata-Rata	70.181	0.595	2.000	48.000	100.018	100.078	0.001
80	80.630	0.704	2.000	22.000	99.963	99.955	0.000
	80.629	0.704	2.000	22.000	100.032	99.991	0.000
	80.629	0.704	2.000	22.000	100.032	99.991	0.000
	80.629	0.704	2.000	22.000	100.032	99.991	0.000
	80.629	0.704	2.000	22.000	100.032	99.991	0.000
Rata-Rata	78.888	0.686	2.000	22.000	100.018	99.999	0.000
90	90.783	0.843	1.000	59.000	100.268	101.088	0.008
	90.793	0.842	1.000	59.000	100.162	100.261	0.001
	90.793	0.842	1.000	59.000	100.162	100.261	0.001
	90.793	0.842	1.000	59.000	100.162	100.261	0.001
	90.793	0.842	1.000	59.000	100.162	100.261	0.001
Rata-Rata	90.791	0.842	1.000	59.000	100.183	100.426	0.002
100	101.691	1.021	1.000	38.000	100.030	100.108	0.001
	101.241	1.020	1.000	38.000	100.001	101.120	0.011
	101.241	1.020	1.000	38.000	100.001	101.120	0.011
	101.241	1.020	1.000	38.000	100.001	101.120	0.011
	101.241	1.020	1.000	38.000	100.001	101.120	0.011
Rata-Rata	101.331	1.020	1.000	38.000	100.007	100.918	0.009

- Koefisien Kalibrasi, Nk

Suhu (oC)	Tekanan (mBar)	Kp,t	Bacaan (nC)	Bacaan Corr (nC)	Nk
19.300	1008.000	1.003	2.325	2.331	43.061
19.200	1008.000	1.002	2.345	2.350	42.744
19.200	1008.000	1.002	2.335	2.340	42.962
19.100	1008.000	1.002	2.335	2.339	43.011
19.100	1008.000	1.002	2.340	2.344	42.954
19.180	1008.000	1.002	2.336	2.341	42.946
19.300	1008.000	1.003	2.335	2.341	42.730
19.200	1008.000	1.002	2.355	2.360	42.397
19.200	1008.000	1.002	2.335	2.340	42.760
19.200	1008.000	1.002	2.345	2.350	42.578
19.200	1008.000	1.002	2.355	2.360	42.397
19.220	1008.000	1.002	2.345	2.350	35.478
19.200	1011.000	0.999	2.365	2.363	42.310
19.100	1011.000	0.999	2.360	2.357	42.408
19.100	1011.000	0.999	2.360	2.357	42.665
19.100	1011.000	0.999	2.375	2.372	42.145
19.100	1011.000	0.999	2.360	2.357	42.407
19.100	1011.000	0.999	2.375	2.372	42.140
19.117	1011.000	0.999	2.366	2.363	42.346
19.200	1010.000	1.000	2.360	2.361	42.344
19.200	1010.000	1.000	2.360	2.361	42.359
19.100	1010.000	1.000	2.360	2.360	42.373
19.100	1010.000	1.000	2.365	2.365	42.284
19.200	1010.000	1.000	2.360	2.361	42.359
19.160	1010.000	1.000	2.361	2.361	42.344
19.200	1010.000	1.000	2.375	2.376	42.553
19.200	1010.000	1.000	2.375	2.376	42.205
19.200	1010.000	1.000	2.375	2.376	42.205
19.200	1010.000	1.000	2.375	2.376	42.205
19.200	1010.000	1.000	2.375	2.376	42.205
19.200	1010.000	1.000	2.375	2.376	42.275
19.300	1008.000	1.003	2.370	2.376	42.132
19.300	1008.000	1.003	2.370	2.376	42.558
19.200	1008.000	1.002	2.370	2.375	42.572
19.200	1008.000	1.002	2.375	2.380	42.483
19.200	1008.000	1.002	2.375	2.380	42.483
19.240	1008.000	1.002	2.372	2.378	42.445

B. TLD 100 LiF

- Waktu untuk 100 mGy

kv panel kv	kVukur kvp	laju dosis (mGy/s)	Dosis (mGy)	Waktu (s)	Waktu menit
50	49.775	0.312	100.000	320.136	5.336
	49.853	0.313	100.000	319.821	5.330
	49.851	0.312	100.000	320.011	5.334
	49.733	0.313	100.000	319.872	5.331
	49.854	0.313	100.000	319.877	5.331
Rata-Rata	49.813	0.313	100.000	319.944	5.332
60	59.434	0.399	100.000	250.765	4.179
	59.557	0.399	100.000	250.603	4.177
	59.583	0.399	100.000	250.667	4.178
	59.357	0.399	100.000	250.796	4.180
	59.442	0.399	100.000	250.635	4.177
Rata-Rata	59.475	0.399	100.000	250.693	4.178
70	69.881	0.572	100.000	174.824	2.914
	69.966	0.572	100.000	174.673	2.911
	70.017	0.572	100.000	174.826	2.914
	69.783	0.571	100.000	175.042	2.917
	69.996	0.572	100.000	174.919	2.915
Rata-Rata	69.928	0.572	100.000	174.857	2.914
80	80.558	0.686	100.000	145.872	2.431
	80.473	0.686	100.000	145.829	2.430
	80.535	0.686	100.000	145.849	2.431
	80.670	0.686	100.000	145.843	2.431
	80.280	0.685	100.000	145.901	2.432
Rata-Rata	80.503	0.686	100.000	145.859	2.431
90	90.561	0.820	100.000	121.978	2.033
	90.521	0.819	100.000	122.036	2.034
	90.440	0.820	100.000	122.011	2.034
	90.582	0.819	100.000	122.045	2.034
	90.857	0.820	100.000	121.940	2.032
Rata-Rata	90.592	0.820	100.000	122.002	2.033
100	101.054	1.015	100.000	98.522	1.642
	101.064	1.016	100.000	98.434	1.641
	101.102	1.016	100.000	98.449	1.641
	100.982	1.016	100.000	98.447	1.641
	101.088	1.016	100.000	98.443	1.641
Rata-Rata	101.058	1.016	100.000	98.459	1.641

- Data Bacaan TLD

kV	Bacaan nC	BG	Bacaan TLD nC
50	224.00	0.53	223.47
	229.10	0.90	228.20
	201.10	0.67	200.43
	226.80	0.87	225.93
	238.30	1.36	236.94
Rata-rata			222.99
60	206.00	1.07	204.93
	227.20	0.92	226.28
	225.50	1.42	224.08
	235.40	1.20	234.20
Rata-rata			222.37
70	204.50	0.45	204.05
	209.60	0.83	208.77
	219.60	1.31	218.29
	224.50	0.49	224.01
	218.90	1.31	217.59
Rata-rata			214.54
80	220.20	0.37	219.83
	220.70	0.53	220.17
	211.90	0.39	211.51
	223.90	1.08	222.82
Rata-rata			218.58
90	213.20	0.69	212.51
	205.20	0.63	204.57
	231.90	0.99	230.91
	226.10	1.00	225.10
Rata-rata			218.27
100	233.10	1.66	231.44
	220.00	0.80	219.20
	222.80	1.19	221.61
	222.50	0.77	221.73
Rata-rata			223.50