

SERISI ISI MUI

**PENENTUAN NILAI HVL FILTER ALUMINIUM
PADA PESAWAT X-RAY GENERAL PURPOSE
DI RSUD MAJENE**



OLEH :

SUPRI HARMIATI

H211 07 075

SRISI ISI, RS ISI
SMMI IM
IORSI SSS
II

**PENENTUAN NILAI HVL FILTER ALUMINIUM
PADA PESAWAT X-RAY GENERAL PURPOSE
DI RSUD MAJENE**

SUPRI HARMIATI

H 211 07 075



*Diajukan sebagai salah satu syarat, untuk melengkapi tugas akhir dan
memperoleh gelar sarjana*

**KONSENTRASI FISIKA MEDIK JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2012**

**PENENTUAN NILAI HVL FILTER ALUMINIUM
PADA PESAWAT X-RAY GENERAL PURPOSE
DI RSUD MAJENE**

Oleh :

SUPRI HARMIATI

H211 07 075

isiti h

Pembimbing Utama

Sri Dewi Astuty Ilyas, S.Si., M.Si.

NIP. 19750513 199903 2 001

Pembimbing Pertama

Prof. Dr. Syamsir Dewang, M. Eng.

NIP. 196301111990021001

SARI BACAAN

telah dilakukan pengukuran tentang keluaran radiasi dan penentuan nilai HVL dari pesawat sinar-X general purpose di RS Majene. Pengukuran dan penentuan nilai HVL ini dimaksudkan untuk menguji kelayakan pesawat sinar-X yang digunakan untuk menghasilkan citra medik, dimana nilai HVL itu sendiri berpengaruh terhadap kualitas radiasi yang juga tentunya akan memberikan efek pada kualitas gambaran radiografi dalam hal ini berhubungan dengan kontras radiografi. Pengukuran ini menggunakan alat penetrometer dan filter aluminium dengan ketebalan bervariasi sesuai dengan penggunaan tegangan tabung X-ray yang berbeda pula untuk setiap pengukurannya.

Nilai HVL yang diperoleh dengan perhitungan yang dilakukan, kemudian dibandingkan dengan standar nilai HVL sesuai dengan rekomendasi *Radiation Safety Act 1975, Diagnostic X ray Equipment Compliance Test 2000* yang diterbitkan oleh pemerintah Australia. Untuk tegangan tabung 100 kV dihasilkan nilai HVL adalah 2,0 mmAl, untuk tegangan tabung 150 kV dihasilkan nilai HVL adalah 2,5 mmAl, dan untuk tegangan tabung 200 kV dihasilkan nilai HVL adalah 3,0 mmAl. Nilai HVL ini menunjukkan bahwa pesawat X-Ray general purpose di RS Majene dalam keadaan baik dan layak dipergunakan sebagai alat penunjang medik.

**Kata Kunci : Pesawat Sinar-X, Uji Kendali Mutu, Filter Aluminium
Nilai HVL, Kualitas Gambaran Radiografi**

A B S T R A C T

Measurements have been performed on the output radiation and the determination of the HVL of the X-ray plane at the Hospital General Purpose Majene. Measurement and determination of the HVL is intended to test the feasibility of the plane X-rays are used to produce medical image, where the HVL value itself affects the quality of radiation are also member this course will use the Pen Dosimeters tool and Filter Aluminium with thickness varying according to the use of tube voltage (kV) are different for each measurement.

HVL values obtained by calculations carried out, and then compared with the standard value of HVL in accordance with the recommended Radiations Protection Act 1984, International Commission on Radiological Protection issued by the Government of Western Australia. HVL value for 70 kV tube voltage generated is 3.2 mmAl, HVL value for a tube voltage of 80 kV resulting value is 3.4 mmAl, and HVL value for tube voltage of 90 kV for the resulting value is 3.8 mmAl.

These results indicate that the value of HVL of radiation qualities of X-ray tubes in hospitals Majene General Purpose qualify the feasibility of using X-ray machine because it is still within the limits of standard HVL value.

Keywords: radiation quality, half value layer, Aluminium filter, Pen Dosimeter, Radiography machine



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat, hidayah serta karunia-Nya, sehingga atas izin dan ridhanya penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “ *Penentuan Nilai HVL Filter Aluminium pada Pesawat X-Ray General Purpose di RSUD Majene*” yang merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan studi pada konsentrasi Fisika Medik, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam UIN Ar-Raniry, Universitas Hasanuddin Makassar.

Dalam penyelesaian Skripsi ini penulis banyak mendapat bimbingan, petunjuk dan bantuan dan dukungan moral dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ucapkan terima kasih kepada Ayahanda yang terhormat “ *Mohammad*” dan Ibunda yang terkasih “ *Rahmi Aji*” dan kepada kakak-kakak serta adik-adik atas dukungannya selama ini. Penulis juga dengan rendah hati dan rasa hormat menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada

Bapak Prof. H. Halmar Halide, M.Sc, selaku Ketua Jurusan Fisika, UIN Ar-Raniry, Universitas Hasanuddin Makassar.

Ibu Sri Dewi Astuty Ilyas, S.Si., M.Si dan **Bapak Prof. H. Syamsir Dewang, M. Eng. Sc**, selaku pembimbing dalam penyelesaian Skripsi ini.

- **Bapak Prof. H.Halmar Halide, M.Sc., Bapak Drs. Tasrief Surungan,**
dan **Bapak Eko Juarlin, S.Si., M. Si** selaku dosen penguji Skripsi
- **Bapak dan Ibu Dosen serta seluruh Staf Akademik** pada Jurusan
Fisika, MI, Universitas Hasanuddin Makassar
- **Ibu Hj. Rahmi Noor, S.Sos., M.Si.,** selaku Direktur RS Majene dan
Bapak Zainuddin Hasan, selaku Kepala Instalasi Radiologi serta rekan
rekan Staf Radiologi *ati, itra dan Ar* atas bantuannya
- Rekan-rekan Fisika Medik yang selalu berbagi suka dan duka dalam
menempuh dan menyelesaikan studi ini, *"I Love You All"* *K'Asmi, Ratih,*
hia, R, Adi, i, ai, i, ha, idi, ta dan Ais serta
rekan-rekan angkatan
- Spesial 'tuk Sahabatku *"Kharati"* thanks atas segala kenangan indah
yang terdapat manis, asam, dan asinnya perjuangan ini telah kita lalui
bersama, "I still Miss the teacher" serta untuk *"i ai"* trimakasih
telah menunggu kami, untuk *"r ia"* trimakasih atas ngeprint
ngeprintnya
- Tak lupa juga buat *Kharati Ratih* di Salem dan di Satand, makasih tuk
segalanya buat **Pak Udin,** makasih antarantarnya
- Rekan – rekan seperjuangan *is Mad Angkatan 2007 hingga 2012* yang
telah menempuh perjuangan ini dalam suka dan duka
- Rekan – rekan yang telah membantu atas terlaksananya penelitian sampai
selesai penyusunan skripsi ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu
persatu

Semoga bantuan dan kebaikannya mendapat pahala yang berlipat ganda serta senantiasa dilimpahkan segala kebaikan, kemudahan, kegemilangan dan kebahagiaan dalam hidup dari Allah SWT. Amin Ya Rabb.....

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari sempurna dan banyak kekurangannya, hal ini disebabkan keterbatasan pengetahuan penulis. Untuk itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini.

Akhirnya penulis mengharapkan semoga skripsi ini dapat berguna sebagaimana yang diharapkan dan bermanfaat bagi para pembaca.

Makassar, April 2020

Penulis



BAB I
PENDAHULUAN

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
SARI BACAAN	iii
ABSTRACT	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi

BAB I PENDAHULUAN	
--------------------------------	--

I (a) Latar Belakang	
I (b) Ruang Lingkup	
I (c) Tujuan	

BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
--------------------------------------	--

II (a) Penemuan Sinar X	
II (b) Proses terbentuknya Sinar X	
II (c) Sesat Sinar X	
II (c.1) Generator	
II (c.2) Sistem Kontrol	
II (c.3) Tabung Sinar X <i>X-Ray Tube</i>	
II (d) Uji Kesesuaian <i>Compliance Test</i>	
II (e) Uji Kendali Mutu <i>Quality Control Testing</i>	
II (f) Kualitas Sinar X	
II (g) Penentuan Nilai Dosis	

BAB III METODOLOGI PENELITIAN 29

III (1) aktu dan empat penelitian [] []

III (1) alat dan bahan [] []

III (1) prosedur penelitian [] []

III (1) analisis data pengukuran [] []

III (1) argan liri penelitian [] []

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 34

I (1) (1) hasil penelitian [] []

I (1) (1) pembahasan [] []

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 44

(1) (1) kesimpulan [] []

(1) (1) Saran [] []

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN-LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

□	Gambar	II	Ilustrasi cara kerja pesawat Sinar	□
□	Gambar	II	Proses terbentuknya Sinar Bremsstrahlung	□
□	Gambar	II	Proses terbentuknya Sinar karakteristik	□
□	Gambar	II	Block diagram pesawat Sinar konvensional	□
□	Gambar	II	Generator pesawat Sinar	□
□	Gambar	II	Control panel pesawat Sinar	□
□	Gambar	II	Bagian-bagianabung pesawat Sinar	□
□	Gambar	III	Skema uji penentuan nilai Q_{50}	□
□	Gambar	III	Diagram uji penentuan nilai Q_{50}	□
□	Gambar	I	Grafik hubungan hasil pengukuran paparan radiasi tanpa filter dengan keluaran teganganabung kV	□
□	Gambar	I	Grafik hubungan dosis paparan radiasi menggunakan filter dengan keluaran teganganabung kV	□
□	Gambar	I	Grafik hubungan dosis paparan radiasi menggunakan filter dengan keluaran teganganabung kV	□

DAFTAR TABEL

Tabel II	Elemen-elemen program <i>Quality Control</i> esat Sinar ...	ii
Tabel II	Nilai untuk berbagai kVp sinar	ii
Tabel I	Hasil pengukuran aparatur radiasi dengan berbagai variasi kV tanpa menggunakan filter	iii
Tabel I	Hasil pengukuran aparatur radiasi dengan berbagai variasi kV dengan menggunakan filter T₁	iii
Tabel I	Hasil pengukuran aparatur radiasi dengan berbagai variasi kV dengan menggunakan filter T₂	iii
Tabel I	Nilai untuk penggunaan kV yang berbeda	iii

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Sinar X ditemukan pertama kali oleh fisikawan berkebangsaan Jerman *Wilhelm C. Roentgen* pada tanggal 8 November 1895. Saat itu Roentgen bekerja menggunakan tabung Crookes di laboratoriumnya di *Universitas Wurzburg*. Dia mengamati nyala hijau pada tabung yang sebelumnya menarik perhatian Crookes. Roentgen selanjutnya mencoba menutup tabung itu dengan kertas hitam dengan harapan agar tidak ada cahaya tampak yang dapat lewat. Namun setelah ditutup ternyata masih ada sesuatu yang dapat lewat. Roentgen menyimpulkan bahwa ada sinar X yang tidak tampak yang mampu menembus kertas hitam tersebut.

Pada saat Roentgen menyalakan sumber listrik tabung untuk penelitian sinar katoda, beliau mendapatkan bahwa ada sejenis cahaya berpendar pada layar yang terbuat dari *barium platino cyanida* yang kebetulan berada di dekatnya. Jika sumber listrik dipadamkan, maka cahaya pendar pun hilang. Roentgen segera menyadari bahwa sejenis sinar yang tidak kelihatan telah muncul dari dalam *tabung sinar katoda*. Karena sebelumnya tidak pernah dikenal, maka sinar ini diberi nama sinar X. Namun untuk menghargai jasa beliau dalam penemuan ini maka seringkali sinar X itu dinamai juga sinar Roentgen.

Penemuan Sinar-X ternyata mampu mengantarkan ke arah terjadinya perubahan mendasar dalam bidang kedokteran dalam kegiatan medik, Sinar-X dapat dimanfaatkan untuk diagnosa maupun terapi. Untuk tujuan medik, tubuh manusia yang pada prinsipnya dapat dibedakan baik secara anatomi maupun fisiologi, pada mulanya merupakan objek yang tidak dapat dilihat secara langsung oleh mata namun dengan ditemukannya sinar-X, tubuh manusia ternyata dapat diubah menjadi objek yang transparan. Sinar-X mampu membedakan kerapatan dari berbagai jaringan dalam tubuh manusia yang dilewatinya. Dengan penemuan sinar-X ini, informasi mengenai tubuh manusia menjadi mudah diperoleh tanpa perlu melakukan operasi bedah.

Pesaqat sinar-X dengan komponen yang lengkap, belum cukup menjamin telah memenuhi standar parameter keselamatan pesaqat sinar-X harus dijamin dapat berfungsi dengan baik. Untuk mengetahui kinerja pesaqat sinar-X apakah dalam keadaan baik atau tidak, hal itu hanya dapat dilakukan melalui program Quality Assurance (jaminan kualitas) dan Quality Control (kendali Mutu Radiologi sesuai prosedur dengan tujuan mencakup tiga hal, yaitu mengurangi paparan radiasi, peningkatan intra diagnostik dan efisiensi penekanan biaya.

Program Quality Assurance (jaminan kualitas) dan Quality Control (kendali Mutu Radiologi ini juga diperlukan untuk mengetahui kinerja peralatan radiografi yang digunakan berkali-kali selama kurun waktu yang lama dan jumlah permintaan foto yang banyak, yang mana tidak menutup

kemungkinan alat tersebut mengalami penyimpangan fungsi dari kinerja optimum peralatan. Penyimpangan tersebut seharusnya terdeteksi sehingga dapat diatur kembali seperti semula sesuai dengan nilai standar. Salah satu kegiatan uji dalam program Quality Control adalah uji Kualitas Radiasi

Penentuan nilai H_{max} digunakan sebagai acuan untuk mengevaluasi kelayakan pesawat sinar-X dalam pemanfaatannya sebagai penunjang medik. Beberapa hal yang mempengaruhi nilai H_{max} adalah filter baik bawaan inherent maupun tambahan added filter, tegangan tabung pesawat sinar-X, target dan efisiensi generator. Oleh karena itu sebelum pengukuran H_{max} perlu dilakukan uji konsistensi dan akurasi k_{max} sehingga dalam perhitungan dosis hasilnya akan lebih akurat.

I.2. Ruang Lingkup

Uji Kualitas Radiasi dilakukan untuk mengetahui kinerja performa pesawat sinar-X apakah telah berfungsi sesuai dengan spesifikasi alat atau tidak. Adapun aspek-aspek yang diteliti meliputi uji konsistensi dan akurasi nilai keluaran tegangan tabung k_{max} serta nilai H_{max} untuk berbagai seting penggunaan nilai keluaran tegangan tabung k_{max}. Metode pengukuran kualitas radiasi keluaran pesawat sinar-X seperti diuraikan di atas dapat dilakukan dengan peralatan dan metode yang cukup sederhana namun untuk pengecekan kualitas radiasi, metode tersebut dapat memberikan hasil pengukuran yang cukup baik atau

□□□ yang diperoleh dapat dipakai sebagai parameter untuk menilai kelayakan operasi suatu pesawat sinar□□□

1.3. Tujuan Penelitian

- Mengukur paparan radiasi yang dihasilkan oleh pesawat sinar□□□
□eneral □urp□se sebelum dan setelah pemakaian filter □luminium□
- Menentukan nilai □□□ filter □luminium pada pesawat sinar□□□
□eneral □urp□se dengan penggunaan berbagai setting k□□

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Penemuan Sinar-X

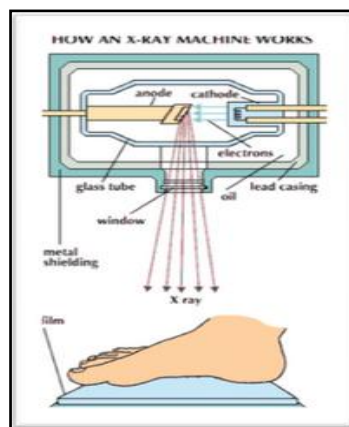
Sinar-X ditemukan pertama kali oleh fisika-an berkebangsaan Jerman *Wilhelm C. Roentgen* pada tanggal 8 Desember 1895. Pada saat Roentgen menyalakan sumber listrik tabung untuk penelitian sinar katoda, beliau mendapatkan bahwa ada sejenis cahaya berpendar pada layar yang terbuat dari *barium platino cyanida* yang kebetulan berada di dekatnya. Jika sumber listrik dipadamkan, maka cahaya pendar pun hilang. Roentgen segera menyadari bahwa sejenis sinar yang tidak kelihatan telah muncul dari dalam *tabung sinar katoda*. Karena sebelumnya tidak pernah dikenal, maka sinar ini diberi nama sinar-X. Namun untuk menghargai jasa beliau dalam penemuan ini maka seringkali sinar-X itu dinamai juga sinar Roentgen.

Penemuan Sinar-X ternyata mampu mengantarkan ke arah terjadinya perubahan mendasar dalam bidang kedokteran. Dalam kegiatan medik, Sinar-X dapat dimanfaatkan untuk diagnosa maupun terapi. Untuk tujuan medik, tubuh manusia yang pada prinsipnya dapat dibedakan baik secara anatomi maupun fisiologi, pada mulanya merupakan objek yang tidak dapat dilihat secara langsung oleh mata. Namun dengan ditemukannya sinar-X, tubuh manusia ternyata dapat diubah menjadi objek yang transparan. Sinar-X mampu membedakan kerapatan dari

berbagai jaringan dalam tubuh manusia yang dilewatinya. Dengan penemuan sinar ini, informasi mengenai tubuh manusia menjadi mudah diperoleh tanpa perlu melakukan operasi bedah.

II.2. Proses Terbentuknya Sinar-X

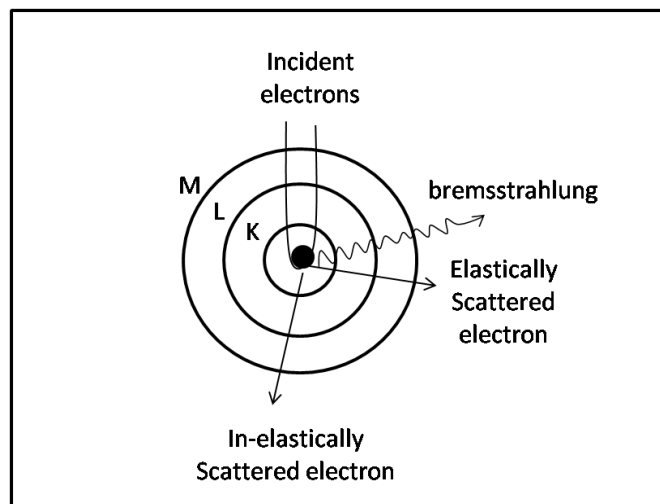
Dalam perkembangan berikutnya, sinar-X dibangkitkan dengan jalan menembaki target logam dengan elektron cepat dalam suatu tabung vakum sinar katoda. Elektron sebagai proyektil dihasilkan dari pemanasan *filamen* yang juga berfungsi sebagai katoda. Elektron dari filamen dipercepat gerakannya menggunakan tegangan listrik berorde ribuan volt. Elektron yang bergerak sangat cepat itu akhirnya ditumbukkan ke target logam bernomor atom tinggi dan suhu lelehnya juga tinggi. Target logam ini sekaligus juga berfungsi sebagai anoda. Ketika elektron berenergi tinggi itu menabrak target logam, maka sinar-X akan terpancar dari permukaan logam tersebut, seperti ditunjukkan pada gambar II.1.



Gambar II.1 Ilustrasi cara kerja mesin Sinar-X

Sumber: Efek Radiasi Bagi Manusia Yogyakarta: Diklat Pelatihan PPR UGM, 1998. Hal 11

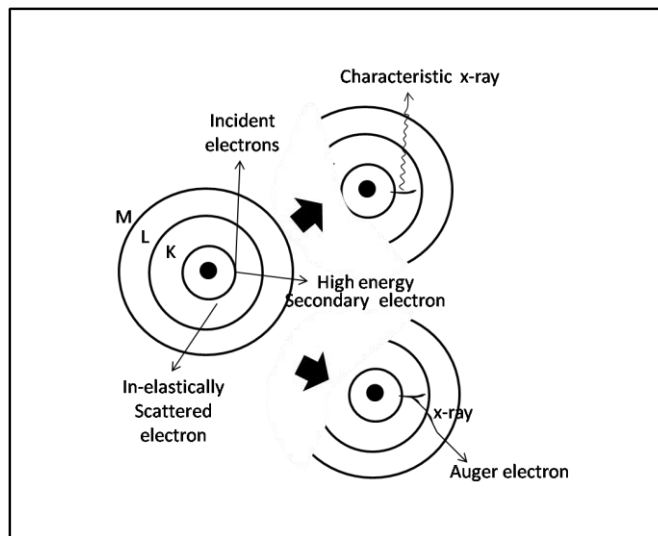
Elektron sebagai partikel bermuatan listrik yang bergerak dengan kecepatan tinggi, apabila melintas dekat ke inti suatu atom, maka gaya tarik elektrostatik inti atom yang kuat akan menyebabkan elektron membelok dengan tajam. Peristiwa ini menyebabkan elektron kehilangan energinya dengan memancarkan radiasi elektromagnetik yang dikenal sebagai *sinar-X bremsstrahlung*. Sinar-X bremsstrahlung mempunyai spektrum energi kontinu.



Gambar II.2 Proses terbentuknya Sinar-X bremsstrahlung
(Sumber : *Introduction to Health Physics*, Pergamon Press, New York (1987), hal. 54)

Sinar-X dapat pula terbentuk melalui proses perpindahan elektron atom dari tingkat energi yang lebih tinggi menuju ke tingkat energi yang lebih rendah. Adanya tingkat-tingkat energi dalam atom dapat digunakan untuk menerangkan terjadinya spektrum sinar-X dari suatu atom. Sinar-X yang terbentuk melalui proses ini mempunyai energi sama

dengan selisih energi antara kedua tingkat energi elektron tersebut
 karena setiap jenis atom memiliki tingkat-tingkat energi elektron yang
 berbeda-beda, maka sinar γ yang terbentuk dari proses ini disebut
sinar-X karakteristik

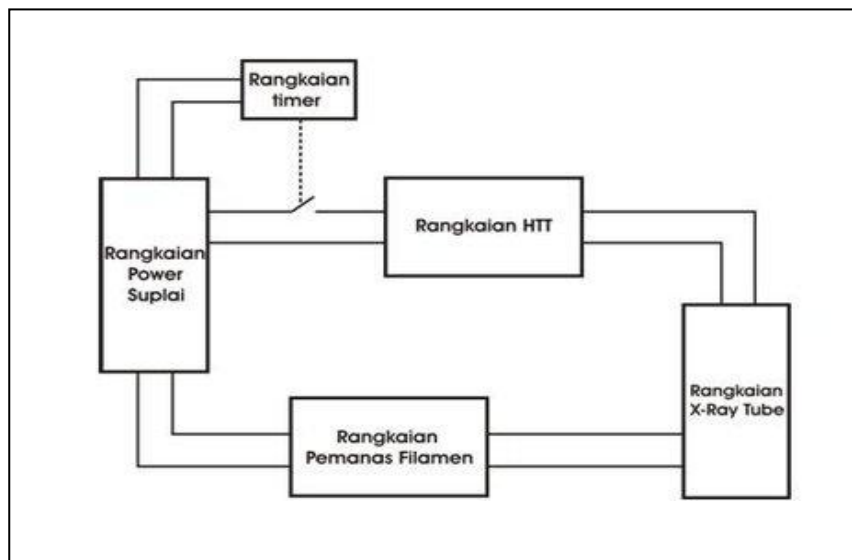


Gambar II.3 Proses terbentuknya Sinar γ karakteristik
 (Sumber : *Introduction to Health Physics, Pergamon Press, New York (1987) hal. 57*)

Sinar γ karakteristik terjadi karena elektron atom yang berada
 pada kulit α terionisasi oleh elektron kulit β ini segera diisi oleh elektron
 dari kulit di atasnya. Jika kekurangan pada kulit α diisi oleh elektron dari
 kulit β , maka akan dipancarkan sinar γ karakteristik α . Jika
 kekurangan itu diisi oleh elektron dari kulit M, maka akan dipancarkan
 sinar γ karakteristik. Jadi sinar γ karakteristik timbul karena adanya
 transisi elektron dari tingkat energi lebih tinggi ke tingkat energi yang
 lebih rendah. Spektrum energi dari sinar γ karakteristik adalah diskrit

II.3. Pesawat Sinar-X

Pesawat sinar-X adalah jenis pesawat yang dipakai untuk memproduksi sinar-X. Sebuah pesawat sinar-X terdiri atas tabung sinar-X dan variasi rangkaian elektronik yang saling terpisah. Secara umum, pesawat sinar-X ini mempunyai sumber elektron (filamen panas), sistem pemercepat gerak elektron hingga berkecepatan sangat tinggi dan target di mana elektron itu nantinya ditabrakkan.



Gambar II.4 Diagram skema pesawat sinar-X konvensional
(Sumber : Dasar-dasar Proteksi Radiasi, Jakarta: PT. Rineka Cipta, (1997) hal 95)

Tabung sinar-X berupa tabung kaca hampa udara sehingga tekanan di dalamnya sangat rendah. Di dalam tabung terdapat dua elektroda yang diberi beda tegangan sangat tinggi. Elektroda negatifnya disebut katoda, biasanya berupa filamen katoda tungsten yang melingkar

seperti spiral filamen pada posisinya berperan sebagai anoda yang disebut target, terbuat dari logam berat seperti *tungsten* atau *wolfram* yang ditempelkan pada penutup dari tembaga untuk mengalirkan panas untuk memperpanjang umur target, umumnya tabung sinar katoda dilengkapi dengan sistem anoda putar dipilih penutup tembaga karena bahan ini mempunyai sifat sebagai penghantar panas yang sangat baik. Sinar katoda dibangkitkan dengan jalan menembaki target logam dengan elektron yang terakumulasi dalam suatu tabung vakum.

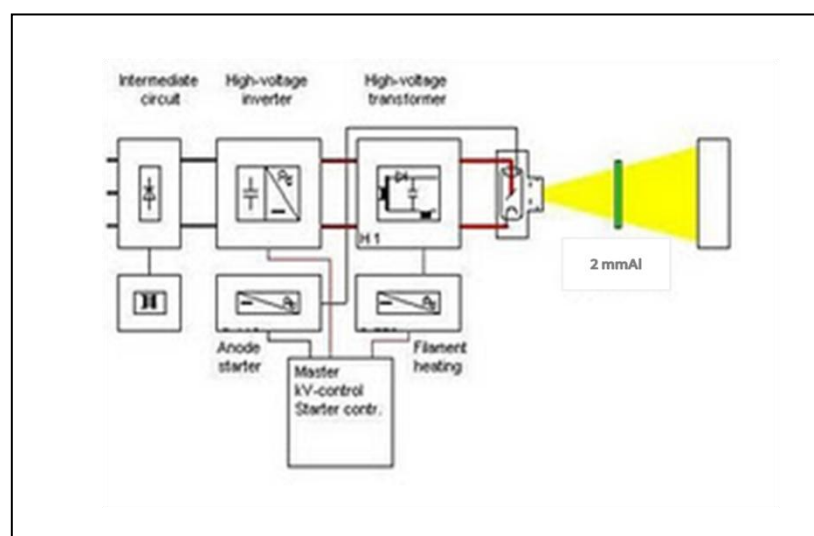
Sebagian besar tabung sinar katoda yang beroperasi di era ini menggunakan model tabung *Coolidge* yang dimodifikasi tabung yang lebih besar dan lebih kuat memiliki sistem pendingin air pada antikatodanya untuk mencegah pelelehan akibat panas yang timbul dari penembakan elektron.

Meskipun efisiensi diusahakan setinggi mungkin, namun untuk pesawat sinar katoda pada umumnya, kurang dari 1% energi elektron dapat diubah menjadi sinar katoda, sedang sisanya muncul sebagai panas karena itu, target harus dibuat dari bahan dengan titik lelehnya yang sangat tinggi dan harus mampu mengalirkan panas yang timbul. Mengingat sebagian besar energi elektron berubah menjadi panas, maka pada bagian anoda pesawat sinar katoda biasanya memiliki radiator bersirip di bagian luar tabung untuk membantu proses pendinginan target. Pesawat sinar katoda yang diperasikan pada tegangan sangat tinggi, anodanya memiliki lubang pendinginan untuk mengalirkan minyak atau air ke dalamnya.

dengan berkembangnya pengoperasian pesawat sinar-X, tumbuh pula industri pesawat pembangkit sinar-X beserta peralatan, perlengkapan dan suku cadangnya.

II.3.1 Generator

Pesawat sinar-X mempunyai sejumlah komponen yang menata kembali, mengendalikan, dan dapat menyimpan energi listrik sebelum digunakan ke tabung sinar-X. Komponen-komponen tersebut secara kolektif dinyatakan sebagai satu daya atau pembangkit generator. Fungsi generator bukan untuk mensuplai atau membangkitkan energi, tetapi mengubah energi listrik kedalam suatu bentuk produksi sinar-X. Fungsi generator lainnya sebagaimana yang dapat dilihat pada gambar adalah menjadikan operator dapat mengendalikan tiga parameter kuantifikasi, sebagai berikut: kV, mA, dan second (s).



Gambar II.5 Generator pesawat Sinar-X

(Sumber : *Modern Physics for Scientists and Engineers*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1991, hal. 29)

II.3.2 Sistem Kontrol

Sebelum pesawat sinar-X dipersiapkan maka perlu diatur parameter parameternya antara lain tegangan tinggi, arus tabung dan waktu *expose*. Untuk menghidupkan pesawat sinar-X dengan menekan tombol *power* utama. Selanjutnya atur tegangan tinggi melalui *kV* selektor, atur arus tabung melalui *mA* kontrol dan waktu *expose* lewat *timer*. Perkiraan hasil pengaturan akan ditampilkan di *display* pada panel kontrol. Setelah setting pengaturan parameter selesai, selanjutnya tekan tombol *expose* sekali maka lampu *ready* akan menyala tekan tombol *expose* dua kali, maka tabung akan memancarkan sinar-X.



Gambar II.6 Kontrol Panel Pesawat Sinar-X

Sumber: Efek Radiasi Bagi Manusia Yogyakarta: Diklat Pelatihan PPR UGM, 1998. Hal 18

Sistem pengatur berguna untuk mengatur waktu tegangan, arus dan waktu paparan, dimana waktu tegangan diatur dengan pengatur tegangan *kV* selektor, arus tabung diatur dengan pengatur arus *mA* kontrol dan waktu paparan diatur dengan pengatur waktu *expose* timer.

1. Pengatur Tegangan (KV selektor)

Pengaturan tegangan melalui sebuah trafo variabel atau auto transformer. Keluaran trafo variabel berupa tegangan rendah antara 0V sampai 250V. Hasil seting tegangan akan tampil pada display. Nilai tegangan hasil seting yang ditampilkan pada *display* merupakan tegangan kerja tabung untuk menghasilkan sinar-X.

2. Pengatur Arus Tabung (mA kontrol)

Arus yang masuk ke tabung akan memanaskan filamen sehingga menghasilkan elektron. Elektron yang bergerak dari katoda ke anoda. Besar kecil arus yang masuk harus diatur untuk menentukan intensitas sinar-X yang dikeluarkan oleh tabung. Arus hasil seting itu akan menghidupkan filamen dalam tabung yang selanjutnya akan menghasilkan elektron. Nilai arus hasil seting yang ditampilkan pada *display* merupakan besaran arus tabung untuk menghasilkan sinar-X.

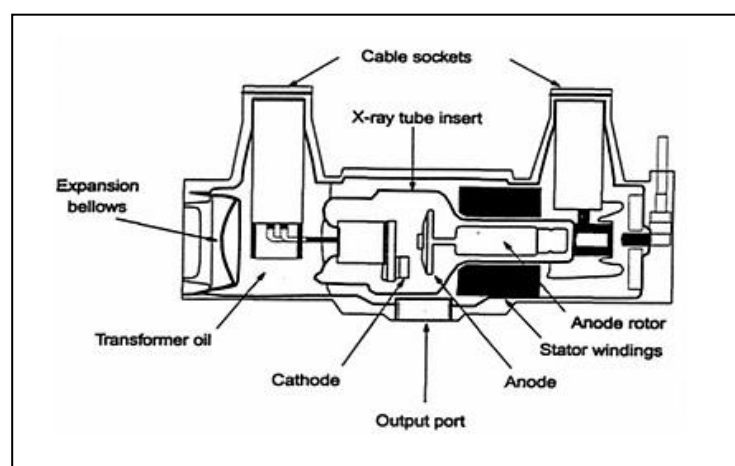
3. Pengatur waktu paparan (timer)

Waktu *expose* ditentukan oleh *timer*, pada pesawat sinar-X konvensional digunakan *timer* dengan sistem mekanik. Ketepatan sistem mekanik biasanya kurang karena adanya gesekan gesekan yang menghambat kerja *timer*, sehingga tingkat kepresisiannya rendah. Hal ini akan mempengaruhi hasil sinar-X yang dikeluarkan tabung dengan

pengaturan waktu *expose* pada *control panel* diharapkan sinar-X yang dihasilkan oleh tabung sesuai dengan dosis yang mestinya diterima oleh pasien.

II.3.3. Tabung Sinar-X (X-Ray Tube)

Tabung sinar-X adalah ruang hampa yang terbuat dari kaca tahan panas yang merupakan tempat sinar-X diproduksi. Tabung sinar-X adalah komponen yang utama yang terdapat pada pesawat sinar-X. Tabung sinar-X terdiri dari tabung gelas hampa udara, elektroda positif disebut anoda dan elektroda negatif disebut katoda. Katoda dilapisi dengan filamen, bila diberi arus beberapa mA bisa melepaskan elektron. Dengan memberi tegangan tinggi antara anoda dan katoda maka elektron katoda ditarik ke anoda. Arus elektron ini dikonsentrasikan dalam satu berkas dengan bantuan sebuah silinder focusing cup.



Gambar II.7 Bagian-bagian tabung pesawat Sinar-X
 (Sumber : *Modern Physics for Scientists and Engineers, Prentice Hall, Engelwood Cliffs, New Jersey, 1991, hal. 33*)

Elektron dengan kecepatan tinggi di dalam berkas tersebut menumbuk antikatoda, terjadilah sinar X. Makin tinggi nomor atom katoda maka makin tinggi kecepatan elektron, akan makin besar daya tembus sinar X yang terjadi. Anas yang tinggi pada tabung didinginkan dengan menggunakan minyak pendingin.

Tabung adalah tabung *asi* dan *si*.

Dinding bagian paling luar tabung disebut rumah tabung terbuat dari metal, sedangkan bagian dalamnya terbuat dari lapisan timbal. Fungsi dinding ini agar dapat menekan radiasi yang tidak dibutuhkan. Pada sisi kiri dan kanan *tube housing* dihubungkan dengan socket kabel tegangan tinggi yang menghubungkan generator tegangan tinggi dengan tabung sinar X. Pada *tube housing* juga dibuatkan jendela *housing* atau *port output* sebagai tempat sinar X keluar.

Fungsi *X-ray tube housing*, antara lain

- ✓ berfungsi sebagai isolasi dan proteksi tube insert dari gangguan tekanan dari luar.
- ✓ *X-ray tube housing* di dalamnya berisi oli transformer yang berfungsi untuk pendingin panas akibat tumbukan elektron dengan target dan pemisah komponen yang lain dalam tube insert.
- ✓ *X-ray tube housing* dilapisi lead shielding yang berfungsi untuk attenuasi radiasi agar tidak keluar dari tabung sinar X. Tingkat kebocoran tabung yang diperkenankan adalah 0,05 mR/jam pada

jarak pengukuran 1 mm diukur pada kondisi faktor ekspansi yang paling tinggi berkisar 0,000001k

Tabung Sinar bagian dalam **Ra**sert

Impenkanmpnen utama tabung sinar bagian dalam *X-Ray Tube Insert* sebagaimana yang tampak pada gambar meliputi

➤ Katoda

Katoda terbuat dari nikel murni dimana celah antara batang katoda disisipi katoda pijar filamen yang menjadi sumber elektron pada tabung sinar. Filamen terbuat dari katoda tungsten digulung dalam bentuk spiral bagian yang mengubah energi kinetik elektron yang berasal dari katoda adalah sekeping logam tungsten yang ditanam pada permukaan anoda

➤ Anoda

Anoda atau elektroda positif biasa juga disebut sebagai target jadi anoda disini berfungsi sebagai tempat tumbukan elektron. Anoda merupakan sasaran target yang akan ditembak oleh elektron yang dilengkapi dengan busikal spot permukaan anoda membentuk sudut dengan kemiringan. Kemiringan ini untuk mendapatkan bus yang efektif agar sinar yang keluar tabung dapat terarah

anoda merupakan anoda yaitu anoda diam dan anoda putar

Anoda angel sudut anoda adalah sudut pada permukaan bidang target yang dapat dijadikan pusat sumbu sinar yang terbentuk pada bidang atau area terbentuknya sinar optimal anoda angle bergantung pada aplikasi klinis pemeriksaan

a. *Small anoda* dengan sudut 60 derajat digunakan untuk ukuran objek pemeriksaan yang membutuhkan small field of view image reseptor, intinya pada pesawat sinar untuk fluoradiography dan pesawat angiografi dimana pada pesawat ini ada keterbatasan image intensifier II, yaitu diameter hanya maksimal 20 cm

b. *Large anoda* dengan sudut 120 derajat digunakan untuk *general radiographic*.

➤ *Focusing cup*

Focusing cup ini sebenarnya terdapat pada katoda yang berfungsi sebagai alat untuk mengarahkan elektron searah katoda ke target agar elektron tidak terpancar ke mana-mana ukuran fokus pada anoda ada dua, yaitu fokus besar (*large focus*) dan fokus kecil (*small focus*) bergantung pada pemilihan nilai arus tabung yang digunakan

➤ *Rotor atau stator*

Rotor atau *stator* ini terdapat pada bagian anoda yang berfungsi sebagai alat untuk memutar anoda. *Rotor* atau *stator* ini hanya terdapat

pada tabung sinar-X yang menggunakan anoda putar. Keuntungan dengan anoda putar antara lain pendinginannya lebih sempurna, target elektron dapat berganti-ganti.

➤ **Glass metal envelope (vacuum tube)**

Glass metal envelope atau *vacuum tube* terbuat dari kaca pyrex, merupakan tabung yang gunanya membungkus komponen-komponen penghasil sinar-X agar menjadi vakum atau kata lainnya menjadikannya ruangan hampa udara.

➤ **Oil**

Oil ini adalah komponen yang cukup penting ditabung sinar-X karena saat elektron-elektron menabrak target pada anoda, energi kinetik elektron yang berubah menjadi sinar-X hanyalah selebihnya berubah menjadi panas mencapai 2000°C, jadi disinilah peran oil sebagai pendingin tabung sinar-X.

➤ **Window**

Window atau jendela adalah tempat keluar sinar-X. Window terletak di bagian bawah tabung. Tabung bagian bawah di buat lebih tipis dari tabung bagian atas hal ini dikarenakan agar sinar-X dapat keluar.

II.4. Uji Kesesuaian (Compliance Testing)

Uji kesesuaian (compliance testing) adalah uji untuk memastikan bahwa pesawat Sinar-X memenuhi persyaratan keselamatan radiasi dan

memberikan informasi diagnosis atau pelaksanaan radiologi yang tepat dan akurat. Uji kesesuaian merupakan dasar dari suatu program jaminan mutu radiologi diagnostik yang mencakup sebagian tes program jaminan mutu, khususnya parameter yang menyangkut keselamatan radiasi.

Compliance Test atau kepatuhan merupakan suatu kesatuan dari program jaminan kualitas assurance dan kendali kualitas quality control yang disingkat dengan QC dan CCT. *Compliance test* sangat penting sebagai salah satu upaya optimasi proteksi radiasi terhadap pasien dan petugas. Antara program QC dan CCT yang berpengaruh pada kualitas intra dan dosis pasien yaitu pengujian fungsi pesawat sinar radiologi diagnostik. Tujuan pengujian fungsi pesawat sinar yaitu menjamin bahwa setiap parameter penyinaran pada pesawat teruji akurasi dan kedapatulangan fungsinya sesuai dengan spesifikasi alat dan bila terjadi penyimpangan harus berada dalam nilai batas toleransi yang disepakati. Dasar dari *compliance test* merujuk pada Standar Kompetensi dan Keahlian Kejuruan Keperawatan tentang Manajemen Dosis Pasien Radiologi Diagnostik dan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No 33 Tahun 2000 tentang Keselamatan Radiasi Pengion dan Keamanan Sumber Radiaktif. Adapun prosedur pengujian pesawat sinar diadopsi dari *Radiation Safety Act 1975, Diagnostic X ray Equipment Compliance Test 2000* yang diterbitkan oleh pemerintah Australia Barat.

Jaminan kualitas (*Quality Assurance-QA*) adalah suatu program menyeluruh, meliputi Kendali Mutu (*Quality Control-QC*) meluas hingga ke administrasi, metode pelatihan, peralatan dan pencegahan. Jaminan kualitas radiologi merupakan suatu alat manajemen untuk membantu dokter dan dokter spesialis radiologi dan mitra kerjanya menyelenggarakan proses intra diagnostik dengan keefektifan dan risiko sekecil mungkin maupun ketidaknyamanan terhadap pasien. Program tersebut meliputi evaluasi yang berkesinambungan dari kesesuaian dan keefektifan program intra seara menyeluruh, dengan maksud untuk memulai perbaikan parameter keselamatan jika diperlukan.

Tujuan utama program jaminan kualitas (*Quality Assurance*) program radiologi adalah diagnosa pasien yang tepat dan akurat. Tujuan ini akan terkait dengan program jaminan kualitas menyeluruh yang disesuaikan dengan kebutuhan fasilitas, mencakup tiga hal:

- mengurangi paparan radiasi
- peningkatan intra diagnostik dan
- siasat penekanan biaya

Setiap uji kesesuaian pesawat sinar-X menggunakan peralatan yang tepat untuk setiap pemeriksaan. Peralatan itu sendiri harus memiliki program pemeliharaan dan jaminan mutu. Urut-urutan pengukuran dan kondisi penyinaran harus sesuai dengan parameter uji kesesuaian. Pengukuran pada uji kesesuaian diharapkan memberikan estimasi terbaik terhadap parameter uji kesesuaian. Namun setiap pengukuran pasti

memiliki ketidakpastian, bergantung pada teknik pengukuran dan peralatan yang digunakan oleh karena itu batas toleransi untuk suatu parameter harus dimasukkan ke dalam ketidakpastian pengukuran

Ada tiga pertimbangan pokok sehingga uji kepatuhan pesawat sinar-X diagnostik hendaknya dilakukan di Indonesia, yaitu

- kajian di negara Australia dan negara lainnya menunjukkan bahwa kinerja pesawat sinar-X yang buruk (*poor X-ray equipment performance*) dapat menyebabkan kontribusi paparan radiasi yang tidak perlu terhadap pasien
- adanya kecenderungan (*trend*) bahwa program jaminan kualitas menjadi keharusan (*mandatory*) untuk radiologi medik di beberapa negara dan
- bukti signifikan dari temuan inspeksi yang dilakukan oleh WHO menunjukkan bahwa ada sejumlah pesawat sinar-X dengan kinerja yang buruk

Frekuensi pengujian dilakukan sesuai dengan jenis pesawat sinar-X. Hasil uji kesesuaian dievaluasi oleh Tim Tenaga Ahli (*Qualified Expert Team*) pengujian yang dilakukan oleh petugas uji yang berkualifikasi harus dengan peralatan uji yang standar (*Compliance Test* atau *Quality Test Tools*) dan menggunakan protokol uji (*Test Protocol*) yang sesuai

II.5. Uji Kendali Mutu (*audit* *tr* *sti*)

Untuk mengetahui kinerja *performance* pesakit sinar maka uji kepatuhan atau uji pemenuhan ketentuan terhadap keselamatan atau suatu standar harus dilakukan sebelum pesakit sinar tersebut digunakan untuk diagnosa pasien. Mengacu pada informasi ilmiah tersebut, maka uji kesesuaian (*Compliance testing*) identik dengan uji kendali mutu (*Quality control testing*)

Uji Kendali Mutu (*Quality Control Test*) menitik beratkan akurasi programnya pada teknik-teknik yang diperlukan bagi pengelasan, penjagaan dan perawatan peralatan radiologi pesakit sinar

Kendali mutu merupakan kegiatan yang sangat penting dalam pelayanan radiologi dianalisis kepada pasien. Program ini wajib dilakukan dalam upaya menjamin pelayanan radiologi dianalisis yang berkualitas, yaitu pelayanan yang tepat, akurat dan aman bagi pasien, pekerja dan lingkungan. Dengan demikian, Kendali Mutu tidak dapat dipisahkan dengan program Jaminan Mutu (*Quality Assurance*)

Definisi program jaminan mutu itu sendiri, dalam radiologi diagnostik berdasarkan adalah suatu usaha yang tertata dengan baik oleh staf untuk memastikan intra diagnostik yang dihasilkan memiliki kualitas tinggi sehingga dapat memberikan informasi diagnostik yang memadai secara konsisten, yang didapat dengan biaya dan paparan radiasi pasien seminimal mungkin

Kendali mutu terdiri dari serangkaian uji standar untuk mendeteksi penyimpangan fungsi dari kinerja optimum peralatan. Uji kendali mutu tersebut dilakukan dengan penuh perhatian pada jangka waktu tertentu, mendeteksi secara berangsur-angsur perkembangan ketidaknormalan fungsi peralatan dan tindakan perbaikan yang dimungkinkan sebelum terjadi kerusakan yang signifikan dari kualitas. Sertifikasi Serangkaian uji tersebut dapat mengindikasikan kerusakan peralatan sebelum terjadi kehabisan (*breakdown*).

Dapun langkah-langkah yang diperlukan untuk suatu program *Quality Control* adalah sebagai berikut:

1. Uji penerimaan pesakit / uji fungsi awal

Apakah pesakit yang telah dibeli memiliki kinerja sesuai dengan spesifikasi pabrik yang telah mereka rekomendasikan dengan standar nasional atau internasional?

2. Pemantauan kinerja rutin

Dilakukan pemantauan secara periodik yang bersifat harian, mingguan, bulanan.

3. Perbaikan (*maintenance*)

Dilakukan apabila kinerja komponen peralatan telah melampaui rekomendasi standar yang dianjurkan, misalnya tabung sinar X.

Paya penggantian komponen peralatan harus dilakukan demi

menjaga keselamatan, perlindungan dan menjamin mutu bagi pengguna jasa atau bagi petugas pelaksana.

Untuk menghindari adanya kesalahan (kesalahan pada pemeriksaan, yang sebagian besar disebabkan oleh menurunnya kemampuan kinerja *performance* pesawat sinar-X), maka perlu diketahui parameter (parameter elemen-elemen program *Quality Control (QC)* pesawat sinar-X), berdasarkan rekomendasi *Radiation Safety Act 1975, Diagnostic X-Ray Equipment Compliance Test 2000*.^[1]

Tabel 2.1
Elemen-elemen program *Quality Control* pesawat Sinar-X

Pengukuran	Frekuensi	Toleransi
Filtrasi	Tahunan	2,1 mmAl
Ukuran timasi	Per 6 bulanan	0,05 SI
Ukuran titik fokus	Tahunan	0,05
Kalibrasi kawat lunak	Tahunan	0,05
Kecepatan aktual aparatur	Tahunan	0,05 - 0,1 ms
		0,1 ms
Linearitas aparatur	Tahunan	0,05
Illuminator film	Tahunan	0,05 lu

(Sumber : *Radiation Safety Act [1975], Diagnostic X-Ray Equipment Compliance Test 2001 hal. 17*)

II.6. Kualitas Sinar-X

Kualitas ataupun energi sinar-X umumnya dinyatakan dalam bentuk nilai tegangan yang digunakan dalam tabung pesawat. Semakin besar tegangan tabung akan semakin tinggi energi sinar-X yang dipancarkan. Misalnya tabung yang diperasikan pada tegangan punak V_0 , biasanya dinyatakan dengan kVp V_0 kV energi maksimum sinar-X yang dihasilkan oleh pesawat tersebut adalah V_0 ke-100. Namun hanya sebagian kecil keluaran sinar-X yang mencapai energi tersebut, sedang sebagian besarnya memiliki energi yang lebih rendah. Tabung sinar-X merupakan bentuk paling sederhana tentang jenis pemcepat partikel tunggal dalam tabung ini elektron yang dipancarkan oleh filamen panas dipercepat melalui tabung hampa menuju target tungsten atau wolfram yang diberi beda potensial positif tinggi terhadap sumber elektron.

Pada saat berkas elektron menabrak target, sebagian besar energi elektron hilang dalam bentuk panas, sebagian energi lainnya hilang untuk memproduksi sinar-X, namun ada pula kemungkinannya semua energi kinetik elektron tersebut diubah menjadi bentuk sinar-X.

Besar energi elektron yang dipercepat dengan beda potensial V_0 dirumuskan dengan

Untuk keperluan medis, energi efektif sinar-X sering kali cukup disetarakan dengan nilai tebal parafilm atau *half value layers* HVL , yaitu

nilai ketebalan filter untuk mengurangi intensitas sinar menjadi setengah dari dosis mula-mula

Untuk mengetahui nilai μ dari filter aluminium, maka digunakan persamaan sebagai berikut

$$HVL = \frac{T_1 \ln(D_1/D_0) - T_2 \ln(D_2/D_0)}{\ln(D_1/D_2)}$$

II.6. Penentuan Nilai HVL

Kebergantungan kualitas radiasi terhadap k_{p} biasanya dinyatakan dengan kebergantungannya terhadap nilai μ aluminium. Oleh sebab itu, untuk mengukur kualitas radiasi keluaran pesawat sinar dapat dilakukan melalui pengukuran μ dari bahan filter. Metode paling sederhana untuk pengukuran μ adalah melalui pengukuran nilai paparan sinar pada posisi tertentu menggunakan *Pen-dose*. *Pen-dose* dapat dimanfaatkan untuk memperkirakan energi efektif keluaran pesawat sinar dengan metode yang cukup sederhana. Pengukuran nilai paparan dilakukan melalui penyinaran langsung pada *Pen-dose* yang dipasang pada jarak tertentu dari *diaphragma* pesawat sinar. Data hasil pengukuran ini merupakan dosis mula-mula sebelum melewati filter μ , yang nilainya dapat dibaca langsung pada μ simeter.

Pengukuran paparan sinar-X yang sama dilakukan dengan penggunaan filter yang ketebalannya diketahui. Pengukuran dilakukan pada posisi yang sama dengan pengukuran pertama begitu juga dengan lama penyinaran dan kapasitas nilai paparan yang diperoleh dari pengukuran ini setara dengan dosis keluaran pesawat setelah melalui filter 0,5 mm Al. Sedang nilai efektifnya dihitung menggunakan persamaan II.1.1

Dalam kaitannya dengan penentuan energi sinar-X, kita tidak bisa semata-mata hanya mengandalkan pada penunjukan skala kVp tabung sinar-X. Di samping itu, nilai kV yang ditunjukkan oleh pesawat belum tentu sama dengan kV dalam tabung sinar-X. Perbedaan itu dapat disebabkan oleh usia komponen elektronik maupun jarak pada target. Oleh karena itu diperlukan adanya pengecekan rutin maupun penelitian khusus untuk mengukur kualitas keluaran pesawat sinar-X.

Beberapa Institusi Internasional telah mengeluarkan publikasi tentang standar untuk berbagai nilai kVp. Nilai standar untuk berbagai nilai keluaran tegangan tabung kVp sinar-X, dapat dilihat pada tabel III, berikut.

Tabel 2.1
Nilai HVL untuk berbagai kVp sinar

kV	HVL (mmAl)
70	$\geq 2,1$
80	$\geq 2,3$
90	$\geq 2,5$
100	$\geq 2,7$
110	$\geq 3,0$
120	$\geq 3,2$
130	$\geq 3,5$

(Sumber : *Diagnostic X-Ray Equipment Compliance Test* , 2001 hal. 59)