



UNIVERSITAS INDONESIA

**RESPON DETEKTOR RADIODIAGNOSTIK TERHADAP
PERUBAHAN KUALITAS RADIASI PESAWAT SINAR-X
PADA RENTANG RQA BERDASARKAN *TECHNICAL
REPORT SERIES NO. 457***

SKRIPSI

SASONO WIJANARKO

0305020829

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

PROGRAM STUDI S1 FISIKA

PEMINATAN FISIKA MEDIS DAN BIOFISIKA

DEPOK

JUNI 2010



UNIVERSITAS INDONESIA

**RESPON DETEKTOR RADIODIAGNOSTIK TERHADAP
PERUBAHAN KUALITAS RADIASI PESAWAT SINAR-X
PADA RENTANG RQA BERDASARKAN *TECHNICAL
REPORT SERIES NO. 457***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana sains

SASONO WIJANARKO

0305020829

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI S1 FISIKA
PEMINATAN FISIKA MEDIS DAN BIOFISIKA
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

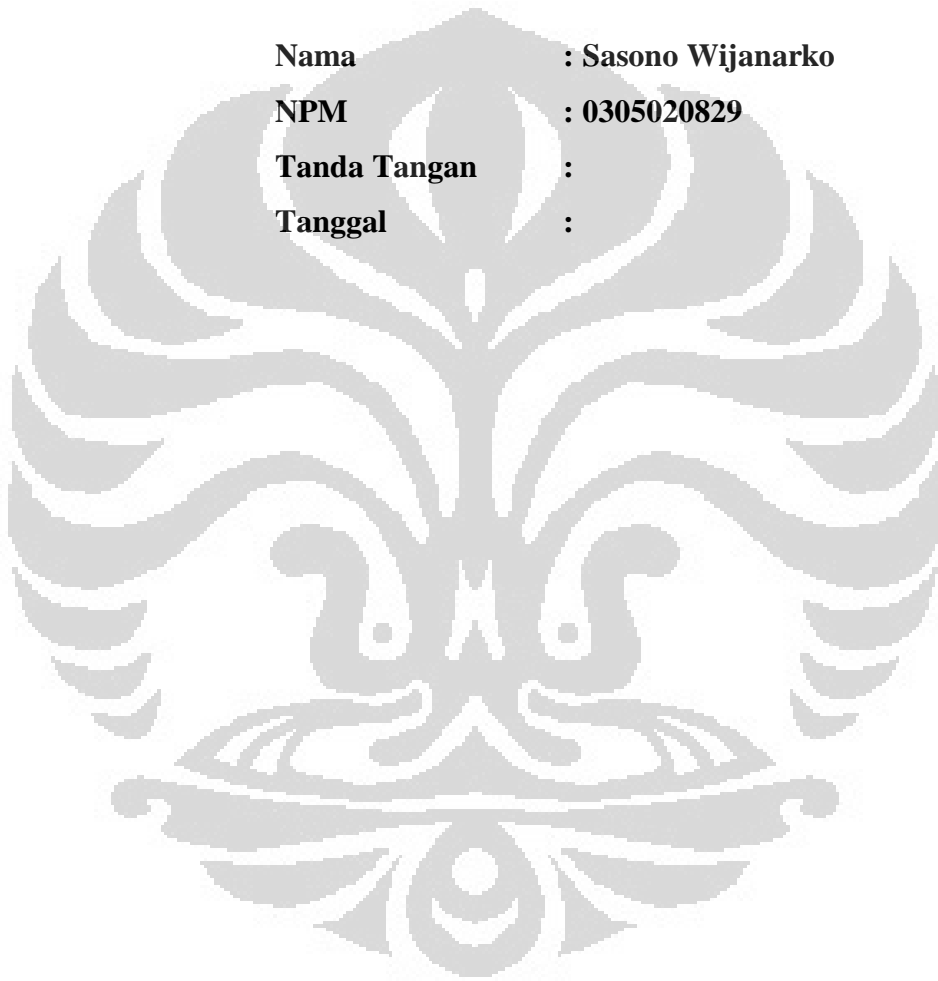
**Skripsi ini adalah hasil karya sendiri,
dan semua sumber yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : Sasono Wijanarko

NPM : 0305020829

Tanda Tangan :

Tanggal :



LEMBAR PENGESAHAN

Nama Mahasiswa : Sasono Wijanarko
NPM : 0305020829
Program Studi : S1 Fisika, Peminatan Fisika Medis dan Biofisika
Judul Skripsi : Respon Detektor Radiodiagnostik Terhadap Perubahan
Kualitas Radiasi Pesawat Sinar-X Pada Rentang RQA
Berdasarkan *Technical Report Series* No. 457

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi S1 Fisika Peminatan Fisika Medis dan Biofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Dwi Seno Kuncoro, M.Si

(.....)

Pembimbing II: Heru Prasetyo, M.Si

(.....)

Penguji I : Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko

(.....)

Penguji II : Kristina Tri Wigati, M.Si

(.....)

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 14 Juni 2010

KATA PENGANTAR

Tiada kata yang pantas penulis ucapkan melainkan puji syukur kepada Allah SWT, karena atas bimbingan, petunjuk, rahmat dan karunia-Nya penulis dapat merajut untaian langkah, menapaki waktu demi waktu, hari demi hari, serta bulan demi bulan. Shalawat dan salam semoga selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW, sebagai suri tauladan umat manusia.

Banyak pelajaran hidup dan pengalaman yang telah dirasakan penulis. Menyadari memang itulah proses yang harus dilalui. Sebuah proses yang menghantarkan penulis untuk merampungkan suatu kewajiban dari sebuah amanah bagi kehidupan selanjutnya. Sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan satu pekerjaan besar proses pengerjaan skripsi ini.

Penulis pun berharap, semoga apa yang telah dijalankan selama ini akan menjadi pembelajaran berharga dan menjadi salah satu proses untuk menjadi lebih dewasa. Demi sebuah keyakinan, demi kemanusiaan, dan demi sebuah pengamalan atas ilmu yang telah dititipkan.

Pada kesempatan kali ini pun, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang mendalam kepada berbagai pihak yang telah memberikan banyak bantuan dan dukungan, diantaranya:

1. **Ayahanda dan Ibunda** penulis yang selalu mendoakan penulis tanpa mengharap balasan apapun. Yang tak pernah menghiraukan berapa banyak tetesan air mata dan kucuran keringat yang keluar. Demi memberikan yang terbaik bagi anak-anaknya.
2. **Mbak Ika** walaupun telah lama raga ini tak berjumpa, tapi koko yakin Mbak tetap mendoakan yang terbaik untuk adiknya dari kejauhan.
3. **Adik-adikku : Ning, Nana** yang telah memberikan doa dan dukungan, juga sebagai teman bercanda untuk menghilangkan penat.
4. **Bapak Heru Prasetyo, M.Si** selaku dosen pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu, memberikan saran, masukan, arahan serta solusi alternatif ditengah kebuntuan ide. Juga menjadi teman diskusi yang baik dalam pengerjaan dan penulisan skripsi ini.

5. **Bapak Dwi Seno Kuncoro, M.Si** selaku dosen pembimbing yang telah memberikan saran, masukan dan arahan dalam penulisan skripsi ini. Serta menjadi teman diskusi yang baik.
6. **Ibu Prof. Dr. Djarwani S. Soejoko** selaku dosen penguji yang telah menyempatkan waktu untuk berdiskusi dan memberikan masukan serta arahan untuk perbaikan penulisan skripsi ini.
7. **Mbak Kristina Tri Wigati, M.Si** selaku dosen penguji yang telah menyempatkan waktu untuk berdiskusi dan juga memberikan masukan kepada penulis.
8. **Staf pengajar Dept Fisika UI**, terima kasih atas segala ilmu yang telah dititipkan kepada penulis.
9. **Ibu Dra. C. Tuti Budiantari, Bapak Drs. Nurman Rajagukguk, Mas Assef Fernando, ST** selaku pembimbing teknis yang telah banyak memberikan masukan, arahan serta pengetahuan baru mengenai fisika medis.
10. **Mas Kri Wahyudi, S.Si** yang sempat memberikan masukan serta pengalamannya.
11. **Ainur Rahmi** sebagai kawan kerja skripsi ini. Yang telah menjadi teman diskusi yang baik dan menyenangkan, banyak memberikan motivasi, serta sering mengingatkan penulis yang memang pelupa.
12. **Muhammad Fadli, Rifki Andrian, Bondan Dwi. S, Siti Aisyah, Margo Setiawan** teman tempat berbagi cerita, berbagi pengalaman dan saling memberikan motivasi.
13. **Ahmad Fauzi, Rachmat Andika, Andreas N, Hara S** yang sempat turut membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.
14. **Mbak Ratna, Pak Mawardi, Mas Rizki** dan seluruh pengurus sekretariat Departemen Fisika. Terima kasih atas banyak bantuannya kepada penulis selama ini.
15. **Teman-teman Forsilamis dan Rospad 42**, yang banyak memberikan doa, motivasi, dukungan serta pengertian kepada penulis yang tidak bisa membantu banyak dalam pelaksanaan program yang telah direncanakan.
16. Seluruh teman-teman Fisika angkatan tahun 2005 yang telah banyak memberikan motivasi dan dukungan selama ini.

17. Teman-teman Fisika angkatan 2003, 2004, 2006, 2007, 2008, 2009, terima kasih atas kebersamaannya. Sehingga penulis bisa merasakan warna baru dimasa perkuliahan.
18. Semua pihak yang belum disebutkan disini, terima kasih atas doa serta dukungannya selama ini.

Penulis menyadari penelitian ini masih jauh dari sempurna, karena keterbatasan yang ada. Oleh karena itu saran dan kritik yang konstruktif sangat diharapkan. Sehingga, semoga nantinya apa yang dihasilkan ini dapat bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan selanjutnya. Terima kasih.

Jakarta, 10 Juni 2010

Sasono Wijanarko

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertandatangan
dibawah ini :

Nama : Sasono Wijanarko

NPM : 0305020829

Program Studi : S1 Fisika Reguler

Departemen : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Jenis Karya : Skripsi

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

**Respon Detektor Radiodiagnostik Terhadap Perubahan Kualitas Radiasi
Pesawat Sinar-X Pada Rentang RQA Berdasarkan *Technical Report Series
No. 457***

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di :

Pada tanggal :

Yang menyatakan

(Sasono Wijanarko)

ABSTRAK

Nama : Sasono Wijanarko
Program Studi : S1 Fisika Reguler
Judul : **Respon Detektor Radiodiagnostik Terhadap Perubahan Kualitas Radiasi Pesawat Sinar-X Pada Rentang RQA Berdasarkan *Technical Report Series* No. 457**

Penentuan respon detektor dilakukan dengan menggunakan detektor Unfors, detektor jenis Farmer dan detektor TK 30cc. Penelitian menggunakan pesawat sinar-x Y.TU 320-D03. Besar energi yang digunakan 50 sampai 100 kV pada kualitas RQA berdasarkan *Technical Report Series* no.457. Penelitian ini menghasilkan respon detektor jenis Farmer bernilai besar pada energi tinggi, sehingga menghasilkan faktor koreksi yang kecil. Dengan demikian efisiensi detektor Farmer pada kualitas RQA lebih baik pada energi tabung (kV) yang tinggi. Dan untuk detektor TK 30 cc menghasilkan nilai faktor koreksi yang cenderung datar .

Kata kunci : Respon detektor, Farmer, TK 30cc, faktor koreksi

ABSTRACT

Name : Sasono Wijanarko
Study Program : S1 Regular Physics
Title : **Radiodiagnostic Detector Response of Changing Radiation Quality of X-Ray Machine at RQA Range Based on Technical Report Series No. 457**

Radiodiagnostic detector response determination using Unfors detector, Farmer detector and TK 30cc detector. The research using x-ray machine Y.TU 320-D03. The energy that used is 50 until 100 kV for RQA quality based on Technical Report Series no. 457. This research resulting that Farmer detector response have a greater value for high energy, so that resulting small value of correction factor. Thus, the efficiency Farmer detector much better for high energy of tube x-ray machine. And, for TK 30cc detector resulting flat value of correction factor.

Keywords: detector response, Farmer, TK 30cc, correction factor

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Sistematika Penulisan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pendahuluan Sinar-X	4
2.2 Interaksi Terhadap Materi	6
2.3 Kualitas Radiasi	7
2.4 Alat Ukur Radiasi	10
2.5 Sistem Detektor Kamar Pengion	13
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Alat dan Bahan	15
3.2 Metode Penelitian	18
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Penentuan Besar <i>Added Filter</i> Pesawat Sinar-X	21
4.2 Kesesuaian HVL Kualitas Radiasi RQA	22
4.3 Respon Detektor Terhadap Kualitas Radiasi RQA	23
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	29
5.1 Kesimpulan	29
5.2 Saran	29
DAFTAR PUSTAKA	30
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Skema tabung pesawat sinar-x	5
Gambar 2.2. Efek fotolistrik	6
Gambar 2.3. Hamburan compton	7
Gambar 2.4. Menentukan HVL_1 dan HVL_2	8
Gambar 2.5. Skema detektor kamar pengion	14
Gambar 2.6. Skema detektor plan-paralel	14
Gambar 3.1.a. Tabung pesawat sinar-x Y.TU 320-D03	15
b. Pengontrol pesawat sinar-x	15
Gambar 3.2.a. Elektrometer Keithley 6487	15
b. Detektor bilik ionisasi Farmer NE 2571	15
Gambar 3.3. Filter alumunium dengan ketebalan yang berbeda	16
Gambar 3.4. Perangkat lunak Excelinx-Keithley	16
Gambar 3.5. Detektor Unfors	17
Gambar 3.6. Detektor TK 30cc	17
Gambar 3.7. Elektrometer Farmer 2570	17
Gambar 3.8. Fantom alumunium (atenuator RQA)	17
Gambar 3.9. Skema <i>set-up</i> peralatan untuk mencari besar <i>added filter</i> pesawat sinar-x	18
Gambar 3.10. Contoh kurva atenuasi radiasi untuk mencari <i>added filter</i>	19
Gambar 3.11. Seting peralatan untuk mencari respon detektor	20
Gambar 4.2. Nilai K_Q detektor jenis Farmer melalui bacaan elektrometer Farmer 2570 terhadap kualitas radiasi RQA	24
Gambar 4.3. Nilai K_Q detektor jenis Farmer melalui bacaan elektrometer Keithley 6487 terhadap kualitas radiasi RQA	25
Gambar 4.4. K_Q detektor TK 30cc melalui bacaan elektrometer Keithley 6487 terhadap kualitas radiasi RQA	27

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Karakteristik kualitas radiasi RQR	9
Tabel 2.2. Karakteristik kualitas radiasi RQA	9
Tabel 4.1. Perolehan filter tambahan pada kualitas radiasi RQR	21
Tabel 4.2. Hasil pengukuran nilai HVL kualitas radiasi RQA dengan detektor Unfors	22
Tabel 4.3. Hasil bacaan elektrometer Farmer 2570 dan K _Q detektor jenis Farmer	23
Tabel 4.4. Hasil bacaan elektrometer Keithley 6487 dan K _Q detektor jenis Farmer	24
Tabel 4.5. Hasil Bacaan Elektrometer Keithley 6487 dan K _Q detektor TK 30cc.....	27

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan zaman, pemanfaatan sumber radiasi kian lama semakin pesat. Salah satu sumber radiasi yang banyak digunakan ialah sinar-x. Untuk bidang kedokteran misalnya, adanya sinar-x tentu saja mempermudah kinerja pelayanan kesehatan bagi masyarakat. Salah satu contoh ialah dalam bidang diagnostik. Kehadiran sinar-x akan mempermudah dokter untuk mendiagnosa bagian dalam tubuh pasien tanpa harus melalui proses pembedahan, seperti CT scan, sinar-x konvensional, fluoroskopi, dan mamografi. Contoh lainnya ialah untuk radioterapi, disini sinar-x dimanfaatkan untuk terapi pengobatan kanker, yakni Linac. Tidak hanya didunia kedokteran, dunia industri pun juga sudah banyak menggunakan manfaat dari sinar-x untuk memastikan kualitas produk yang dihasilkan sebelum dipasarkan.

Manfaat dari radiasi pengion ini memang sangat dirasakan oleh banyak kalangan. Frekuensi pemakaiannya pun hampir setiap hari. Namun sering atau tidaknya sinar-x tersebut digunakan, satu hal yang perlu dilakukan yaitu *quality control* atau pemeriksaan rutin. Pemeriksaan perlu dilakukan guna mengoptimalkan kualitas radiasi dari sinar-x. Dalam pemeriksaan keluaran pesawat sinar-x dibutuhkan alat deteksi radiasi atau biasa disebut dengan detektor.

Setiap detektor harus memiliki respon yang baik terhadap radiasi yang mengenainya. Hal tersebut perlu diketahui agar detektor menunjukkan nilai dosis yang sesuai dengan energi radiasi yang mengenainya. Dan untuk mengetahui respon detektor, ada beberapa cara yang disesuaikan berdasarkan tujuannya. Salah satunya ialah respon detektor radiodiagnostik terhadap perubahan kualitas energi radiasi yang melewati pasien, yang dikenal dengan RQA.

RQA merupakan salah satu kualitas radiasi yang digunakan untuk mengkalibrasi dosimeter radiodiagnostik, dimana kualitas radiasi ini menginterpretasikan pengukuran radiasi dibelakang pasien. Tentu saja dalam penelitian kali ini tidak memakai pasien sungguhan, oleh karena itu dibutuhkan sarana lain yaitu fantom. Fantom yang digunakan ialah fantom padat aluminium

yang bertindak sebagai atenuator. Ketebalan aluminium tersebut berbeda untuk setiap besaran kualitas radiasi pesawat sinar-x berdasarkan protokol TRS no.457.

Parameter yang dapat menggambarkan respon detektor terhadap perubahan kualitas radiasi adalah faktor koreksi detektor atau yang biasa dikenal dengan nilai K_Q . Faktor koreksi dibutuhkan sebagai parameter koreksi detektor jika digunakan pada energi radiasi yang berbeda dengan energi referensi.

Namun sebelum mencari tahu parameter tersebut, mula-mula yang harus dicari ialah besar filter tambahan (*added filter*) pesawat sinar-x yang nantinya akan dipakai sebagai sumber radiasi untuk mengetahui respon detektor. Filter tambahan perlu dicari tahu ketebalannya, karena pesawat sinar-x yang digunakan masih tergolong baru. Sehingga nantinya pesawat sinar-x tersebut memiliki nilai HVL sesuai dengan protokol TRS No. 457. Beberapa hal itulah yang mendasari atau melatar belakangi penelitian kali ini.

1.2 Tujuan Penelitian

- Mencari besar filter tambahan pesawat sinar-x Y.TU 320-D03 untuk mendapatkan nilai HVL sesuai dengan protokol *Technical Reports Series* (TRS) No. 457 untuk kualitas RQR yang akan digunakan sebagai filter tambahan untuk kualitas RQA.
- Menentukan respon detektor terhadap perubahan tegangan (kV) pesawat sinar-x Y.TU 320-D03 pada kualitas radiasi RQA (dengan fantom Al).

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada penentuan besar filter tambahan pesawat sinar-x Y.TU 320-D03 untuk mendapatkan nilai HVL sesuai dengan standar *Technical Reports Series* (TRS) No. 457. Yang dilanjutkan dengan penentuan respon detektor terhadap perubahan kV pada kualitas radiasi RQA. Serta menentukan laju dosis keluaran berkas radiasi pesawat sinar-x Y.TU 320-D03 pada rentang RQA.

1.4 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan ini dibagi menjadi 5 bab, dan setiap bab terdiri dari beberapa sub-bab guna mempermudah penjelasan tiap bagiannya. Dengan uraian sebagai berikut :

Bab 1. Pendahuluan

Merupakan bagian yang berisi tentang penjelasan secara umum yang menjadi latar belakang penelitian, pembatasan masalah yang ingin diselesaikan, tujuan penelitian, serta sistematika penulisan penelitian ini.

Bab 2. Tinjauan Pustaka

Merupakan bagian yang berisi tentang teori-teori yang mendasari dan mendukung proses penelitian. Termasuk juga teori yang menggambarkan karakteristik perangkat maupun peralatan yang digunakan.

Bab 3. Metodologi Penelitian

Merupakan bagian yang berisi tentang tata laksana dalam mencapai tujuan penelitian. Mulai dari hal-hal yang perlu disiapkan hingga peralatan atau sarana yang digunakan. Pada bagian ini juga akan dijelaskan cara kerja yang dilakukan hingga diperolehnya sebuah data yang menjadi tujuan penelitian ini.

Bab 4. Hasil dan Pembahasan

Merupakan bagian yang berisi Data maupun hasil yang didapat dari proses kerja penelitian kali ini akan disajikan dan dibahas secara sistematis dalam bab ini.

Bab 5. Penutup

Merupakan bagian yang berisi tentang kesimpulan penelitian yang telah dilakukan, serta saran-saran yang berguna untuk proses pengembangan selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

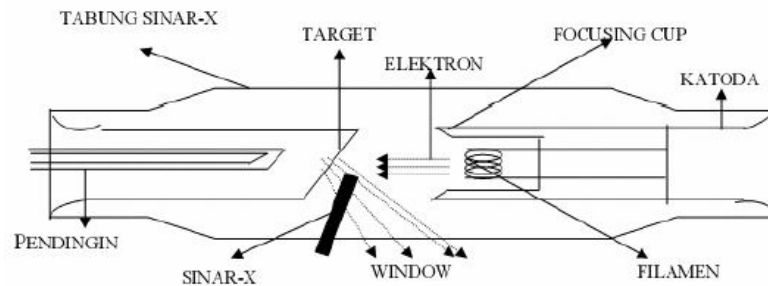
2.1 Pendahuluan Sinar-X

Sinar-x merupakan gelombang elektromagnetik, dimana dalam proses terjadinya memiliki energi yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut didasarkan pada energi kinetik elektron. Sinar-x yang terbentuk ada yang memiliki energi rendah sekali sesuai dengan energi elektron pada saat timbulnya sinar-x. Juga ada yang berenergi tinggi, yakni berenergi sama dengan energi kinetik elektron pada saat menumbuk target anode.

Terbentuknya sinar-x dapat terjadi apabila partikel bermuatan, elektron misalnya, mengalami perlambatan yang diakibatkan adanya interaksi dengan suatu material. Sinar-x yang terbentuk dengan cara demikian disebut sebagai sinar-x bremsstrahlung. Sinar-x bremsstrahlung memiliki energi yang tinggi, yang besarnya sama dengan energi kinetik partikel bermuatan pada awal terjadinya perlambatan.

Selain itu sinar-x juga dapat terbentuk melalui proses perpindahan elektron dari tingkat energi tinggi menuju ke tingkat energi yang lebih rendah. Sinar-x yang terbentuk dengan cara seperti itu mempunyai energi yang sama dengan perbedaan energi antara kedua tingkatan elektron. Energi tersebut merupakan besaran energi yang khas untuk setiap jenis atom. Sehingga sinar-x yang terbentuk disebut sinar-x karakteristik.

Pada dasarnya pesawat sinar-x terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar-x, sumber tegangan tinggi yang mencatu tegangan listrik pada kedua elektrode dalam tabung sinar-x, dan unit pengatur bagian pesawat sinar-x (radiografer.wordpress.com). Tabung pesawat sinar-x yang biasanya terbuat dari bahan gelas yang terdapat filamen. Filamen tersebut berfungsi sebagai katode dan target yang berfungsi sebagai anode. Gambar 2.1 menunjukkan skema dari tabung pesawat sinar-x, tabung tersebut dibuat hampa udara agar elektron yang berasal dari filamen tidak terhalang oleh molekul udara sewaktu menuju ke anode. Filamen yang dipanasi oleh arus listrik berfungsi sebagai sumber elektron. Makin besar arus filamen, akan makin tinggi suhu filamen dan berakibat makin banyak elektron dibebaskan persatuan waktu.



Gambar 2.1 Skema tabung pesawat sinar-x

Elektron-elektron yang dibebaskan oleh filamen tertarik menuju anode karena adanya beda potensial yang besar antara katode dan anode (potensial katode beberapa puluh hingga beberapa ratus KV atau MV lebih rendah dibandingkan potensial anode). Selanjutnya elektron-elektron tersebut akan menumbuk bahan target yang umumnya bernomor atom dan bertitik cair tinggi (misalnya tungsten) dan terjadilah proses bremsstrahlung.

Khusus pada pemercepat partikel energi tinggi beberapa elektron atau partikel yang dipercepat dapat sedikit menyimpang dan menabrak dinding sehingga menimbulkan bremsstrahlung pada dinding. Beda potensial atau tegangan antara kedua elektrode menentukan energi maksimum sinar-x yang terbentuk. Sedangkan fluks sinar-x bergantung pada jumlah elektron persatuan waktu yang sampai ke bidang anode. Namun demikian dalam batas tertentu, tegangan tabung juga dapat mempengaruhi arus tabung. Arus tabung dalam sistem pesawat sinar-x biasanya hanya mempunyai tingkat besaran dalam milliampere (mA), berbeda dengan arus filamen yang besarnya dalam tingkat ampere.

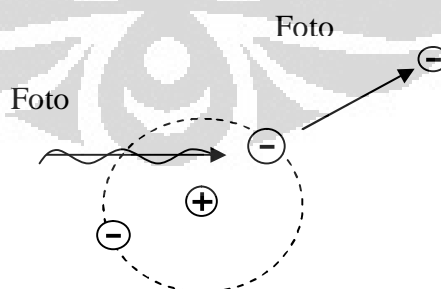
Sumber radiasi yang sebenarnya adalah bidang target dalam tabung sinar-x, bidang ini disebut bidang fokus. Pada proses bremsstrahlung sinar-x mempunyai kemungkinan dipancarkan kesegala arah. Namun demikian bagian dalam tabung atau di sekitar tabung, misalnya logam penghantar anode gelas tabung dan juga rumah tabung yang biasanya terbuat dari logam berat menyerap sebagian besar sinar-x yang dipancarkan sehingga sinar-x yang keluar dari rumah tabung, kecuali yang mengarah ke jendela tabung sudah sangat sedikit. Sinar-x yang dimanfaatkan adalah berkas yang mengarah ke jendela bagian yang tipis dari tabung.

Pesawat sinar-x energi tinggi (orde MV) biasanya lebih dikenal dengan nama pemercepat partikel. Dalam pesawat ini percepatan elektron dilakukan bertingkat-tingkat sehingga pada waktu mencapai target mempunyai energi sangat tinggi, misalnya ada yang sampai setinggi 20 MV atau lebih. Energi sinar-x yang dipancarkan sudah tentu juga sangat tinggi. Sinar-x yang dipancarkan dari pesawat pemercepat partikel memiliki energi yang lebih seragam dibandingkan dengan yang dipancarkan melalui pesawat sinar-x energi rendah. Sasaran pada pesawat pemercepat partikel biasanya sangat tipis, sehingga energi sinar-x yang dipancarkan juga hampir sama.

2.2 Interaksi Terhadap Materi

2.2.1 Efek Fotolistrik

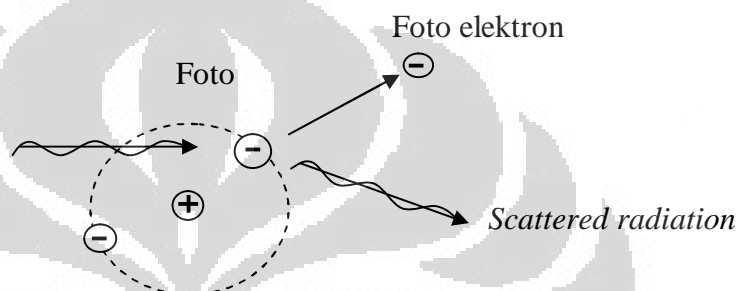
Foton yang berinteraksi dengan materi atau tubuh manusia maka akan mengalami interaksi, salah satunya terjadi efek fotolistrik. Pada peristiwa ini energi foton diserap sepenuhnya oleh materi, lalu energi tersebut dipakai untuk mengeluarkan elektron dari ikatan inti. Elektron-elektron yang terlepas dialami oleh elektron pada kulit terdalam, yaitu kulit k. Elektron yang keluar tersebut disebut foto elektron, dan peristiwanya disebut efek fotolistrik, seperti pada gambar 2.2. Peristiwa ini terjadi pada energi foton yang rendah, kira-kira 50 KeV (dr. Gabriel, JF.1996).



Gambar 2.2 Efek fotolistrik (dr. Gabriel, JF. 1996)

2.2.2 Hamburan Compton

Pada peristiwa ini energi foton yang diserap oleh material yang ditumbuknya hanya sebagian saja. Energi yang diserap digunakan untuk mengeluarkan elektron-elektron bebas atau terikat secara lemah dari atom. Dan sisa energinya terpancar sebagai suatu hamburan radiasi (*scattered radiation*) dengan energi yang lebih rendah dari energi semula. Seperti gambar 2.3, peristiwa ini terjadi pada energi foton sebesar 200 – 1000 KeV (dr. Gabriel, JF.1996).



Gambar 2.3 Hamburan Compton (dr. Gabriel, JF.1996)

2.3 Kualitas Radiasi

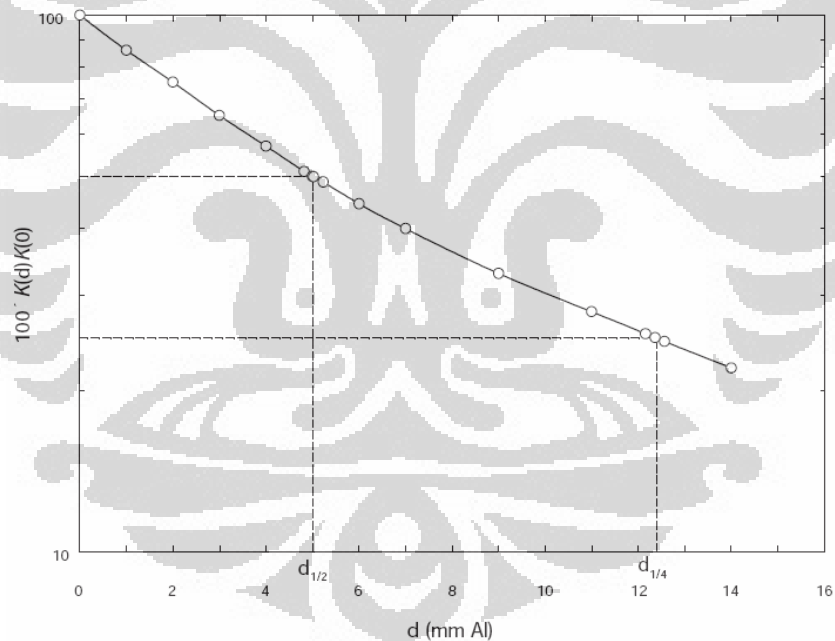
Sinar-x merupakan *non-monokromatis* dan terdiri dari berbagai panjang gelombang. Yang mana kualitasnya tergantung daripada anoda dan katoda didalam tabung sinar-x, juga jaringan listrik yang ada. Untuk mengetahui kualitas sinar-x digunakanlah istilah *Half Value Layer* (HVL), yang dapat diartikan ketebalan material tertentu yang akan membuat intensitas radiasi berkurang sebesar 50 % dari intensitas semula. HVL menunjukkan energi atau daya tembus suatu radiasi, dimana semakin besar/tebal HVL maka daya tembusnya semakin besar.

Gambar 2.5, menunjukkan HVL_1 ($d_{1/2}$) dan HVL_2 ($d_{1/4}$) untuk sinar-x. Dimana HVL_2 merupakan tebal filter yang membuat intensitas radiasi berkurang menjadi 25% dari semula, atau dapat digambarkan melalui persamaan 4. Juga dari nilai HVL_1 dan HVL_2 dapat diketahui pula koefisien homogenitas (h) spektrum sinar-x (tabel 2.1) untuk setiap energi dengan merasiokan nilai keduanya (pers 2). Nilai koefisien homogenitas berada pada rentang 0 s/d 1, dimana untuk radiologi

diagnostik nilai koefisien homogenitasnya berkisar antara 0.7 – 0.9 (*Technical Reports Series No.457.2007*). Sedangkan tabel 2.2 menunjukkan kualitas radiasi pada rentang RQA. RQA ialah *Radiation Qualities with an Attenuated beam after the aluminum addition* (Paulo Marcio C. Oliveira.2007). Kualitas radiasi tersebut merupakan kualitas radiasi yang menginterpretasikan kuantitas dosis radiasi dibelakang pasien. Yang mana kualitas radiasi inilah yang dijadikan acuan dalam pengukuran respon detektor kali ini.

$$HVL_2 = d_{1/4} - HVL_1 \quad (\text{pers. 1})$$

$$h = \frac{HVL_1}{HVL_2} \quad (\text{pers. 2})$$



Gambar 2.4. Menentukan HVL_1 ($d_{1/2}$) dan HVL_2 ($d_{1/4}$) (*Technical Reports Series No.457*)

Tabel 2.1 Karakteristik Kualitas Radiasi RQR (*Technical Reports Series No.457*)

Kualitas Radiasi	Tegangan Tabung Sinar-X (kV)	HVL₁ (mm Al)	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	0.68
RQR 10	150	6.57	0.72

Tabel 2.2 Karakteristik Kualitas Radiasi RQA (*Technical Reports Series No.457*)

Kualitas Radiasi	Tegangan Tabung Sinar-X (kV)	Added Filter (mm Al)	HVL₁ (mm Al)
RQA 2	40	4	2.2
RQA 3	50	10	3.8
RQA 4	60	16	5.4
RQA 5	70	21	6.8
RQA 6	80	26	8.2
RQA 7	90	30	9.2
RQA 8	100	34	10.1
RQA 9	120	40	11.6
RQA 10	150	45	13.3

2.4 Alat Ukur Radiasi

Alat ukur radiasi merupakan sebuah sistem yang terdiri dari detektor dan elektrometer. Dimana detektor merupakan bagian alat yang sensitif terhadap radiasi yang mengenainya. Sedangkan elektrometer merupakan bagian alat yang berfungsi untuk menampilkan besaran radiasi yang terdeteksi oleh detektor dengan besaran fisika tertentu, misalkan Coulomb, Ampere, atau besaran dosis radiasi (Gy).

Yang terukur melalui sistem detektor dan elektrometer merupakan nilai kuantitas radiasi, baik secara langsung maupun tidak langsung. Kuantitas radiasi yang terdeteksi bisa beragam, seperti kuantitas yang menggambarkan jenis sumber radiasi contohnya kuat kerma dan aktifitas. Lalu kuantitas radiasi yang menggambarkan berkas radiasi dan partikelnya contohnya fluence. Serta kuantitas radiasi yang menggambarkan efek radiasi terhadap materi contohnya dosis dan paparan. Dalam mendeteksi radiasi, besaran fisika yang diukur merupakan jumlah ionisasi yang terjadi atau dihasilkan dari proses interaksi antara radiasi dengan materi detektor. Sehingga berdasarkan nilai ionisasi itulah nantinya akan diketahui besaran dosis radiasi.

Dalam tiap pengukuran radiasi tentunya sangat diharapkan bahwa detektor menunjukkan hasil pengukuran yang tepat. Karena tiap detektor memiliki karakteristik masing-masing. Terlebih lagi jika detektor tersebut juga digunakan pada besaran energi radiasi yang berbeda-beda. Oleh karena itu dibutuhkan parameter instrinsik detektor, yaitu faktor koreksi. Faktor koreksi berfungsi sebagai pengkoreksi nilai besaran radiasi yang terukur terhadap nilai besaran radiasi yang menjadi acuan. Faktor koreksi detektor terhadap perubahan kualitas radiasi (K_Q) ditentukan melalui persamaan 3.

$$K_Q = \frac{N_{K,Q}}{N_{K,Q_0}} \quad (\text{pers. 3})$$

$$N_{K,Q} = \frac{D}{M} \quad (\text{pers. 4})$$

K_Q	: Faktor koreksi berkas radiasi foton
$N_{K,Q}$: Koefisien kalibrasi (mGy/nC)
D	: Dosis radiasi sinar-x (mGy)
M	: Bacaan elektrometer (nC)

Untuk elektrometer digunakan faktor koreksi tekanan dan temperatur, K_{TP} (pers. 5). Sehingga hasil yang ditampilkan merupakan betul-betul kuantitas radiasi yang terdeteksi oleh detektor, karena sudah terkoreksi oleh tekanan dan temperatur ruang.

$$k_{TP} = \frac{(273.2 + T) P_0}{(273.2 + T_0) P} \quad (\text{pers. 5})$$

P_0	: referensi tekanan udara = 101.3 kPa
T_0	: referensi temperatur udara = 20 ⁰ C
P	: tekanan terukur dalam ruang
T	: temperatur terukur dalam ruang

Selain itu juga tiap detektor membutuhkan parameter untuk mengubah besaran radiasi yang terukur menjadi besaran fisis yang sebenarnya dalam proses pengukuran, yaitu faktor kalibrasi. Faktor kalibrasi juga sangat menentukan ketepatan hasil pengukuran. Selain itu dalam menilai kinerja suatu detektor juga harus diperhatikan beberapa hal yang berkenaan dengan respon detektor terhadap radiasi, diantaranya (ddngdrmw.n.blogspot.com):

a) Akurasi

Akurasi detektor menunjukkan kemampuan detektor untuk mengukur besaran radiasi yang mengenainya secara tepat. Namun tingkat akurasi detektor sangat dibatasi oleh kesalahan sistemik maupun stokastik yang dimiliki oleh detektor. Kedua tingkat kesalahan tersebut dapat mengakibatkan pergeseran hasil pengukuran, yang dikenal sebagai nilai deviasi pengukuran. Yang secara langsung mempengaruhi tingkat presisi dari detektor.

b) Presisi

Tingkat presisi suatu detektor menunjukkan kemampuan detektor untuk memberikan hasil yang sama saat pengukuran dilakukan berulang pada kondisi yang tetap.

c) Linieritas Detektor

Linieritas detektor menunjukkan respon detektor terhadap perubahan dosis radiasi yang mengenainya. Dimana suatu detektor haruslah memiliki respon yang linier terhadap perubahan dosis radiasi.

d) Ketergantungan Laju Dosis

Ketergantungan terhadap laju dosis menunjukkan respon detektor terhadap perubahan laju dosis. Karakteristik laju dosis sangat penting dalam pengukuran pada pesawat linac, karena linac mampu memberikan dosis yang sangat tinggi dengan pulsa radiasi yang sangat kecil.

e) Ketergantungan Energi

Ketergantungan energi detektor menunjukkan respon detektor terhadap perubahan energi berkas radiasi yang mengenainya. Yang mana energi radiasi disebut juga kualitas berkas. Karena terminologi kualitas berkas digunakan untuk menyatakan distribusi energi radiasi. Faktor kalibrasi yang diberikan oleh laboratorium kalibrasi hanya didasarkan pada satu jenis energi, sehingga jika detektor digunakan untuk mengukur radiasi dengan energi yang lain harus dilakukan koreksi respon energi agar diperoleh hasil yang tepat.

f) Ketergantungan Arah Berkas

Ketergantungan arah berkas menunjukkan perubahan respon detektor terhadap perubahan sudut berkas radiasi. Hal demikian dapat terjadi yang dikarenakan keterbatasan desain dan ukuran detektor, sehingga dibutuhkan juga faktor koreksi arah datang berkas radiasi. Faktor koreksi arah datang radiasi akan sangat penting dalam pengukuran dosimetri *in-vivo*.

g) Resolusi Spasial

Resolusi spasial merupakan kemampuan detektor untuk melakukan pengukuran 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.

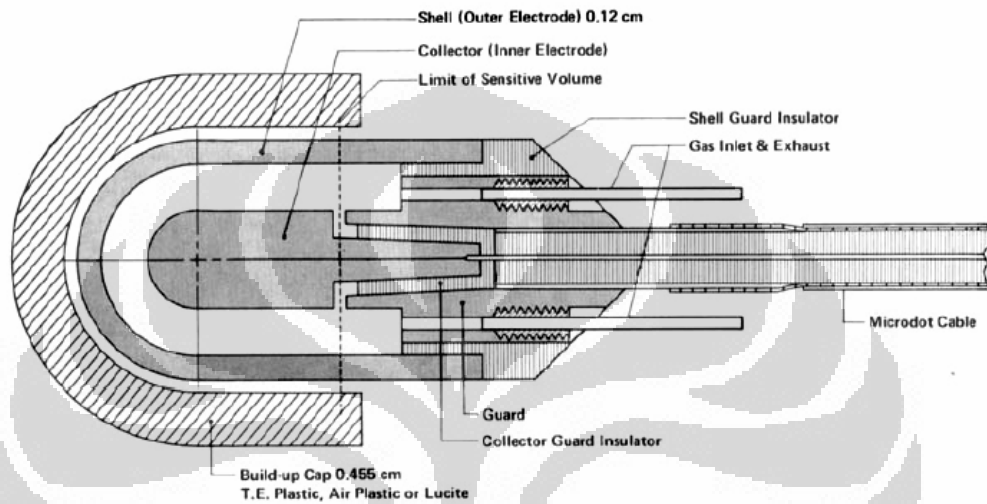
2.5 Sistem Detektor Kamar Pengion

Pada gambar 2.5 memperlihatkan skema detektor kamar pengion yang merupakan alat ukur radiasi. Secara singkat cara kerjanya ialah mengukur jumlah ionisasi yang terjadi didalam rongga detektor. Detektor kamar pengion terdiri dari rongga yang berisi gas, umumnya gas mulia namun juga ada yang berisi gas biasa. Jika rongga tersebut menggunakan gas biasa, maka gas tersebut harus memiliki tekanan yang lebih kecil dari tekanan udara disekitar. Biasanya gas yang dipakai ialah gas argon atau ethanol. Rongga detektor tersebut terselubung oleh dinding luar yang terbuat dari bahan konduktif yang bertindak sebagai katoda. Dan pada bagian tengah terdapat elektroda yang bertindak sebagai anoda, yang berfungsi untuk mengumpulkan ion. Sehingga dengan kata lain, bahwa antara katoda dan anoda tersebut terpisah dengan rongga yang berisi gas.

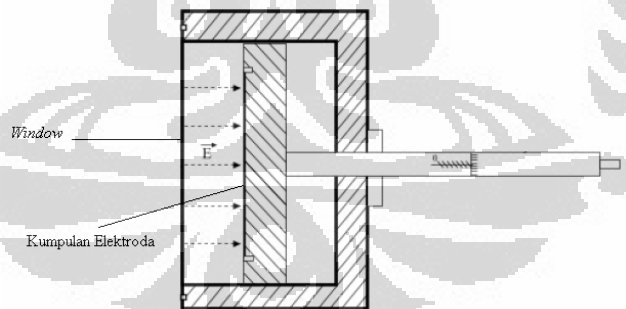
Bagian dinding dan elektroda terpisah oleh suatu insulator yang berfungsi untuk mengurangi kemungkinan terjadinya arus bocor pada saat detector diberikan beda tegangan. Pada kondisi tertentu, pelindung elektroda digunakan untuk menghindari terjadinya kebocoran arus. Pelindung elektroda berfungsi untuk menangkap arus bocor yang muncul dan menyalurkannya ke *ground* sehingga arus bocor tidak mengalir melalui elektroda, dan pelindung elektroda juga dapat meningkatkan keseragaman medan listrik yang terjadi didalam detector kamar pengion. Biasanya detektor yang memiliki pelindung elektroda adalah detektor tipe plan paralel (gambar 2.6). Jenis detektor yang populer dan banyak digunakan adalah detektor kamar pengion tipe farmer. Detektor tipe farmer memiliki karakteristik tidak dipengaruhi oleh arah datang sinar radiasi, volume detektor berkisar $0.05-1.00 \text{ cm}^3$, radius 2-7 mm, panjang 4-25mm, ketebalan dinding detektor 0.1g/cm^2 , dan dapat digunakan untuk pengukuran radiasi photon, electron, proton dan ion (ddngdrmw.n.blogspot.com).

Agar detektor dapat digunakan, dibutuhkan suatu alat yang dapat membaca jumlah ion yang dikumpulkan oleh detektor, alat tersebut adalah elektrometer. Secara umum, elektrometer merupakan suatu rangkaian elektronik

yang memiliki penguatan tinggi, *feedback* negatif, operational amplifier dengan resistor atau kapasitor yang berfungsi untuk mengukur arus dan muatan di dalam detektor kamar pengion. Pengukuran biasanya dilakukan menggunakan interval waktu yang konstant.



Gambar 2.5 Skema detektor kamar pengion (Almond, P. R. and H Svenssons)



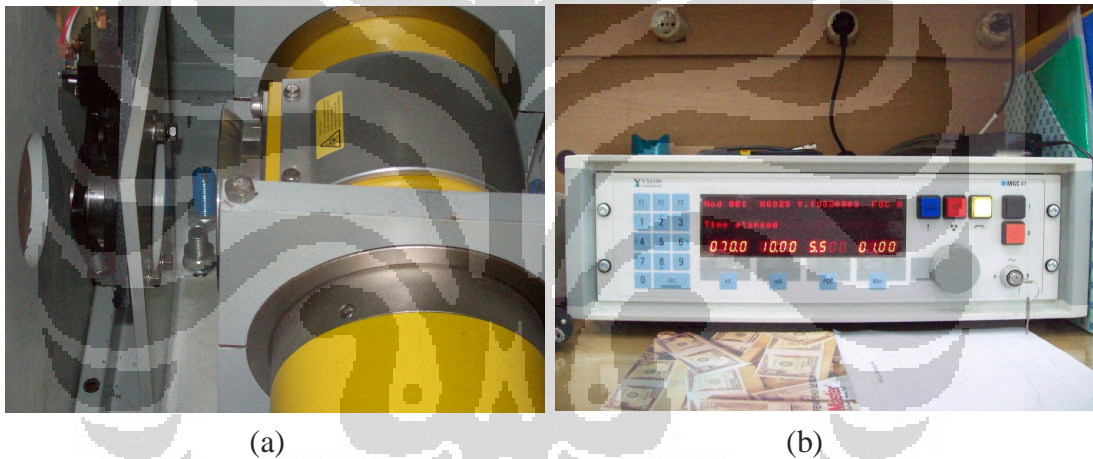
Gambar 2.6 Skema detektor plan paralel

BAB 3

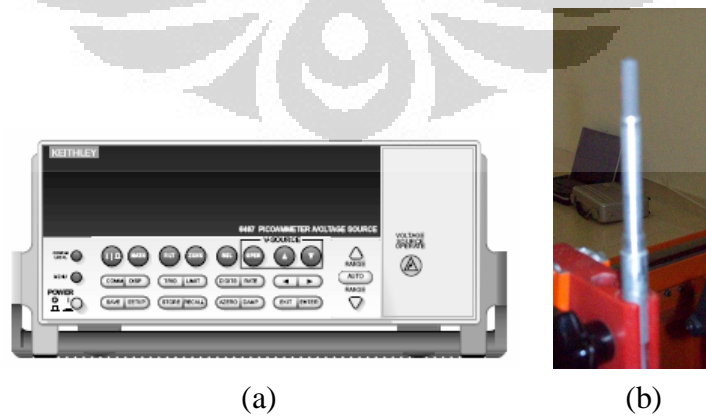
METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

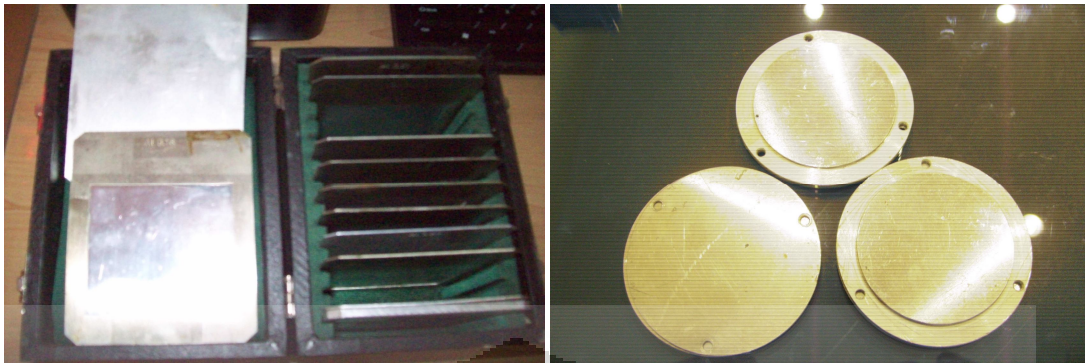
Proses pengambilan data sepenuhnya dilakukan di laboratorium kalibrasi BATAN dengan sumber pesawat sinar-x Y.TU 320-D03 (gambar 3.1). Peralatan lainnya yang digunakan untuk mencari besar filter tambahan pesawat sinar-x adalah elektrometer Keithley 6487 dan detektor bilik ionisasi jenis Farmer (gambar 3.2a dan 3.2b), beberapa filter aluminium (gambar 3.3), serta perangkat lunak pendukung yaitu Excelinx-Keithley yang sudah di install dalam Microsoft Office Excel 2007 (gambar 3.4).



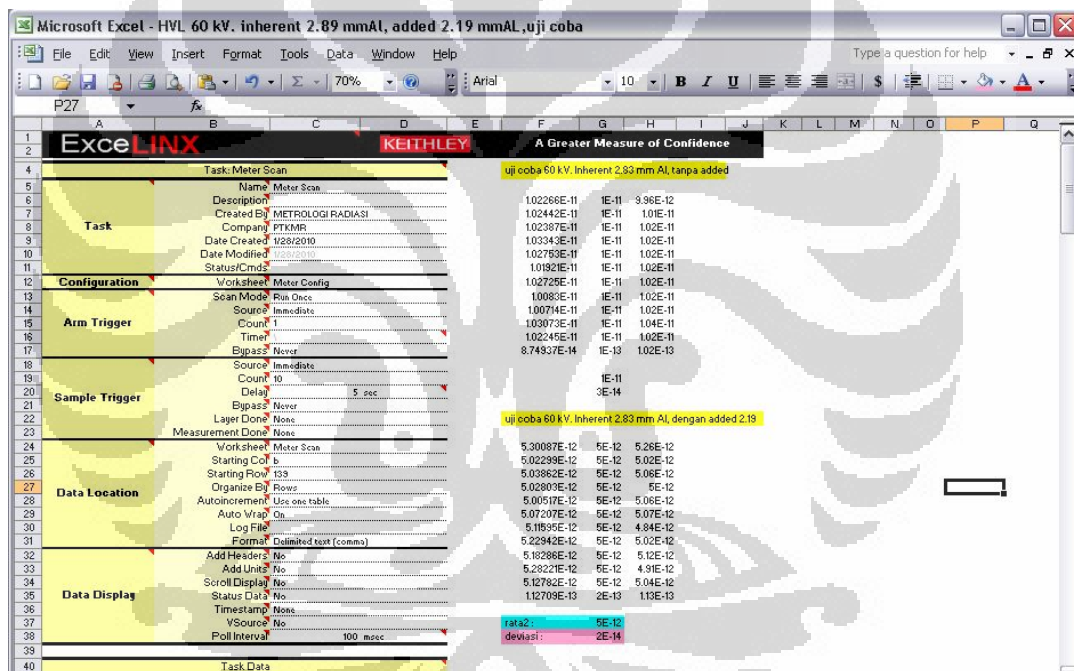
Gambar 3.1 (a) Tabung Pesawat Sinar-X, Y.TU 320-D03 (b) Pengontrol Pesawat Sinar-X



Gambar 3.2 (a) Elektrometer Keithley 6487, (b) detektor bilik ionisasi jenis Farmer



Gambar 3.3 Filter Aluminium dengan ketebalan yang berbeda



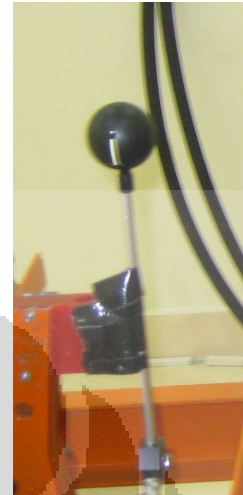
Gambar 3.4 Perangkat lunak Excelinx-Keithley

Penentuan respon detektor terhadap perubahan kualitas radiasi pesawat sinar-x pada rentang RQA, dilakukan dengan menggunakan detektor Unfors (gambar 3.5), detektor jenis Farmer dan detektor TK 30 cc (gambar 3.6). Alat baca yang digunakan ialah elektrometer Keithley 6487 dan elektrometer Farmer (gambar 3.7). Penelitian ini menggunakan fantom padat aluminium (gambar 3.8) sebagai attenuator pengganti objek jaringan lunak. Serta peralatan pendukung

lainnya yaitu termometer sebagai penunjuk suhu, barometer sebagai penunjuk tekanan dan higrometer sebagai penunjuk kelembaban ruangan.



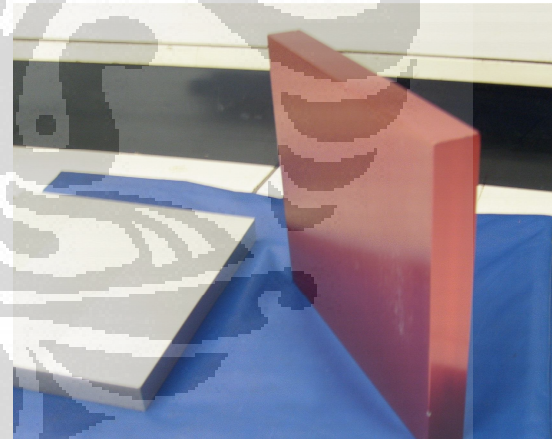
Gambar 3.5 Detektor Unfors



Gambar 3.6 Detektor TK 30 cc



Gambar 3.7 Elektrometer Farmer 2570



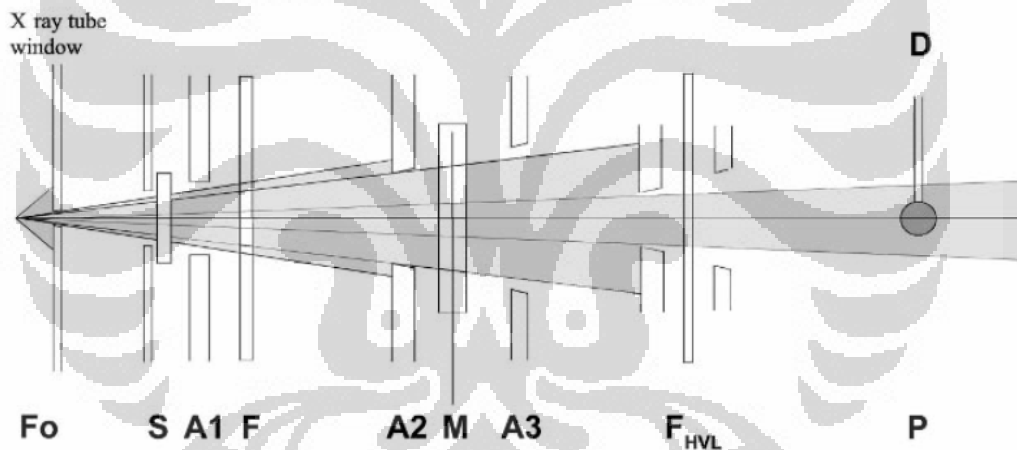
Gambar 3.8 Fantom Aluminium
(Atenuator RQA)

3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini terdiri dari dua tahap, yang pertama ialah menentukan besar filter tambahan pesawat sinar-x Y.TU 320-D03 untuk mendapatkan HVL yang sesuai dengan rentang RQR pada TRS 457. Lalu tahap yang kedua ialah menentukan respon detektor terhadap perubahan kualitas radiasi pada rentang RQA, dengan mencari nilai faktor koreksinya.

3.2.1 Menentukan Besar *Added Filter*

Peralatan yang digunakan di-set seperti pada gambar 3.9 dengan jarak antara pesawat sinar-x dengan rumah filter dan antara rumah filter dengan detektor, sama yakni 50 cm. Arus tabung pesawat sinar-x diset tetap untuk tiap kali pengukuran yakni sebesar 10 mA.



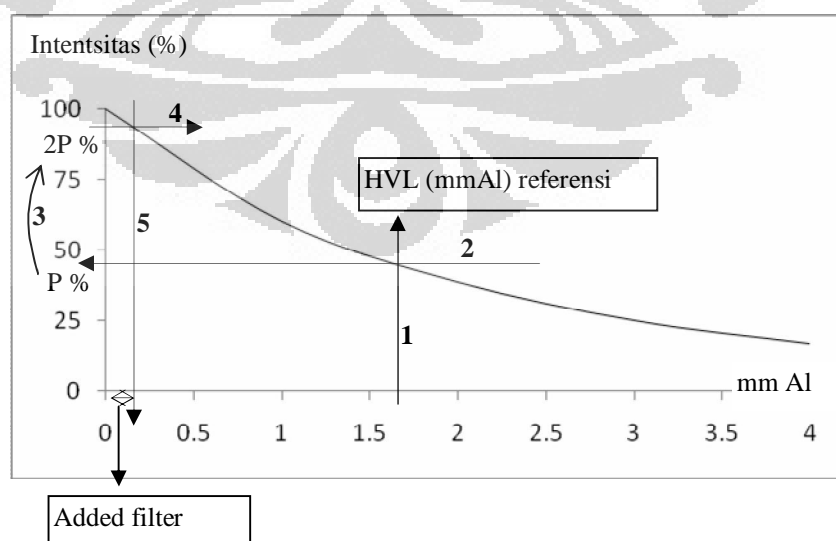
Gambar 3.9 Skema *set-up* peralatan untuk mencari besar *added filter* pesawat sinar-x. Fo: focal spot; S: *shutter*; A1,A2,A3: *apertures*; F: added filter; F_{HVL}: filter HVL; M: monitor chamber; D: detektor ditempatkan pada posisi P (*Technical Report Series No. 457*)

Pengambilan data diawali dengan deteksi radiasi latar belakang detektor dan elektrometer, lalu dilanjutkan dengan deteksi paparan radiasi sinar-x energi (kV) tertentu pada rentang RQR. Penentuan HVL dilakukan dengan mengukur laju paparan, dimulai dari tanpa filter dan menambah filter dengan kelipatan 1

mmAl pada rumah filter hingga diperoleh laju paparan $\leq 20\%$ dari besar laju paparan semula (tanpa filter).

Setelah didapatkan kurva atenuasi radiasi terhadap penambahan filter untuk setiap energi, selanjutnya diperhitungkan ketebalan HVL. Pada tahap ini kurva HVL yang terbentuk 'dipotong' dengan tujuan untuk mendapatkan besar filter tambahan yang dibutuhkan. Pemotongan kurva tersebut menggambarkan penambahan filter dengan ketebalan tertentu, sehingga akan mendapatkan nilai bacaan elektrometer untuk penambahan filter tersebut mendekati 50%. Ketebalan filter tersebut selanjutnya diibaratkan sebagai filter *inherent* yang diposisikan pada kolimator terdekat dengan tabung pesawat sinar-x. Pengukuran dilakukan untuk semua kualitas RQR, sampai diperoleh filter tambahan yang sesuai dengan nilai HVL dari IAEA berdasarkan TRS no. 457, dengan ilustrasi sesuai dengan gambar 3.10.

Verifikasi dilakukan dalam tiga tahap, yang pertama dilakukan setelah didapatkan besar added filter yang dibutuhkan untuk setiap energinya pada hari yang sama. Yang mana pada tahap ini filter yang sebelumnya diibaratkan filter inherent, dijadikan satu dengan added filter. Lalu verifikasi tahap kedua dilakukan pada hari yang berbeda. Dan apabila dalam verifikasi kedua ini didapat nilai HVL yang berbeda dengan nilai pengukuran HVL tahap sebelumnya, maka harus dilakukan penyesuaian added filter agar didapatkan nilai HVL yang sesuai.



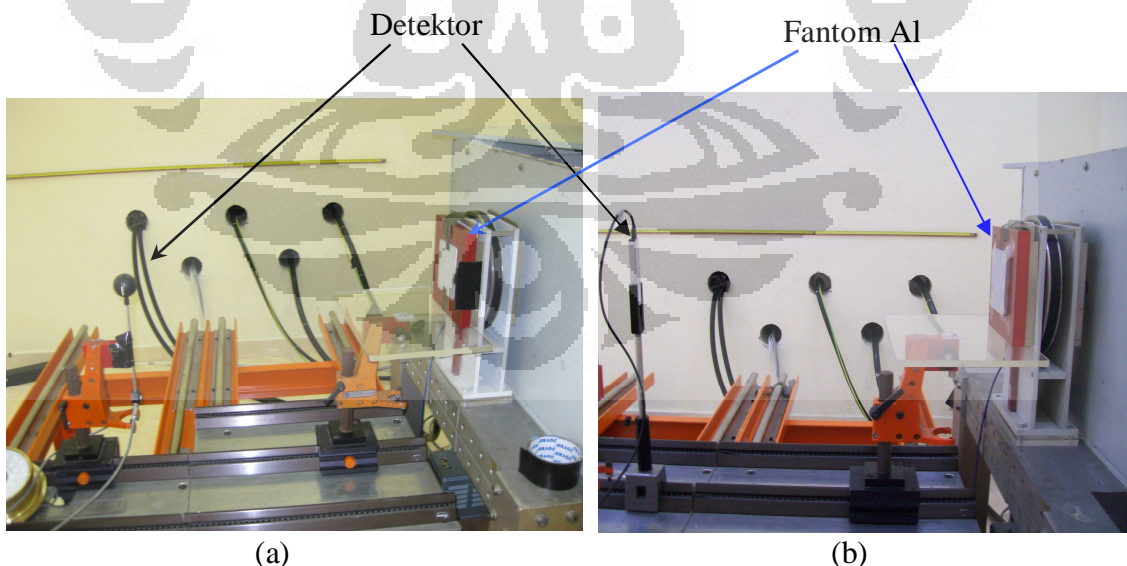
Gambar 3.10 Contoh kurva atenuasi radiasi untuk mencari *added filter*.

Tahap ketiga dilakukan verifikasi dengan detektor Unfors. Yang mana pada dua tahap sebelumnya detektor yang digunakan sama dengan detektor pada saat pencarian filter tambahan, yaitu detektor Farmer. Verifikasi ketiga ini bertujuan sebagai pengecek kesesuaian nilai HVL RQR dengan menggunakan filter tambahan hasil verifikasi tahap kedua.

3.2.2 Penentuan Respon Detektor

Pengukuran diawali dengan menentukan kesesuaian nilai HVL pada kualitas radiasi RQA berdasarkan *Technical Report Series* no. 457 (tabel 2.1), dengan menggunakan detektor Unfors. Penentuan respon detektor dilakukan dengan memberikan dosis radiasi sinar-x sebesar 10 mGy pada detektor jenis Farmer dan TK 30 cc (gambar 3.11a). Dan untuk menentukan lama waktu penyinaran agar mendapatkan dosis sekitar 10 mGy untuk setiap kualitas RQA digunakan detektor Unfors (gambar 3.11b).

Fantom aluminium atau atenuator yang digunakan diposisikan menempel pada kolimator paling depan, seperti pada gambar 3.11, pada jarak ± 35 cm didepan fokus pesawat sinar-x. Besaran nilai temperatur dan tekanan ruang dibutuhkan sebagai parameter koreksi bacaan elektrometer.



Gambar 3.11 Seting peralatan untuk mencari respon detektor

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Besar Filter Tambahan Pesawat Sinar-X

Filter tambahan yang dibutuhkan pada setiap kualitas energi radiasi RQR dapat dilihat pada tabel 4.1. Filter tambahan pesawat sinar-x tersebut diperoleh melalui pembentukan kurva atenuasi radiasi terhadap penambahan filter seperti pada gambar 3.8. Dan kurva atenuasi radiasi serta hasil bacaan elektrometer Keithley yang diperoleh untuk mendapatkan tebal filter tambahan yang dibutuhkan untuk setiap kualitas radiasi RQR dapat dilihat pada lampiran I. Filter tambahan yang diperoleh selanjutnya diverifikasi dalam tiga tahap yang hasilnya dapat dilihat pada lampiran II.

Data yang ditampilkan pada lampiran II menunjukkan bahwa filter tambahan hasil verifikasi tahap kedua menghasilkan nilai HVL RQR yang terbaca pada detektor Unfors memiliki perbedaan yang kecil terhadap nilai HVL pada TRS no. 457 (tabel 2.1). Sehingga untuk proses pengukuran selanjutnya digunakan filter tambahan hasil verifikasi tahap kedua tersebut.

Tabel 4.1 Perolehan filter tambahan pada kualitas radiasi RQR *

Kualitas Radiasi	Tegangan tabung sinar-x (kV)	HVL (mmAl)	Filter Tambahan (mmAl)
RQR 2	40	1.42	2.69
RQR 3	50	1.78	2.52
RQR 4	60	2.19	2.94
RQR 5	70	2.58	2.83
RQR 6	80	3.01	3.1
RQR 7	90	3.48	3.31
RQR 8	100	3.97	3.35
RQR 9	120	5	3.8
RQR 10	150	6.57	4.26

*Ainur Rahmi : Analisis Ketergantungan Detektor Radiodiagnostik Terhadap Kualitas Radiasi RQR Menggunakan Protokol IAEA TRS No. 457

4.2 Kesesuaian HVL Kualitas Radiasi RQA

Kesesuaian HVL RQA yang diperoleh menggunakan detektor Unfors, hasil pengukurannya dapat dilihat pada tabel 4.2 Perbedaan yang ada antara nilai HVL literatur dengan hasil pengukuran detektor Unfors (tabel 4.2) berkisar antara 0.04 s/d 0.81 mm Al. Untuk tegangan tabung 40 s/d 60 kV untuk kualitas radiasi RQA memiliki nilai perbedaan HVL yang cukup besar antara literatur dengan pengukuran. Hal ini dikarenakan tegangan tabung yang diberikan mendekati jangkauan tegangan tabung minimum untuk detektor unfors, ditambah dengan adanya atenuator aluminium. Berdasarkan spesifikasi bacaan HVL detektor Unfors yang memiliki nilai ± 0.2 mm Al dan jangkauan minimal detektor sebesar 40 kV. Maka bacaan nilai HVL detektor Unfors pada kualitas radiasi RQA sudah menunjukkan hasil yang sesuai dengan TRS no. 457. Sehingga kualitas radiasi RQA yang akan digunakan untuk penentuan respon detektor sudah sesuai.

Tabel 4.2 Hasil pengukuran nilai HVL kualitas radiasi RQA dengan detektor Unfors

Kualitas Radiasi	Tegangan tabung sinar-x (kV)	HVL Literatur (mmAl)	HVL Terukur Unfors (mmAl)	Δ HVL (mm Al)
RQA2	40	2.2	1.72	0.48
RQA3	50	3.8	2.99	0.81
RQA4	60	5.4	4.81	0.59
RQA5	70	6.8	6.56	0.24
RQA6	80	8.2	8.16	0.04
RQA7	90	9.2	9.51	0.31
RQA8	100	10.1	10.5	0.40
RQA9	120	11.6	12	0.40
RQA10	150	13.3	13.3	0.00

4.3 Respon Detektor Terhadap Kualitas Radiasi RQA

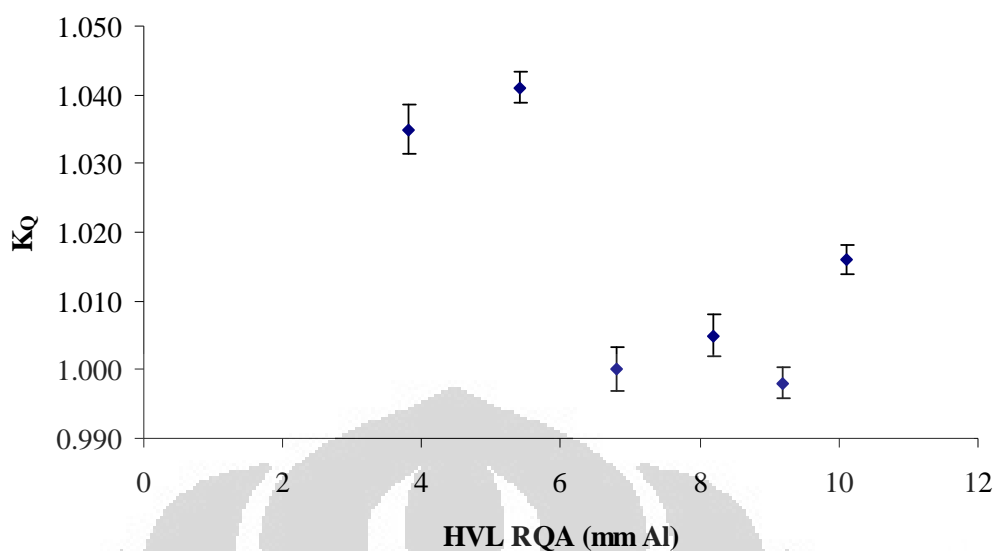
Respon detektor ditunjukkan melalui nilai faktor koreksi detektor (K_Q). Faktor koreksi dibutuhkan apabila detektor tersebut digunakan untuk mendeteksi radiasi dengan energi radiasi yang berbeda dengan acuan agar mendapatkan hasil yang tepat. Nilai K_Q diperoleh melalui perbandingan N_{KQ} tiap kualitas radiasi dengan N_{KQ} kualitas radiasi acuan (70 kV) sesuai persamaan 3. Sedangkan N_{KQ} diperoleh dengan membandingkan dosis radiasi yang dikeluarkan oleh pesawat sinar-x dengan bacaan elektrometer yang sudah terkoreksi terhadap temperatur dan tekanan (pers. 4). Dengan lama penyinaran radiasi sinar-x untuk mendapatkan dosis sekitar 10 mGy dapat dilihat pada lampiran V.

4.3.1 Perbandingan Sistem Dosimeter Farmer dan Dosimeter Keithley

Tabel 4.3 dan 4.4 memperlihatkan nilai K_Q detektor. Dan pada gambar 4.2 dan 4.3 memperlihatkan hubungan K_Q detektor Farmer melalui bacaan elektrometer Farmer 2570 dan elektrometer Keithley 6487, terhadap perubahan nilai HVL pada kualitas radiasi RQA. Sedangkan untuk N_{KQ} detektor jenis Farmer hasil bacaan elektrometer Farmer 2570 dan Keithley 6487 untuk penyinaran radiasi sinar-x sekitar 10 mGy dapat dilihat pada lampiran III.

Tabel 4.3 Hasil Bacaan Elektrometer Farmer 2570 dan K_Q detektor Farmer

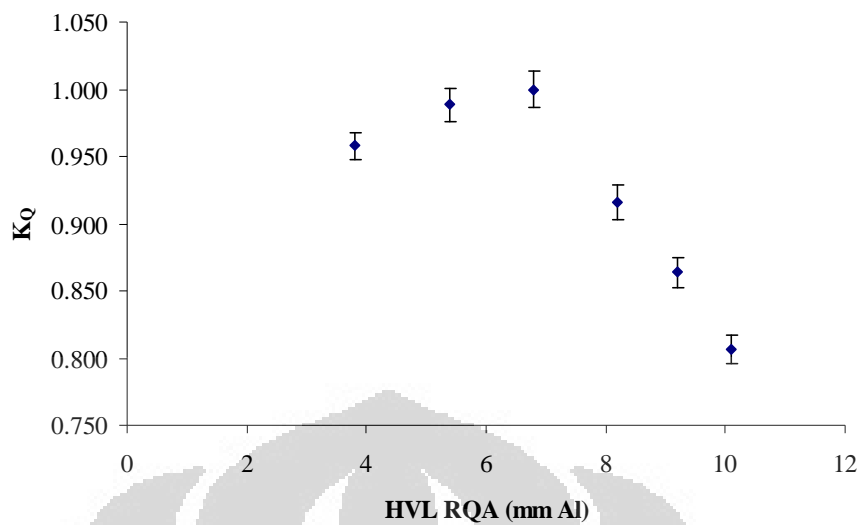
Kualitas Radiasi	Dosis Terukur (mGy)	Bacaan Elektrometer		K_Q
		Farmer	N_{KQ} Farmer NE 2571 (mGy/nC)	
RQA3	10.030	0.232	43.298 ± 0.3 %	1.035 ± 0.4 %
RQA4	10.000	0.230	43.539 ± 0.0 %	1.041 ± 0.2 %
RQA5	9.988	0.239	41.825 ± 0.2 %	1.000 ± 0.3 %
RQA6	10.040	0.239	42.071 ± 0.2 %	1.005 ± 0.3 %
RQA7	10.030	0.240	41.753 ± 0.0 %	0.998 ± 0.2 %
RQA8	10.000	0.235	42.514 ± 0.0 %	1.016 ± 0.2 %



Gambar 4.2 Nilai K_Q detektor Farmer melalui bacaan elektrometer Farmer 2570 terhadap kualitas radiasi RQA

Tabel 4.4 Hasil Bacaan Elektrometer Keithley 6487 dan K_Q detektor Farmer

Kualitas Radiasi	Dosis Terukur (mGy)	Bacaan		K_Q
		Elektrometer Keithley Terkoreksi (nC)	N_{KQ} Farmer NE 2571 (mGy/nC)	
RQA3	9.996	0.169	$59.079 \pm 0.3 \%$	$0.958 \pm 1.0 \%$
RQA4	10.040	0.165	$60.947 \pm 0.8 \%$	$0.988 \pm 1.2 \%$
RQA5	10.070	0.164	$61.669 \pm 1.0 \%$	$1.000 \pm 1.4 \%$
RQA6	10.062	0.178	$56.487 \pm 0.9 \%$	$0.916 \pm 1.3 \%$
RQA7	10.170	0.191	$53.255 \pm 0.6 \%$	$0.864 \pm 1.1 \%$
RQA8	10.040	0.202	$49.753 \pm 0.4 \%$	$0.807 \pm 1.0 \%$



Gambar 4.3 Nilai K_Q detektor Farmer melalui bacaan elektrometer Keithley 6487 terhadap kualitas radiasi RQA

Tabel 4.3 dan 4.4 memperlihatkan adanya perbedaan bacaan antara elektrometer Farmer 2570 dengan elektrometer Keithley 6487 untuk besar tegangan tabung yang sama. Sehingga menghasilkan nilai K_Q yang berbeda. Perbedaan tersebut juga diperlihatkan pada gambar 4.2 dan 4.3. Pola yang terbentuk antara nilai faktor koreksi detektor terhadap HVL RQA jauh lebih baik ditunjukkan pada gambar 4.3 dibandingkan dengan gambar 4.2 yang nilai faktor koreksi-nya bernilai sangat acak untuk setiap kualitas RQA.

Adanya perbedaan nilai K_Q yang didapat melalui elektrometer Farmer dan Keithley disebabkan karena resolusi dari kedua elektrometer tersebut. Jika melihat data pada lampiran III, hasil bacaan langsung elektrometer Keithley berorde 10^{-13} Ampere untuk setiap kualitas radiasi RQA. Sedangkan resolusi elektrometer Farmer 2570 dalam orde 10^{-12} Ampere dan elektrometer Keithley 6487 dalam orde 10^{-15} Ampere. Dengan kata lain elektrometer Keithley 6487 jauh lebih sensitif dibandingkan dengan elektrometer Farmer 2570. Sehingga jelas bahwa hasil bacaan elektrometer Keithley 6487 menghasilkan nilai K_Q detektor yang jauh lebih baik dibandingkan melalui hasil bacaan elektrometer Farmer 2570.

Jika dilihat dari sistem dosimeter yaitu paduan antara detektor dengan elektrometer, maka penyebab perbedaan hasil antara tabel 4.3 dan 4.4 serta gambar 4.2 dan 4.3 dapat ditinjau juga dari resolusi elektrometer dengan *noise* detektor. Dimana detektor Farmer memiliki *noise* sebesar $\pm 4.10^{-15}$ Ampere. Untuk sistem detektor Farmer dengan elektrometer Farmer 2570, hasil yang terbaca sangat besar dipengaruhi oleh *noise* detektor karena resolusi elektrometer jauh lebih kecil dibandingkan dengan *noise* detektor.

Sedangkan untuk sistem detektor Farmer dengan elektrometer Keithley 6487, hasil yang terbaca jauh lebih baik. Karena *noise* detektor dengan resolusi elektrometer memiliki orde yang sama yakni sebesar 10^{-15} Ampere, sehingga bacaan yang dihasilkan bisa terkoreksi dari *noise*. Atau dengan kata lain K_Q yang dihasilkan dari sistem ini merupakan K_Q detektor Farmer untuk kualitas radiasi RQA.

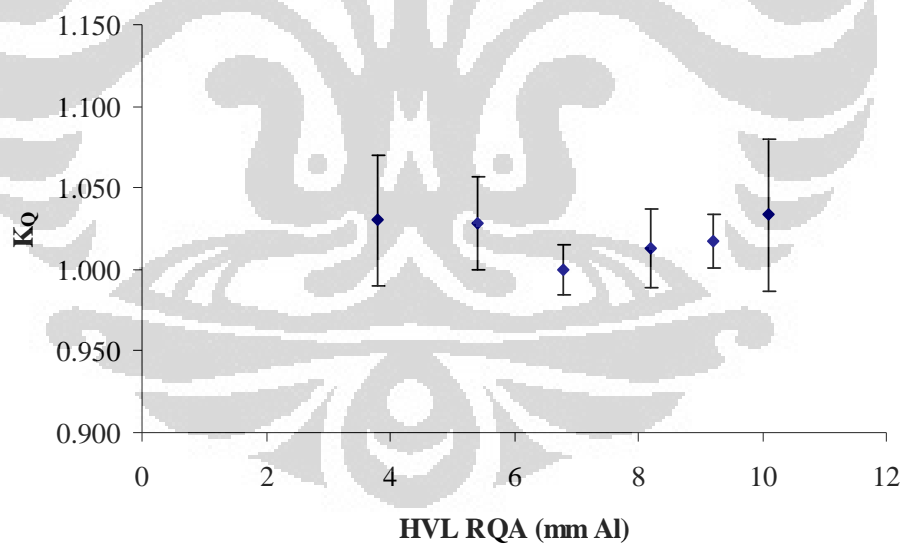
Sehingga, dengan mengacu pada gambar 4.3 maka dapat dikatakan bahwa respon detektor Farmer bernilai kecil untuk kualitas radiasi RQA energi rendah, sehingga menghasilkan nilai K_Q yang besar. Sebaliknya untuk kualitas radiasi RQA energi tinggi, respon detektor Farmer bernilai lebih besar sehingga menghasilkan nilai K_Q yang lebih kecil. Dengan kata lain efisiensi detektor Farmer untuk kualitas radiasi RQA lebih baik pada energi tabung (kV) yang tinggi.

4.3.2 Sistem Dosimeter Keithley - TK 30cc

Nilai K_Q detektor TK 30cc yang diperoleh melalui bacaan elektrometer Keithley 6487 untuk penyinaran radiasi sinar-x 10 mGy dapat dilihat pada tabel 4.5. Pada gambar 4.4 memperlihatkan hubungan K_Q detektor TK 30 cc melalui bacaan elektrometer Keithley 6487 terhadap nilai HVL pada kualitas radiasi RQA. Bacaan langsung elektrometer Keithley dan nilai N_{KQ} keseluruhan dapat dilihat pada lampiran IV.

Tabel 4.5 Hasil Bacaan Elektrometer Keithley 6487 dan K_Q detektor TK 30cc

Kualitas Radiasi	Dosis Terukur (mGy)	Bacaan Elektrometer Keithley Terkoreksi (nC)	N_{KQ} Farmer NE 2571 (mGy/nC)	K_Q
RQA3	10.002	9.001	$1.095 \pm 3.9 \%$	$1.030 \pm 4.0 \%$
RQA4	10.020	9.014	$1.093 \pm 2.6 \%$	$1.028 \pm 2.8 \%$
RQA5	9.972	9.237	$1.063 \pm 1.1 \%$	$1.000 \pm 1.6 \%$
RQA6	9.996	9.165	$1.077 \pm 2.2 \%$	$1.013 \pm 2.4 \%$
RQA7	9.976	9.129	$1.081 \pm 1.2 \%$	$1.017 \pm 1.6 \%$
RQA8	10.042	9.093	$1.099 \pm 4.6 \%$	$1.033 \pm 4.7 \%$



Gambar 4.4 K_Q detektor TK 30cc melalui bacaan elektrometer Keithley 6487 terhadap kualitas radiasi RQA

Nilai K_Q detektor TK 30 yang ditunjukkan pada tabel 4.3 menunjukkan nilai yang cenderung datar, seperti diperlihatkan pada gambar 4.2. Namun fluktuasi respon detektor cukup tinggi. Dengan nilai K_Q minimal $1.013 \pm 2.4 \%$ dan maksimal $1.033 \pm 4.7 \%$. Karena jika ditinjau dari sistem dosimeter yakni antara detektor dan electrometer. Elektrometer Keithley 6487 memiliki resolusi ber-orde 10^{-15} sedangkan tingkat kebocoran arus (*noise*) detektor TK 30 cc sekitar 10^{-14} A. Dan hasil bacaan electrometer Keithley langsung ber-orde 10^{-11} (lampiran IV). Sehingga dapat dikatakan bahwa faktor koreksi sistem tersebut telah menunjukkan respon detektor terhadap perubahan kualitas radiasi RQA.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini maka dapat ditarik beberapa kesimpulan, diantaranya :

1. Filter tambahan sangat penting digunakan pada pesawat sinar-x. Karena bertujuan agar kualitas radiasi yang dikeluarkan sesuai dengan kualitas radiasi berdasarkan *Technical Report Series* no. 457. Sehingga pesawat sinar-x tersebut dapat diaplikasikan untuk proses kalibrasi dosimeter.
2. Respon detektor Farmer bernilai kecil untuk kualitas radiasi RQA energi rendah, sehingga menghasilkan nilai K_Q yang besar. Sebaliknya untuk kualitas radiasi RQA energi tinggi, respon detektor Farmer bernilai lebih besar sehingga menghasilkan nilai K_Q yang lebih kecil. Dengan kata lain efisiensi detektor Farmer untuk kualitas radiasi RQA lebih baik pada energi tabung (kV) yang tinggi.
3. Respon detektor TK 30cc cenderung datar namun fluktuasinya cukup tinggi. Dengan nilai K_Q minimal $1.013 \pm 2.4 \%$ dan maksimal $1.033 \pm 4.7 \%$.

5.2 Saran

1. Dibutuhkan sarana pendukung untuk pengecekan tingkat keakurasian tegangan (kV) antara kontrol pesawat sinar-x dengan tabung, agar kualitas energi radiasi yang dikeluarkan pesawat sinar-x dapat bernilai optimal.
2. Untuk energi rendah terutama untuk kualitas radiasi RQA sistem dosimeter yang digunakan sebaiknya yang memiliki nilai sensitifitas dan resolusi yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Technical Reports Series No.457. *Dosimetry In Diagnostic Radiology An International Code Of Practice*. International Atomic Energy Agency. Vienna. 2007.

dr. Gabriel, JF. *Fisika Kedokteran*. Departemen Fisika Universitas Udayana. Denpasar-Bali. Jakarta. ECG. 1996.

Sorin Bercea, Constantin Cenusă, Aurelia Celarel, Elena Iliescu. *Experimental Approach on the Electrical Capacity of a Plan-Parallel Ionization Chamber*. Horia Hulubei. National Institute for Physics and Nuclear Engineering, NIPNE, (IFIN-HH), Bucharest, Romania

Paulo Marcio C. Oliveira, Peterson L. Squair, Maria do S Nogueiral, Annibal T.B. Neto, Elton G. Pereira, Teogenes A. da Silva. *Analysis Of Metrological Parameters Of IEC X-Ray Reference Radiation Quality*. International Nuclear Atlantic Conference. Brazil. 2007.

Johns, Harold Elford. Cuningham, John Robert. *The Physics of Radiology*. Charles C Thomas Publisher. USA. 1983.

Hourdakis, J Costas. *Selection of Instrumentation*. Joint ICTP-IAEA Advanced School on Dosimetry in Diagnostic Radiology and its Clinical Implementation. Miramare, Trieste, Italy. 11-15 May 2009.

Almond, P. R. and H Svenssons. *Ionization Chamber Dosimetry for Photon and Electron Beams*. Theoretical Considerations.

<http://ddngdrmwn.blogspot.com/2009/06/alat-ukur-radiasi.html>.

didownload tanggal 23 Januari 2010. pk1 13.32 WIB.

<http://radiografer.wordpress.com/2008/06/30/terjadinya-sinar-x/>.

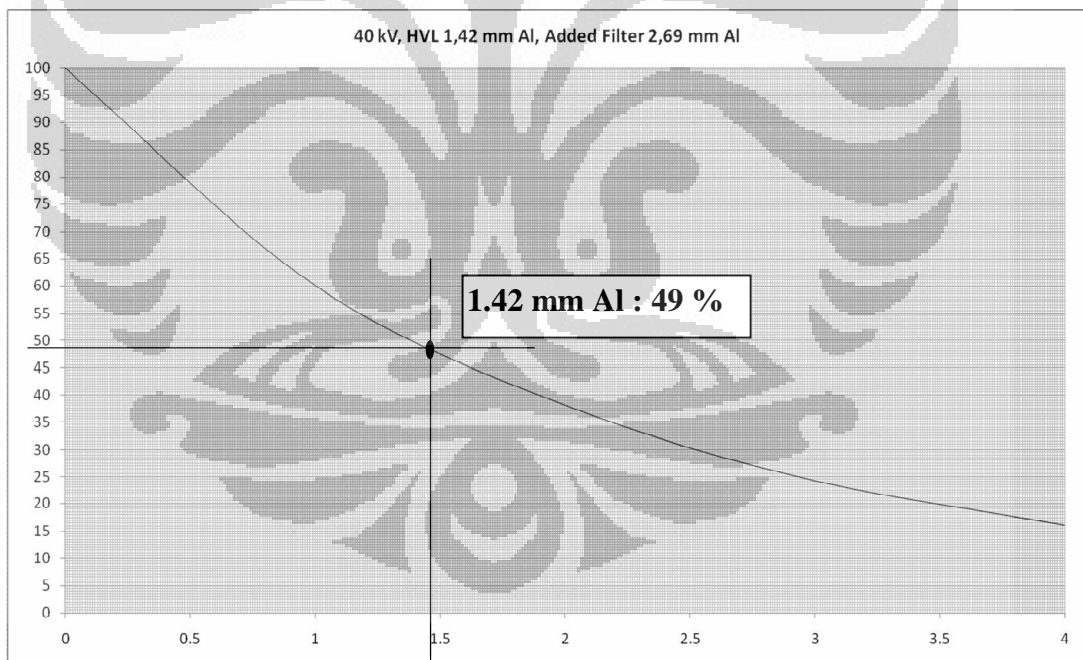
didownload tanggal 23 Januari 2010. pk1 13.45 WIB.

Lampiran I

Bacaan rata-rata elektrometer Keithley 6487 yang sudah terkoreksi dengan *background* dan kurva atenuasi radiasi kualitas RQR untuk mencari filter tambahan pesawat sinar-x Y.TU 320-D03.

Tabel I.1 Bacaan Keithley untuk tegangan tabung pesawat sinar-x 40 kV dengan filter tambahan 2.69 mmAl

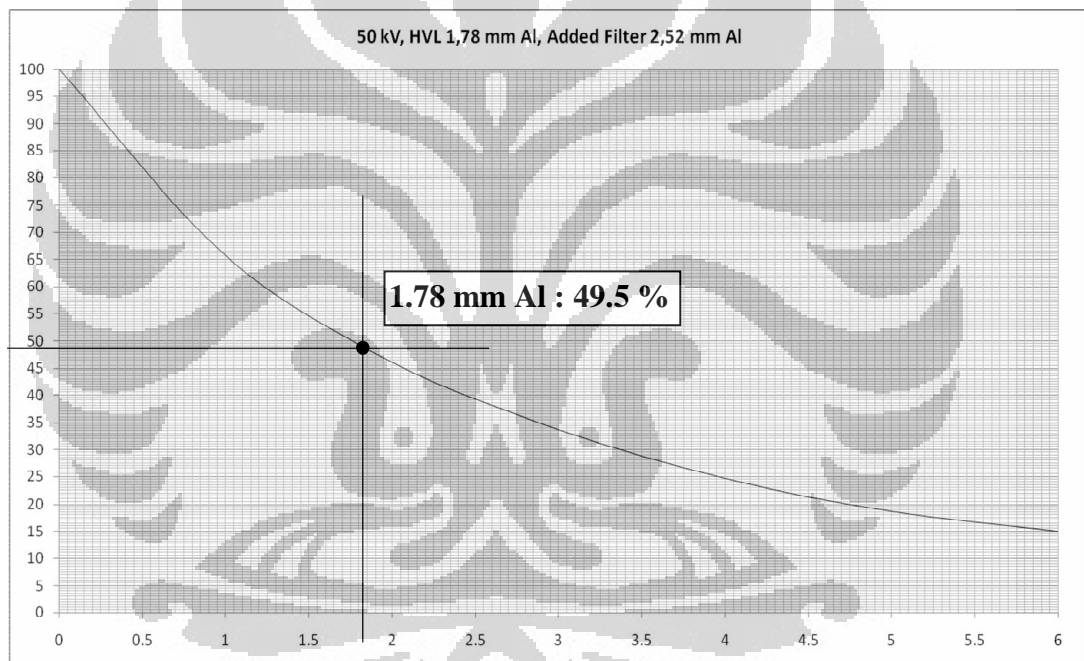
Filter (mm Al)	Bacaan Keithley (A)
0	3.585 E-12
1	2.159 E-12
2	1.396 E-12
3	8.944 E-13
4	6.082 E-13



Gambar I.1 Kurva atenuasi radiasi kualitas RQR 40 kV, HVL 1.42 mm Al, filter tambahan 2.69 mm Al

Tabel I.2 Bacaan Keithley untuk tegangan tabung pesawat sinar-x 50 kV dengan filter tambahan 2.52 mmAl

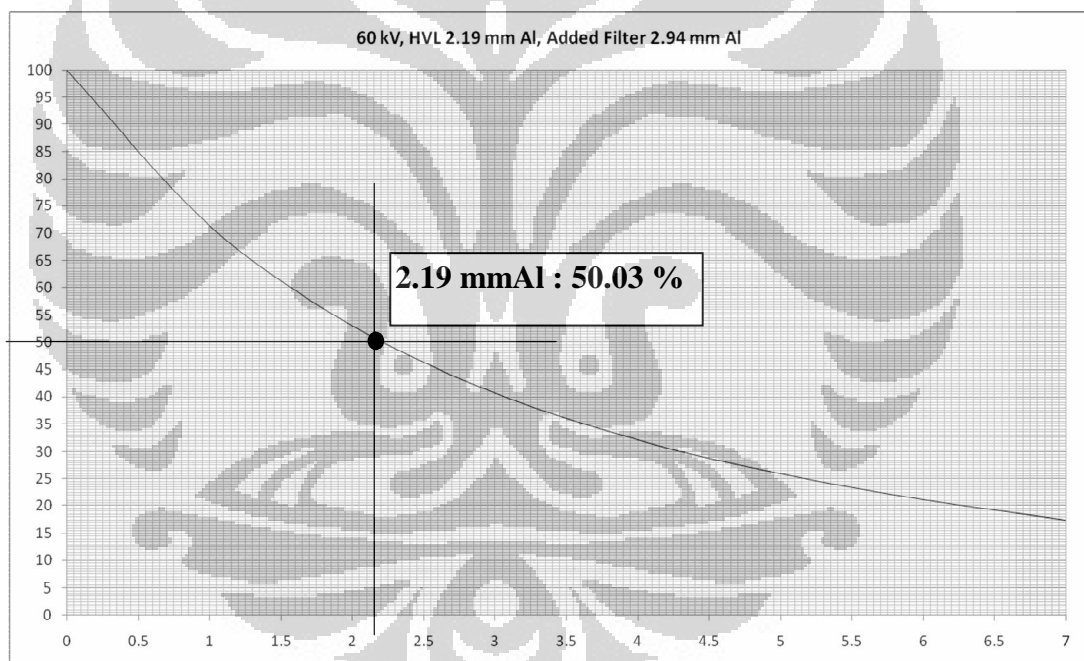
Filter (mm Al)	Bacaan Keithley (A)
0	3.684 E-12
1	2.652 E-12
2	1.931 E-12
3	1.447 E-12
4	1.138 E-12
5	8.779 E-13
6	6.893 E-13
7	5.484 E-13



Gambar I.2 Kurva atenuasi radiasi kualitas RQR 50 kV, HVL 1.78 mm Al, filter tambahan 2.52 mm Al

Tabel I.3 Bacaan Keithley untuk tegangan tabung pesawat sinar-x 60 kV dengan filter tambahan 2.94 mmAl

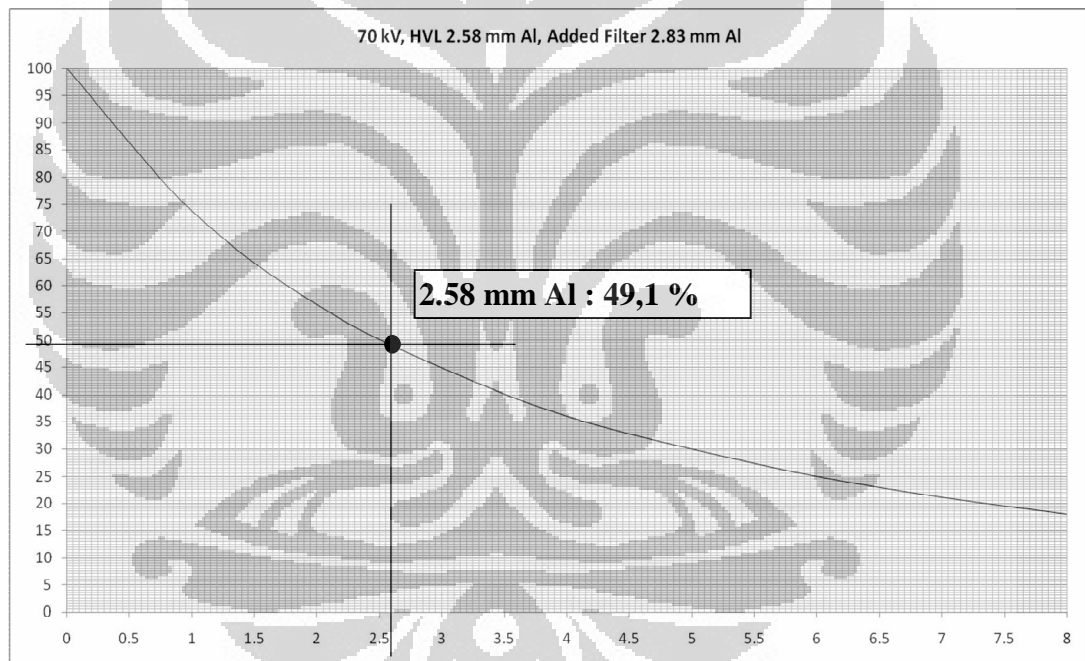
Filter (mm Al)	Bacaan Keithley (A)
0	9.713 E-12
1	6.932 E-12
2	5.153 E-12
3	3.948 E-12
4	3.121 E-12
5	2.521 E-12
6	2.051 E-12
7	1.694 E-12



Gambar I.3 Kurva atenuasi radiasi kualitas RQR 60 kV, HVL 2.19 mm Al, filter tambahan 2.94 mm Al

Tabel I.4 Bacaan Keithley untuk tegangan tabung pesawat sinar-x 70 kV dengan filter tambahan 2.83 mmAl

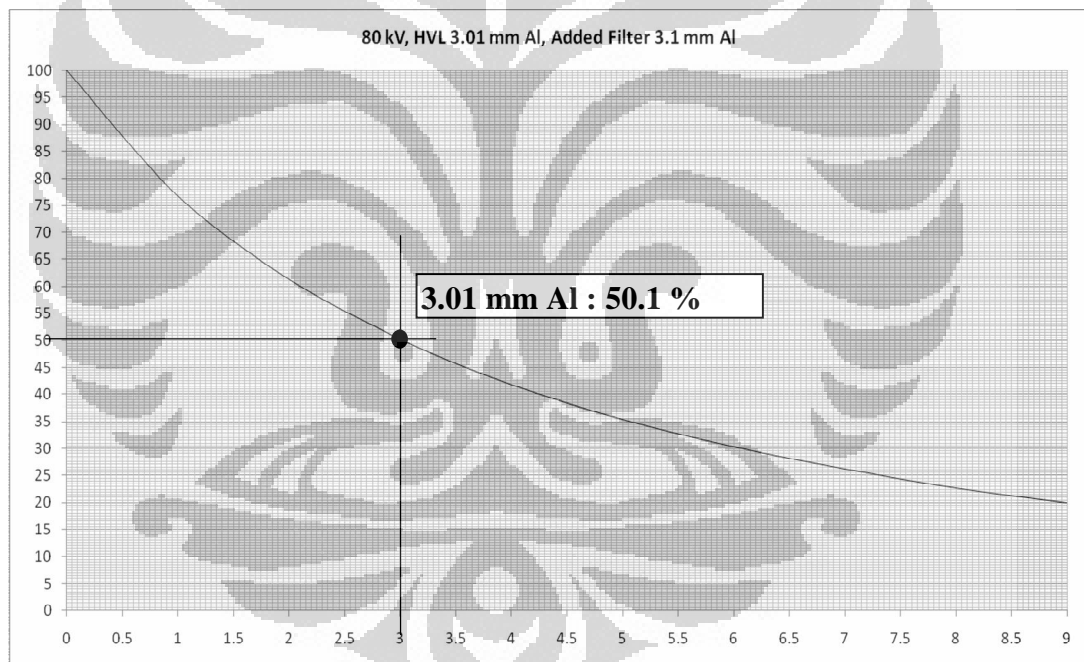
Filter (mm Al)	Bacaan Keithley (A)
0	1.357 E-11
1	1.001 E-11
2	7.663 E-12
3	6.079 E-12
4	4.891 E-12
5	4.050 E-12
6	3.387 E-12
7	2.859 E-12
8	2.435 E-12



Gambar I.4 Kurva atenuasi radiasi kualitas RQR 70 kV, HVL 2.58 mm Al, filter tambahan 2.83 mm Al

Tabel I.5 Bacaan Keithley untuk tegangan tabung pesawat sinar-x 80 kV dengan filter tambahan 3.1 mmAl

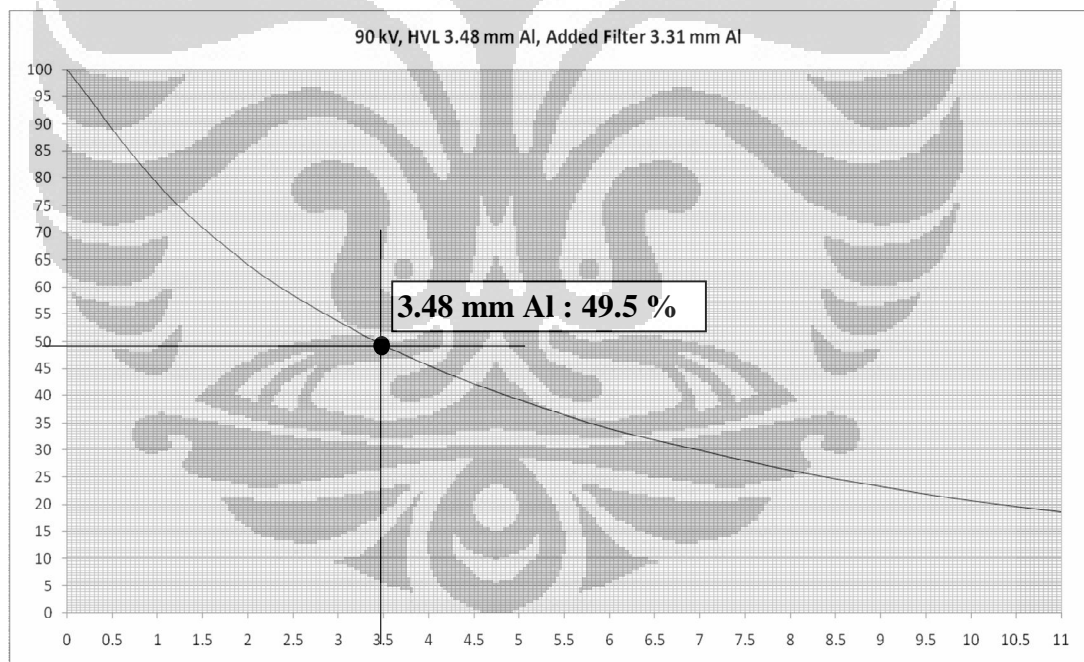
Filter (mm Al)	Bacaan Keithley (A)
0	1.615 E-11
1	1.241 E-11
2	9.911 E-12
3	8.114 E-12
4	6.756 E-12
5	5.715 E-12
6	4.889 E-12
7	4.231 E-12
8	3.666 E-12
9	3.215 E-12



Gambar I.5 Kurva atenuasi radiasi kualitas RQR 80 kV, HVL 3.01 mm Al, filter tambahan 3.1 mm Al

Tabel I.6 Bacaan Keithley untuk tegangan tabung pesawat sinar-x 90 kV dengan filter tambahan 3.31 mmAl

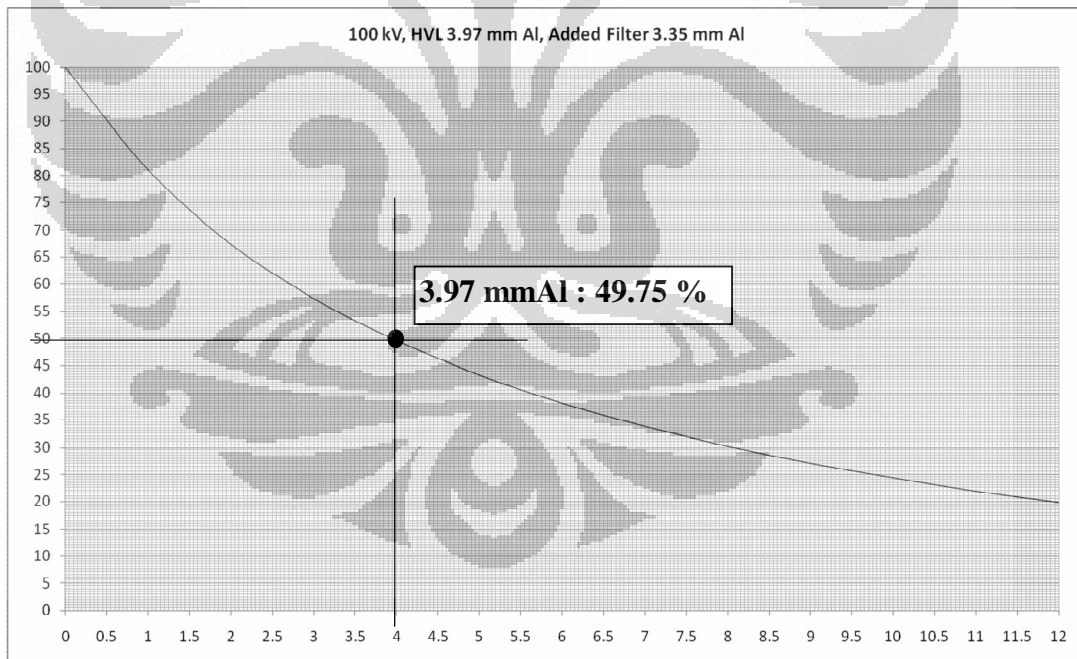
Filter (mm Al)	Bacaan Keithley (A)
0	2.032 E-11
1	1.604 E-11
2	1.303 E-11
3	1.089 E-11
4	9.245 E-12
5	7.949 E-12
6	6.911 E-12
7	6.077 E-12
8	5.314 E-12
9	4.721 E-12
10	4.225 E-12
11	3.783 E-12



Gambar I.6 Kurva atenuasi radiasi kualitas RQR 90 kV, HVL 3.48 mm Al, filter tambahan 3.31 mm Al

Tabel I.7 Bacaan Keithley untuk tegangan tabung pesawat sinar-x 100 kV dengan filter tambahan 3.35 mmAl

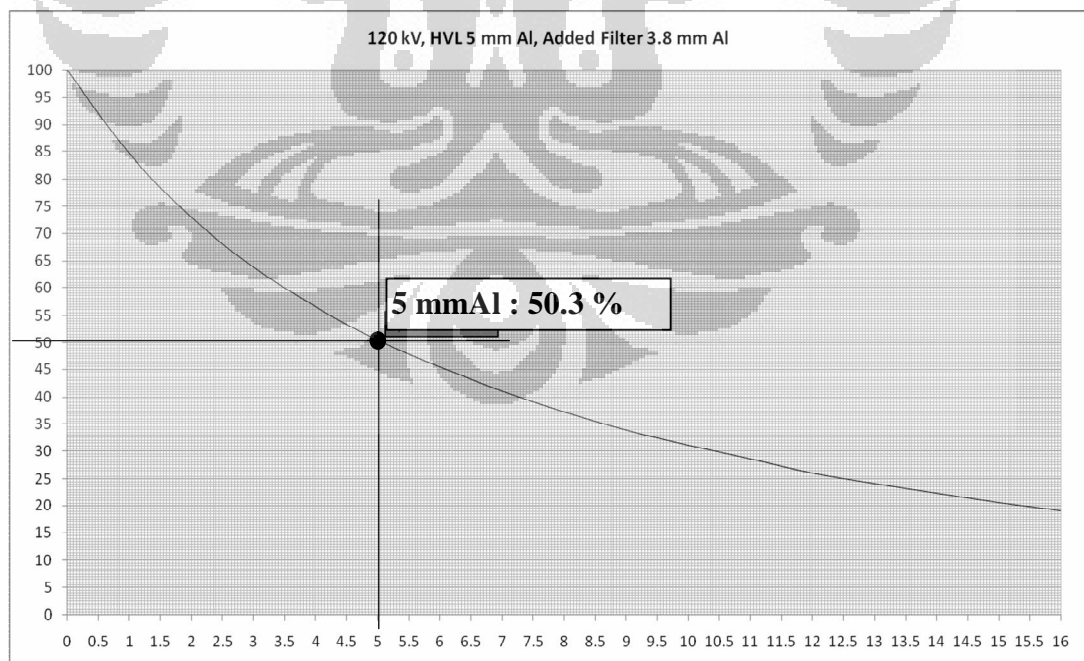
Filter (mm Al)	Bacaan Keithley (A)
0	2.373 E-11
1	1.923 E-11
2	1.598 E-11
3	1.362 E-11
4	1.175 E-11
5	1.027 E-11
6	9.026 E-12
7	8.024 E-12
8	7.151 E-12
9	6.412 E-12
10	5.769 E-12
11	5.193 E-12
12	4.703 E-12



Gambar I.7 Kurva atenuasi radiasi kualitas RQR 100 kV, HVL 3.97 mm Al, filter tambahan 3.35 mm Al

Tabel I.8 Bacaan Keithley untuk tegangan tabung pesawat sinar-x 120 kV dengan filter tambahan 3.8 mmAl

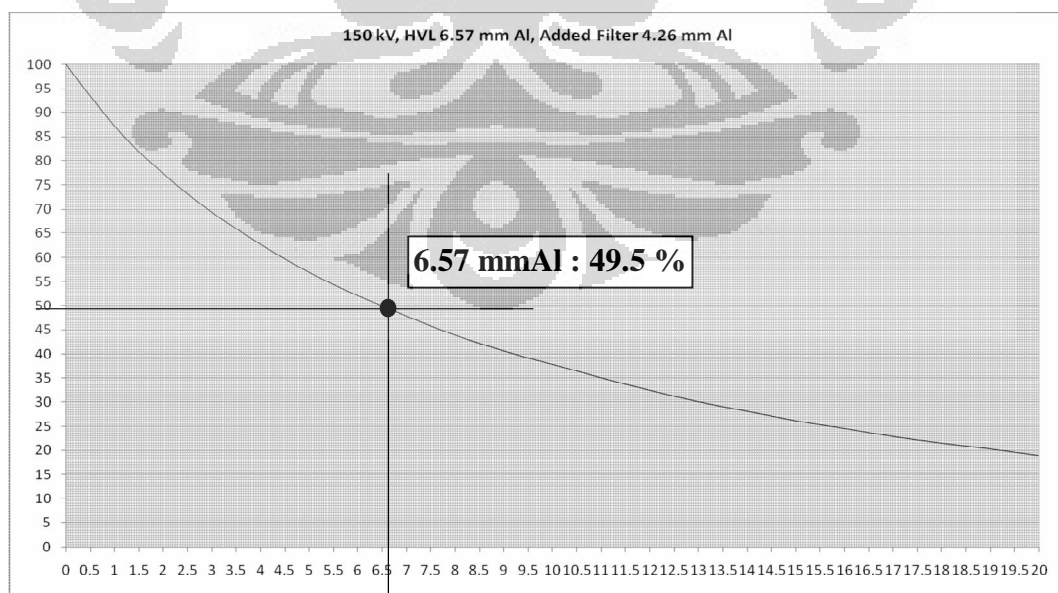
Filter (mm Al)	Bacaan Keithley (A)
0	3.009 E-11
1	2.544 E-11
2	2.194 E-11
3	1.917 E-11
4	1.699 E-11
5	1.516 E-11
6	1.366 E-11
7	1.236 E-11
8	1.121 E-11
9	1.018 E-11
10	9.357 E-12
11	8.579 E-12
12	7.835 E-12
13	7.253 E-12
14	6.707 E-12
15	6.174 E-12
16	5.715 E-12



Gambar I.8 Kurva atenuasi radiasi kualitas RQR 120 kV, HVL 5 mm Al, filter tambahan 3.8 mm Al

Tabel I.9 Bacaan Keithley untuk tegangan tabung pesawat sinar-x 150 kV dengan filter tambahan 4.26 mmAl

Filter (mm Al)	Bacaan Keithley (A)
0	4.381 E-11
1	3.817 E-11
2	3.382 E-11
3	3.038 E-11
4	2.742 E-11
5	2.493 E-11
6	2.284 E-11
7	2.094 E-11
8	1.924 E-11
9	1.784 E-11
10	1.655 E-11
11	1.533 E-11
12	1.419 E-11
13	1.320 E-11
14	1.232 E-11
15	1.150 E-11
16	1.076 E-11
17	1.001 E-11
18	9.431 E-12
19	8.871 E-12
20	8.289 E-12



Gambar I.9 Kurva atenuasi radiasi kualitas RQR 150 kV, HVL 6.57 mm Al, filter tambahan 4.26 mm Al

Lampiran II

Data tiga tahap verifikasi filter tambahan pesawat sinar-x Y.TU 320-D03, terhadap kualitas radiasi RQR.

Tabel II.1 Data verifikasi filter tambahan pesawat sinar-x kualitas RQR

Kualitas Radiasi	Tegangan tabung sinar-x (kV)	HVL Literatur (mmAl)	Added Filter (mmAl) Verifikasi 1	Added Filter (mmAl) Verifikasi II	Bacaan Unfors verifikasi HVL (mmAl)
RQR 2	40	1.42	2.69	2.69	1.33
RQR 3	50	1.78	2.61	2.52	1.68
RQR 4	60	2.19	2.79	2.94	2.16
RQR 5	70	2.58	2.93	2.83	2.49
RQR 6	80	3.01	3.1	3.1	2.99
RQR 7	90	3.48	3.23	3.31	3.43
RQR 8	100	3.97	3.45	3.35	3.81
RQR 9	120	5	3.72	3.8	4.69
RQR 10	150	6.57	4.26	4.26	5.77

Lampiran III

Bacaan elektrometer Farmer 2570 dan Keithley 6487, dengan detektor jenis Farmer untuk kualitas RQA.

Tabel III.1 Hasil bacaan elektrometer Farmer 2570 pada kualitas radiasi RQA

kv panel	Kp,t	bacaan	Bacaan	Dosis ukur	
kv		(nC)	Corr	Unfors	N_{KQ}
			(nC)	(mGy)	(mGy/nC)
50	0.998	0.230	0.229	10.030	43.655
	0.998	0.230	0.229	10.030	43.669
	0.998	0.230	0.229	10.030	43.685
	0.998	0.235	0.234	10.030	42.755
	0.999	0.235	0.235	10.030	42.726
rata2	0.998	0.232	0.232	10.030	43.298
60	0.998	0.230	0.229	10.000	43.539
	0.998	0.230	0.229	10.000	43.539
	0.998	0.230	0.229	10.000	43.539
	0.998	0.230	0.229	10.000	43.539
	0.998	0.230	0.229	10.000	43.539
rata2	0.998	0.230	0.229	10.000	43.539
70	0.999	0.235	0.235	9.988	42.534
	0.999	0.240	0.239	9.988	41.648
	0.999	0.240	0.239	9.988	41.648
	0.999	0.240	0.239	9.988	41.648
	0.999	0.240	0.239	9.988	41.648
rata2	0.999	0.239	0.239	9.988	41.825
80	0.999	0.240	0.239	10.050	41.892
	0.999	0.235	0.235	10.050	42.784
	0.999	0.240	0.239	10.050	41.892
	0.999	0.240	0.239	10.050	41.892
	0.999	0.240	0.239	10.050	41.892
rata2	0.999	0.239	0.239	10.040	42.070
90	1.000	0.240	0.240	10.030	41.753
	1.000	0.240	0.240	10.030	41.753
	1.000	0.240	0.240	10.030	41.753
	1.000	0.240	0.240	10.030	41.753
	1.000	0.240	0.240	10.030	41.753
rata2	1.000	0.240	0.240	10.030	41.753

Lanjutan Tabel III.1

kv panel	Kp,t	bacaan	Bacaan Corr	Dosis ukur Unfors	N _{KQ}
kv		(nC)	(nC)	(mGy)	(mGy/nC)
100	1.000	0.235	0.235	10.000	42.514
	1.000	0.235	0.235	10.000	42.514
	1.000	0.235	0.235	10.000	42.514
	1.000	0.235	0.235	10.000	42.514
	1.000	0.235	0.235	10.000	42.514
rata2	1.000	0.235	0.235	10.000	42.514

Tabel III.2 Hasil bacaan elektrometer Keithley 6487 pada kualitas radiasi RQA

kv panel	Kp,t	bacaan	bacaan	Bacaan Corr	Dosis ukur Unfors	N _{KQ}
kv		keithley	(nC)	(nC)	(mGy)	(mGy/nC)
50	1.002	3.958 E-13	0.169	0.170	9.996	58.875
	1.002	3.859 E-13	0.165	0.166	9.996	60.387
	1.002	3.995 E-13	0.171	0.171	9.996	58.332
	1.002	4.018 E-13	0.172	0.172	9.996	58.002
	1.002	3.897 E-13	0.167	0.167	9.996	59.801
rata2	1.002	3.945 E-13	0.169	0.169	10.000	59.079
60	1.002	3.280 E-13	0.162	0.163	10.040	61.697
	1.002	3.493 E-13	0.173	0.173	10.040	57.935
	1.002	3.477 E-13	0.172	0.172	10.040	58.204
	1.002	3.249 E-13	0.161	0.161	10.040	62.291
	1.002	3.132 E-13	0.155	0.155	10.040	64.608
rata2	1.002	3.326 E-13	0.165	0.165	10.040	60.947
70	1.006	3.302 E-13	0.153	0.154	10.070	65.461
	1.006	3.823 E-13	0.177	0.178	10.070	56.533
	1.006	3.345 E-13	0.155	0.156	10.070	64.607
	1.006	3.539 E-13	0.164	0.165	10.070	61.070
	1.006	3.562 E-13	0.165	0.166	10.070	60.676
rata2	1.006	3.514 E-13	0.163	0.164	10.070	61.669

Lanjutan Tabel III.2

kv panel kv	Kp,t	bacaan keithley	bacaan (nC)	Bacaan Corr (nC)	Dosis ukur Unfors (mGy)	N _{KQ} (mGy/nC)
80	1.007	4.809 E-13	0.188	0.189	10.060	53.112
	1.007	4.507 E-13	0.176	0.178	10.060	56.669
	1.007	4.504 E-13	0.176	0.177	10.060	56.705
	1.007	4.642 E-13	0.182	0.183	10.060	55.019
	1.007	4.192 E-13	0.164	0.165	10.060	60.929
rata2	1.007	4.531 E-13	0.177	0.178	10.060	56.487
90	1.007	6.061 E-13	0.192	0.193	10.170	52.586
	1.007	6.213 E-13	0.197	0.198	10.170	51.294
	1.007	5.790 E-13	0.184	0.185	10.170	55.044
	1.007	5.833 E-13	0.185	0.186	10.170	54.642
	1.007	6.047 E-13	0.192	0.193	10.170	52.709
rata2	1.007	5.989 E-13	0.190	0.191	10.170	53.255
100	1.007	7.753 E-13	0.202	0.204	10.040	49.275
	1.007	7.740 E-13	0.202	0.203	10.040	49.355
	1.007	7.834 E-13	0.204	0.206	10.040	48.762
	1.007	7.618 E-13	0.199	0.200	10.040	50.147
	1.007	7.457 E-13	0.195	0.196	10.040	51.228
rata2	1.007	7.680 E-13	0.200	0.202	10.040	49.753

Lampiran IV

Bacaan elektrometer Keithley 6487, dengan detektor TK 30 untuk kualitas RQA.

Tabel IV.1 Hasil bacaan elektrometer Keithley 6487-TK 30 pada kualitas radiasi RQA

kv panel (kV)	Kp,t	Bacaan keithley	Bacaan (nC)	Bacaan Corr (nC)	Dosis ukur (mGy)	N_{KQ} (mGy/nC)
50	0.998	2.243 E-11	8.997	8.975	10.040	1.119
	0.998	2.242 E-11	8.994	8.972	10.010	1.116
	0.998	2.264 E-11	9.083	9.061	9.987	1.102
	0.998	2.253 E-11	9.039	9.017	9.987	1.108
	0.998	2.244 E-11	8.999	8.977	9.987	1.112
rata2	0.998	2.249 E-11	9.022	9.001	10.002	1.111
60	0.999	1.955 E-11	9.035	9.022	9.990	1.107
	0.999	1.953 E-11	9.025	9.012	10.020	1.112
	0.999	1.950 E-11	9.012	8.999	10.030	1.115
	0.999	1.947 E-11	8.997	8.984	10.030	1.116
	0.999	1.961 E-11	9.065	9.052	10.030	1.108
rata2	0.999	1.953 E-11	9.027	9.014	10.020	1.112
70	0.999	2.142 E-11	9.239	9.231	9.962	1.079
	0.999	2.143 E-11	9.243	9.236	9.972	1.080
	0.999	2.141 E-11	9.236	9.229	9.975	1.081
	0.999	2.148 E-11	9.264	9.257	9.975	1.078
	0.999	2.142 E-11	9.241	9.234	9.975	1.080
rata2	0.999	2.143 E-11	9.245	9.237	9.972	1.080
80	1.001	2.496 E-11	9.189	9.197	10.000	1.087
	1.001	2.487 E-11	9.157	9.165	10.030	1.094
	1.001	2.486 E-11	9.153	9.162	9.992	1.091
	1.001	2.487 E-11	9.156	9.164	9.992	1.090
	1.001	2.480 E-11	9.128	9.136	9.992	1.094
rata2	1.001	2.487 E-11	9.157	9.165	9.996	1.091

Lanjutan Table IV.1

kv panel (kV)	Kp,t	Bacaan keithley	Bacaan (nC)	Bacaan Corr (nC)	Dosis ukur (mGy)	NKQ (mGy/nC)
90	1.001	3.098 E-11	9.104	9.112	9.979	1.095
	1.001	3.102 E-11	9.117	9.125	10.010	1.097
	1.001	3.109 E-11	9.137	9.145	9.964	1.090
	1.001	3.104 E-11	9.123	9.131	9.964	1.091
	1.001	3.105 E-11	9.124	9.132	9.964	1.091
rata2	1.001	3.103 E-11	9.121	9.129	9.976	1.093
100	1.001	3.661 E-11	9.115	9.126	10.080	1.105
	1.001	3.689 E-11	9.104	9.115	10.130	1.111
	1.001	3.669 E-11	9.054	9.065	10.000	1.103
	1.001	3.640 E-11	9.063	9.074	10.000	1.102
	1.001	3.676 E-11	9.072	9.083	10.000	1.101
rata2	1.001	3.667 E-11	9.081	9.093	10.042	1.104

Lampiran V

Data pengukuran detektor Unfors untuk menentukan lama waktu penyinaran dosis radiasi sinar-x sebesar 10 mGy, yang akan diarahkan ke dosimeter.

Tabel V.1 Lama waktu penyinaran radiasi sinar-x yang diarahkan ke dosimeter Farmer.

kv panel	kvukur	laju dosis (mGy/s)	dosis (mGy)	waktu (s)	waktu menit
50	50.930	0.023	10.000	433.651	7.228
	50.930	0.023	10.000	433.651	7.228
	51.030	0.023	10.000	434.405	7.240
	50.370	0.023	10.000	435.730	7.262
	50.570	0.023	10.000	435.161	7.253
rata2	50.770	0.023	10.000	434.520	7.242
60	60.840	0.020	10.000	502.260	8.371
	60.830	0.020	10.000	502.008	8.367
	60.760	0.020	10.000	503.018	8.384
	60.660	0.020	10.000	500.000	8.333
	60.830	0.020	10.000	499.750	8.329
rata2	60.780	0.020	10.000	501.407	8.357
70	69.910	0.021	10.000	465.983	7.766
	71.080	0.021	10.000	466.418	7.774
	70.990	0.021	10.000	466.418	7.774
	69.460	0.021	10.000	467.727	7.795
	70.030	0.021	10.000	467.508	7.792
rata2	70.290	0.021	10.000	466.811	7.780
80	81.340	0.025	10.000	392.311	6.539
	82.130	0.025	10.000	393.391	6.557
	82.590	0.025	10.000	392.465	6.541
	81.390	0.025	10.000	392.311	6.539
	82.360	0.026	10.000	390.472	6.508
rata2	81.960	0.026	10.000	392.190	6.536
90	93.440	0.032	10.000	315.657	5.261
	94.580	0.032	10.000	315.756	5.263
	91.310	0.032	10.000	316.456	5.274
	92.000	0.032	10.000	316.857	5.281
	92.280	0.032	10.000	316.957	5.283
rata2	92.720	0.032	10.000	316.336	5.272

kv panel	kvukur	laju dosis	dosis	waktu	
kv	kvp	(mGy/s)	(mGy)	(s)	menit
100	103.400	0.038	10.000	264.760	4.413
	104.800	0.038	10.000	263.574	4.393
	104.500	0.038	10.000	264.340	4.406
	105.200	0.038	10.000	263.713	4.395
	101.600	0.038	10.000	263.783	4.396
rata2	103.900	0.038	10.000	264.034	4.401

Tabel V.2 Lama waktu penyinaran radiasi sinar-x yang diarahkan ke dosimeter Keithley - Farmer.

kv panel	kvukur	laju dosis	dosis	waktu	
kv	kvp	(mGy/s)	(mGy)	(s)	menit
50	48.190	0.023	10.000	427.350	7.123
	50.960	0.023	10.000	427.655	7.128
	51.300	0.023	10.000	428.571	7.143
	50.980	0.023	10.000	427.960	7.133
	51.430	0.023	10.000	428.571	7.143
rata2	50.570	0.023	10.000	428.022	7.134
60	60.070	0.020	10.000	496.689	8.278
	59.830	0.020	10.000	495.458	8.258
	60.600	0.020	10.000	494.234	8.237
	60.210	0.020	10.000	494.641	8.244
	60.550	0.020	10.000	494.641	8.244
rata2	60.250	0.020	10.000	495.133	8.252
70	70.140	0.022	10.000	461.538	7.692
	70.060	0.022	10.000	465.116	7.752
	70.170	0.022	10.000	461.538	7.692
	70.440	0.022	10.000	461.184	7.686
	70.730	0.022	10.000	462.250	7.704
rata2	70.310	0.022	10.000	462.325	7.705
80	82.690	0.026	10.000	390.371	6.506
	82.570	0.025	10.000	392.413	6.540
	82.180	0.025	10.000	392.413	6.540
	83.390	0.026	10.000	389.610	6.494
	82.850	0.026	10.000	390.371	6.506
rata2	82.740	0.026	10.000	391.036	6.517

kv panel	kvukur	laju dosis	dosis	waktu	
kv	kvp	(mGy/s)	(mGy)	(s)	menit
90	91.290	0.032	10.000	314.301	5.238
	92.320	0.031	10.000	320.000	5.333
	93.340	0.031	10.000	319.149	5.319
	92.790	0.031	10.000	321.371	5.356
	92.850	0.032	10.000	312.012	5.200
rata2	92.520	0.032	10.000	317.367	5.289
100	106.800	0.038	10.000	260.530	4.342
	100.900	0.038	10.000	262.352	4.373
	104.000	0.038	10.000	260.643	4.344
	104.600	0.038	10.000	260.304	4.338
	104.000	0.038	10.000	260.983	4.350
rata2	104.060	0.038	10.000	260.962	4.349

Tabel V.3 Lama waktu penyinaran radiasi sinar-x yang diarahkan ke dosimeter Keithley – TK 30cc.

kv panel	kvukur	laju dosis	dosis	waktu	
kv	kvp	(mGy/s)	(mGy)	(s)	menit
50	49.910	0.025	10.000	406.780	6.780
	50.940	0.025	10.000	407.886	6.798
	50.850	0.025	10.000	408.441	6.807
	51.540	0.025	10.000	406.229	6.770
	51.750	0.025	10.000	407.056	6.784
rata2	51.000	0.025	10.000	407.278	6.788
60	59.940	0.021	10.000	471.328	7.855
	60.320	0.021	10.000	467.290	7.788
	60.340	0.021	10.000	470.958	7.849
	60.630	0.021	10.000	469.851	7.831
	60.280	0.021	10.000	469.851	7.831
rata2	60.300	0.021	10.000	469.855	7.831
70	70.340	0.023	10.000	438.596	7.310
	70.470	0.023	10.000	438.596	7.310
	70.390	0.023	10.000	439.239	7.321
	71.360	0.023	10.000	436.681	7.278
	71.220	0.023	10.000	440.529	7.342
rata2	70.760	0.023	10.000	438.728	7.312

kv panel	kVukur	laju dosis	dosis	waktu	
kv	kvp	(mGy/s)	(mGy)	(s)	menit
80	81.310	0.027	10.000	373.367	6.223
	82.590	0.027	10.000	373.134	6.219
	81.720	0.027	10.000	373.599	6.227
	82.070	0.027	10.000	374.065	6.234
	81.980	0.027	10.000	371.978	6.200
rata2	81.930	0.027	10.000	373.228	6.220
90	91.380	0.034	10.000	297.471	4.958
	90.440	0.034	10.000	297.767	4.963
	90.900	0.034	10.000	297.324	4.955
	91.660	0.034	10.000	297.177	4.953
	91.640	0.034	10.000	297.030	4.950
rata2	91.200	0.034	10.000	297.354	4.956
100	103.500	0.040	10.000	248.756	4.146
	103.200	0.040	10.000	248.242	4.137
	103.100	0.040	10.000	249.066	4.151
	104.100	0.040	10.000	249.169	4.153
	102.100	0.040	10.000	249.584	4.160
rata2	103.200	0.040	10.000	248.963	4.149