BAB II

DASAR TEORI

2.1. Tabung Sinar-X

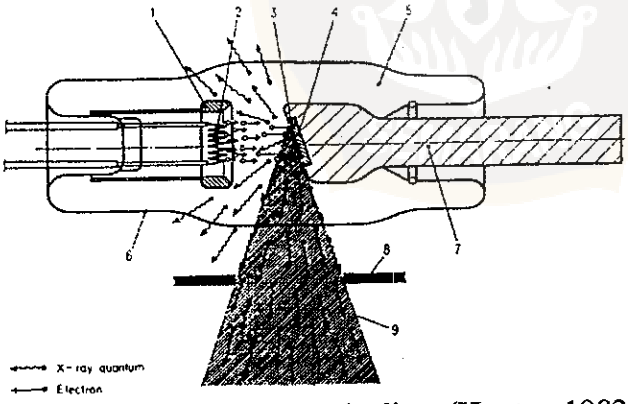
Pesawat rontgen diagnostic merupakan mesin pembangkit sinar-X, yang terdiri dari bermacam-macam komponen tetapi pada dasarnya mesin pembangkit sinar-X dibagi menjadi tiga bagian komponen dasar, yaitu: generator tegangan tinggi, tempat pengoperasian dan tabung sinar-X.

Tabung sinar-X adalah tabung hampa udara yang mempunyai tekanan 10^{-5}-10^{-6} mm Hg. Bagian dalam tabung sinar-X mempunyai komponen utama dalam pembentukan sinar-X yaitu: anoda dan katoda, anoda untuk muatan positif sedangkan katoda bermuatan negatif.

Tabung sinar-X menurut anodanya dibedakan menjadi dua bagian yaitu :

2.1.1.Tabung sinar-X.anoda diam.

Tabung sinar-X yang dilengkapi dengan anoda diam, artinya anodanya tak dapat digerakkan (lihat gambar 2.1).



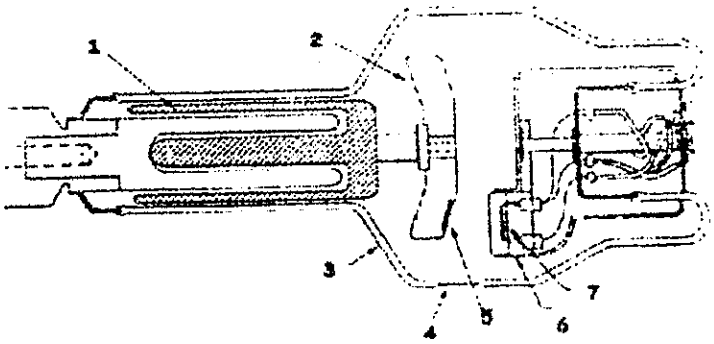
Gambar 2.1. Skema tabung sinar-X anoda diam (Hoxter, 1982).
Keterangan gambar :

1. Katoda
2. Filamen primer
3. Bidang Focus
4. Target
5. Ruang hampa udara
6. Selubung kaca
7. Anoda
8. Diagframa
9. Berkas sinar-X

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.1.2 Tabung sinar-X anoda putar

Tabung sinar-X anoda putar adalah tabung sinar-X yang anodanya berputar pada saat eksposi selama pesawat rontgen digunakan dalam pemeriksaan, dilengkapi dengan motor sebagai penggerak (gambar 2.2).



Gambar 2.2 Tabung sinar-X anoda putar (Bushong,1988)

Keterangan gambar:

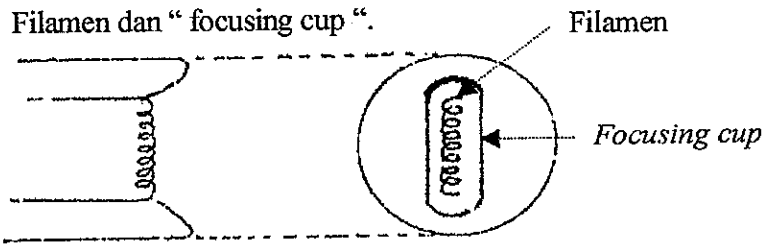
1.Motor Listrik.
2. Piringan anoda.
3.Gelas Pembungkus.
4.*Window*
5.Target
6.*Focusing Cup.*
7.Filamen.

Bagian – bagian dari tabung sinar-X anoda putar adalah sebagai berikut:

2.1.2.1 Katoda

Katoda adalah bagian kutup negatif dari tabung sinar-X, fungsinya sebagai penghasil berkas elektron.

Katoda mempunyai 2 komponen, yaitu :



Gambar 2.3 Filamen dan " focusing cup "(Bushong,1988)

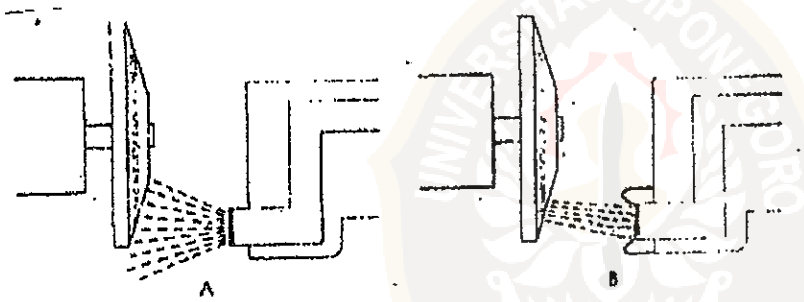
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

a. Filamen

Filamen dalam tabung sinar-X merupakan awal dipancarkan elektron. Filamen berbetuk lilitan (gulungan) kawat yang terbuat dari tungsten (titik leburnya 3410 ^{0}C). Alasan dipilihnya tungsten sebagai bahan filamen selain mempunyai titik lebur yang tinggi juga mempunyai nomor atom yang tinggi.

b." Focusing cup "

Focusing cup merupakan alat yang berfungsi untuk mengarahkan Pancaran elektron agar tidak berpencar dan terfokus pada piringan anoda. *Focusing cup* terbuat dari nikel atau baja yang tidak mudah berkarat (stainless)(gambar 2..4).



A Katoda tanpa *focusing cup* B Katoda dengan *focusing cup*

Gambar 2. 4 Menunjukkan katoda tanpa dan dengan *focusing cup* (Bushong ,1988)

2.1.2.2 Anoda

Anoda adalah bagian positif dari tabung sinar-X. Dalam menjalankan fungsinya anoda merupakan tempat menerima tumbukan berkas elektron dari filamen pada katoda.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Karena anoda merupakan tempat tumbukkan elektron dari filamen sehingga terjadi panas yang cukup tinggi maka diperlukan bahan target yang baik.

Dalam pemilihan bahan target tersebut biasanya dipilih tungsten atau campuran tungsten dengan Rhenium. Alasan dipilihnya tungsten sebagai bahan target adalah sebagai berikut:

a. Nomor atom

Tungsten mempunyai nomor atom yang tinggi (Z : 74). Dengan nomor atom yang tinggi maka intensitas radiasi akan tinggi pula karena intensitas radiasi sebanding dengan nomor atom dan energi pancaran elektron dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$I = ZE^2 \qquad (2.1)$$

dengan : I adalah Intensitas radiasi.
Z adalah Nomor atom.
E adalah Energi elektron.

b. Konduktor panas yang baik

Tungsten merupakan konduktor panas yang baik yang hampir sama dengan tembaga sehingga sangat efisien untuk menghantarkan panas yang ditimbulkan saat tertembak elektron.

c. Titik lebur tinggi

Tungsten mempunyai titik lebur yang tinggi (3410 °C) sehingga pada saat tumbukan antara elektron dengan target yang disertai panas yang tinggi anoda tidak mudah mengembang dan tidak mudah rusak (Bushong,1988).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.2 Proses Terjadinya Sinar-X

Bagian-bagian yang terpenting untuk mendukung proses terjadinya sinar-X adalah:

a. **Sumber elektron.**

berupa kawat pijar atau filamen dalam tabung sinar-X.

b. **Gaya untuk mempercepat elektron.**

Memberikan percepatan yang diperlukan untuk elektron, tergantung tegangan yang terpasang pada sinar-X.

c. **Lintasan bebas untuk elektron-elektron.**

Untuk mempercepat gerakannya maka diperlukan ruang hampa udara (10^{-5} – 10^{-6} mm Hg).

d. **Alat pemusat berkas elektron.**

Merupakan suatu lensa elektronik yang menyebabkan elektron-elektron tidak bergerak pencar, tetapi diarahkan kesemua arah pada bidang fokus.

e. **Benda penghenti elektron.**

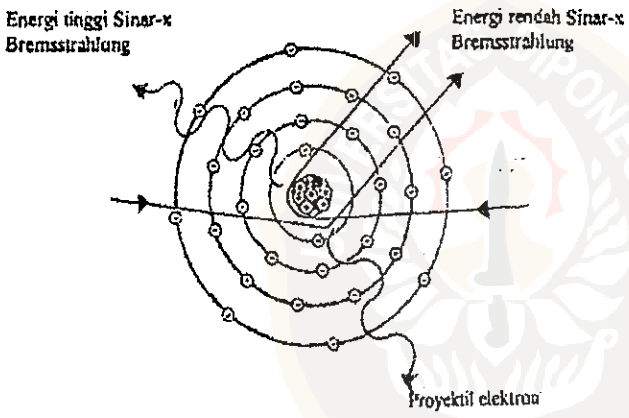
Yang menghambat gerakan elektron-elektron adalah kepingan tungsten yang ditanam didalam tembaga pada anoda.

Apabila filament yang dipanaskan kurang lebih 2000 ^{0}C, maka filament akan berpijar membentuk kabut elektron. Pada saat antara katoda dan anoda diberi beda potensial yang tinggi maka elektron-elektron akan bergerak dengan kecepatan tinggi menuju anoda dan menumbuk target sehingga terbentuklah sinar-X (Chesney,1975).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.3 Mekanisme terjadinya sinar-X

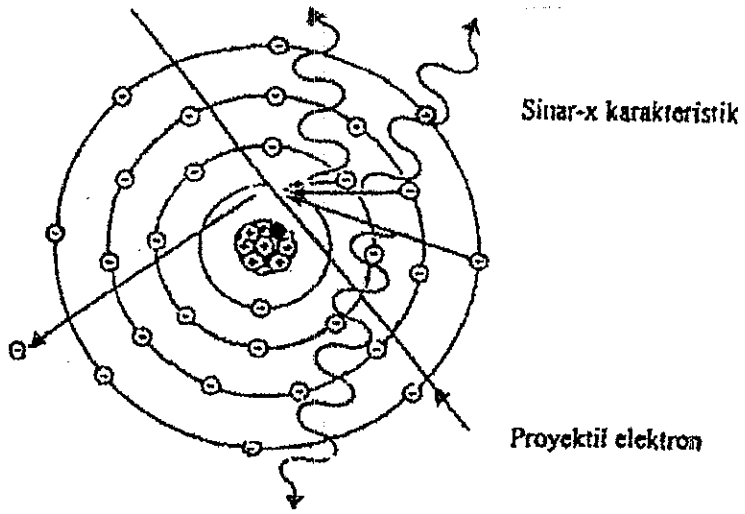
Sinar-X dapat dihasilkan melalui dua proses. Jika filamen diberi arus maka akan terdapat awan elektron disekitar filamen disertai peningkatan panas pada filamen. Beda potensial yang sangat tinggi akan menyebabkan elektron bergerak dengan cepat dan secara tiba-tiba dihentikan target. Elektron yang menumbuk target bergerak mendekati inti atom, akan menyebabkan terjadinya gaya Coulomb dan terjadi pembelokan arah. Pembelokan arah tersebut menyebabkan perlambatan kecepatan elektron menimbulkan pancaran sinar-X *Bremsstrahlung*. Skema sinar-X *Bremsstrahlung* seperti dalam gambar 2.5.



Gambar 2.5 Sinar-X *Bremsstrahlung* (Bushong, 1988)

Jika elektron yang menumbuk atom terget menyebabkan terpentalnya elektron pada kulit atom target dan keluar dari orbitnya (misal pada kulit K) maka elektron dari kulit L akan mengisi kekosongan *hole* pada kulit K sambil memancarkan sinar-X. kekosongan *hole* pada kulit L akan diisi elektron dari kulit M dan seterusnya. Sinar-X yang demikian disebut sinar-X *karakteristik* (lihat gambar 2.6).

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



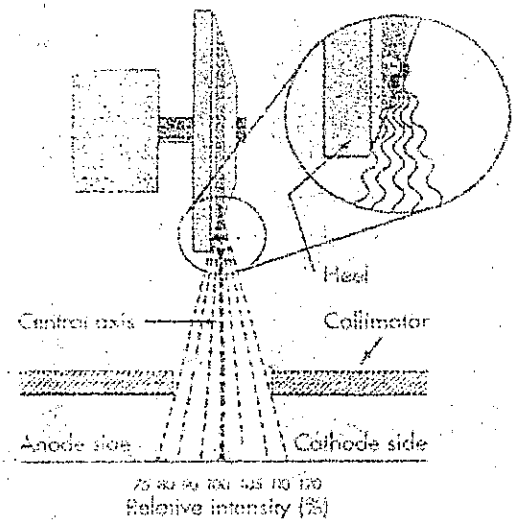
Gambar 2.6 Sinar-X *Karakteristik* (Bushong, 1988)

2.4 Efek *Heel* (Heel Effect)

Satu konsekwensi yang tidak menguntungkan dari prinsip fokus garis adalah intensitas radiasi pada sisi katoda dari bidang sinar-X adalah lebih besar dibandingkan pada sisi anoda, karena elektron – elektron berinteraksi dengan elektron target (anoda). Sehingga intensitas dari sinar-X yang terpancar melewati "Heel" dari target akan melemah karena mempunyai lintasan yang lebih panjang untuk melewati target (anoda) dan menyebabkan penyerapan (absorbsi). Ini yang disebut dengan *heel effect* (gambar 2.7).

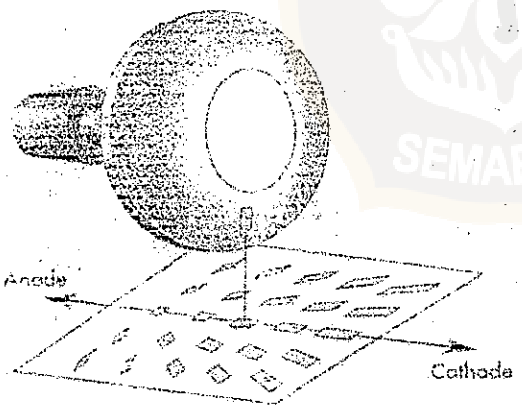
Perbedaan dalam intensitas radiasi pada berkas yang bermanfaat dari bidang sinar-X dapat bervariasi sampai 45%. Sinar-X pusat dari berkas yang efektif adalah garis imaginer yang dibuat dari sumbu tengah sinar-X dalam berkas. Jika intensitas radiasi sepanjang sinar tengah dianggap 100% maka intensitas pada sisi katoda akan setinggi 120% dan sisi anoda akan serendah 75%. Dapat dilihat gambar 2.7.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.7 Efek *heel* terjadi karena pengurangan intensitas sinar-X pada sisi anoda disebabkan oleh penyerapan heel target (Bushong, 2001)

Konsekwensi yang penting lainnya dari *effect heel* adalah perubahan ukuran *focal spot*. *Focal spot* efektif adalah lebih kecil pada sisi anoda dari bidang sinar-X dibandingkan pada sisi katoda lihat gambar 2.8, Manfaatnya sebagai pembuat alat mamografi untuk mendapatkan keuntungan dari hal ini, dengan penyudutan tabung sinar-X untuk mendapatkan titik fokus kecil sepanjang dinding dada pasien.



Gambar 2.8 *Focal spot* efektif berubah ukuran dan bentuknya sepanjang medan sinar-X yang terproyeksi (Boshong, 2001)

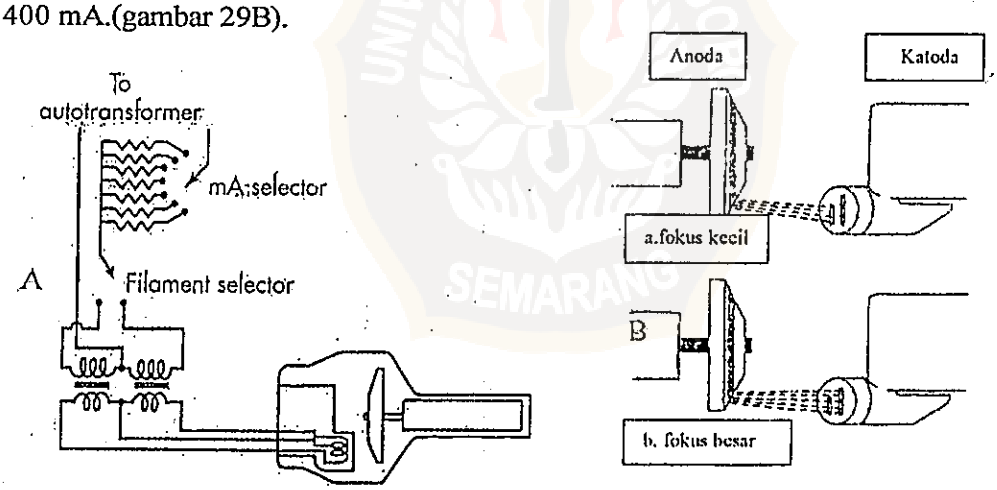
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.5 Penggunaan tabung sinar-X dalam hubungannya dengan *focal spot*

Sebagian besar tabung sinar-X diagnostik mempunyai dua ukuran *focal spot* yaitu *focal spot* besar dan kecil. Kedua buah *focal spot* tersebut dihasilkan oleh dua buah filamen yang saling berdampingan pada struktur katodanya. Tiap – tiap filamen dari katoda diletakkan pada posisi dalam mangkok pemfocus.

Pada *focal spot* besar akan memerlukan kumparan filamen ukuran dan bentuk yang lebih besar, sedangkan untuk *focal spot* kecil memerlukan kumparan filamen yang lebih kecil, masing – masing filamen dihubungkan dengan lilitan trafo yang terpisah antara satu dengan lainnya dan masing – masing trafo sebagai kuat arus tabung (mA)(gambar 29.A).

Pengaktifan tiap filamen (kecil dan besar) dapat dilakukan dengan cara pemilihan kuat arus yang telah tersedia pada meja kontrol. Untuk fokus kecil dengan kuat arus 100 mA dan 200 mA sedangkan untuk fokus besar dengan kuat arus 300 mA dan 400 mA.(gambar 29B).

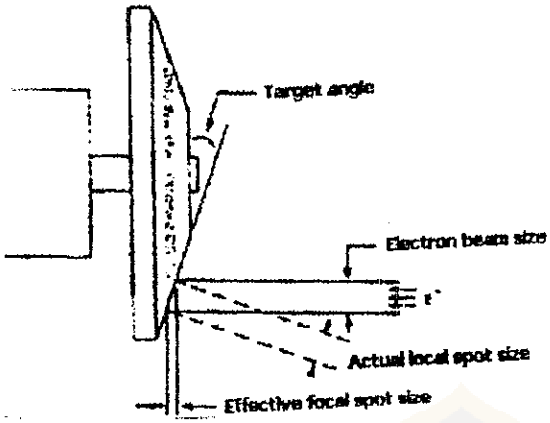


Gambar 2.9 A. Skema katoda dengan dua filamen.

B.Tabung sinar-X fokus rangkap dua, ukuran *focal spot* sebagai pengontrol panas kedua filamen (Boshong,2001)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

Daerah pada target yang menjadi sasaran elektron katoda ketika menubruk anoda disebut *focal spot*. Dalam menentukan ukuran *focal spot* sebenarnya (focal spot actual) yang dijadikan pengukur daerah imajiner yang membentuk dari kemiringan target/*focal spot* efektif (lihat gambar 2.10).

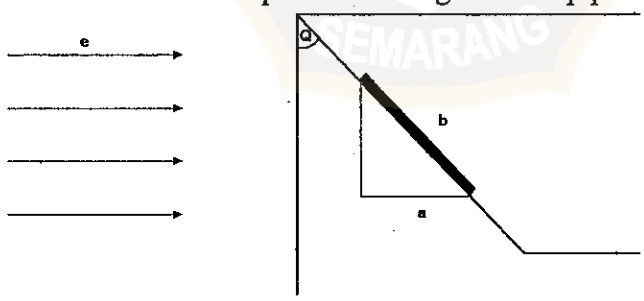


Gambar 2.10 Skema pembentukan ukuran *focal spot* efektif (Busong, 1998)

Dari gambar 2.10, diperoleh gambaran secara sederhana mengenai situasi geometri target dengan kemiringan tertentu terhadap ukuran *focal spot* efektif (lihat gambar 2.11), ukuran *focal spot* efektif dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$a = b \sin \theta \qquad (2.2)$$

dengan :a adalah *focal spot* efektif
b adalah *focal spot* actual
θ adalah sudut permukaan target terhadap pusat sinar-X



Gambar 2.11 *Focal spot* efektif (Meredith , 1977)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

2.6 Pengukuran *focal spot* efektif

Pengukuran *focal spot* efektif dalam prakteknya dapat ditentukan dengan menggunakan metode *Pin hole* dan *RMI focal spot test tool.*

2.6.1 Metode *Pin Hole*

Peralatan dan penyusunannya diperlihatkan pada gambar 2.12, lembaran timbal dengan lubang kecil (jarum) ditempatkan kira – kira pertengahan antara target dan film, dengan lubang sedekat mungkin secara vertikal dibawah target.

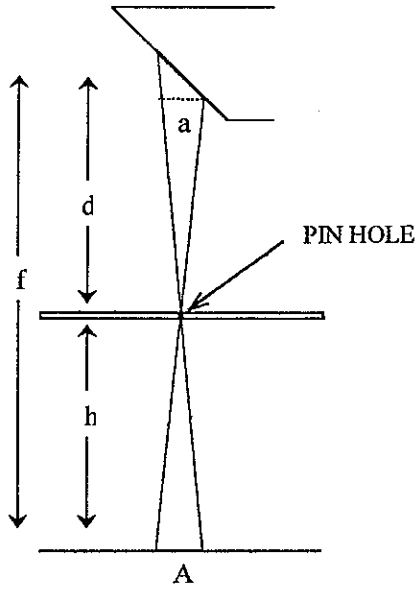
Lembaran timbal lainnya diletakkan dibawah film untuk mengurangi radiasi hambur setelah diekspose dengan kuat arus kali waktu (mAs) yang cukup dilakukan pemrosesan film, untuk memperlihatkan bayangan dari *focal spot* efektif. Pola dari kehitaman akan mengidikasikan homogenitas pancaran sinar-X. Contohnya keretakan akan terlihat sebagai bidang putih karena tidak ada sinar-X yang sampai ke film dari bidang tersebut. Bahkan dari tabung baru adalah umum terdapat pola pada gambar *focal spot* efektif dan mengambil bentuk yang sama seperti filamen. Pancaran elektron –elektron yang terfokus dari katoda menabrak anoda dan pola pancaran sinar-X sama seperti pola pada pancaran elektron, yang mana ditentukan oleh ukuran filamen.

Ukuran bayangan pada film (A) proporsional dengan ukuran *focal spot* efektif (a) dan menggunakan geometri didapatkan perhitungan sebagai berikut:

$$a = A \times \frac{d}{h} \qquad (2.3)$$

dengan : a adalah ukuran *focal spot* efektif.
A adalah ukuran bayangan *focal spot*.
d adalah jarak dari fokus ke *pin hole*.
h adalah jarak dari fokus ke film.

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)



Gambar 2.12 Kamera *pin hole*. Bayangan (A) dari *focal spot* efektif (a) yang terbetuk melalui *pin hole* pada selembar timbal (Meredith , 1977).

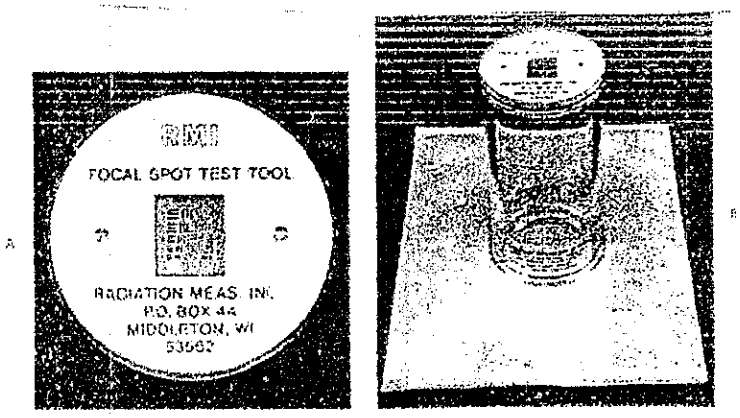
2.6.2 Metode *RMI focal spot test tool*

Alat ini terdiri dari suatu lempeng logam bundar yang didalamnya tercetak 12 grup (pola potongan) pada ukuran yang berbeda. Masing – masing grup terdiri dari 6 buah slot yang disusun 3 slot tegak lurus dengan 3 slot yang lainnya, fungsinya sebagai alat ukur dari *focal spot* efektif. Ukuran slot pada 12 grup ini berkurang sebanyak 16% mulai dari 0,84 lp/mm sampai dengan 5,66 lp/mm.

Lempengan ini disangga oleh gelas silinder dengan diameter 7,6 cm. Disamping itu pada lempengan tersebut juga terdapat 2 buah lubang yang berjarak satu sama lainnya 6 cm (kedua titik ini diperlukan untuk mengecek apakah penggunaan FFD untuk pengujian adalah tepat dengan magnifikasi 4/3). Tinggi silinder penyangga

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

dalah15,2cm(lihatgambar2.13).



Gambar 2.13 *RMI focal spot test tool* (Anomim,1984)

Karena ukuran *focal spot* efektif dalam orde mm atau (dalam luas mm^2) dan tidak diukur langsung dengan kata lain pengukuran dilakukan terhadap radiograf yang dihasilkan maka terdapat cukup besar toleransi (lihat tabel 2.1).

Tabel 2.1 Toleransi perakitan dari ukuran *focal spot*(Forster, 1992)

Focal spot	Ukuran Nominal	Toleransi %
Kecil	0,8	- 0 - + 50
Sedang	0,8-1,5	- 0 - + 40
Besar	1,5	- 0 - + 30

Dalam penelitian ini nilai toleransi diperoleh berdasarkan perbandingan antara selisih luas terukur dan luas yang terdapat dalam manual dengan luas dalam manual seperti pada rumus berikut ini:

$$TL\ (\%) = \frac{A_{terukur} - A_{manual}}{A_{manual}} \times 100\ \% \qquad (2.4)$$

dengan: TL adalah toleransi (%)

$A_{terukur}$ adalah luasan yang terukur (mm^2)

A_{manual} adalah luasan dalam manual (mm^2)

2.7 Ketidaktajaman Geometri

Dibidang kedokteran, pembuatan gambar radiografi digunakan untuk menentukan diagnosa suatu penyakit. Dalam situasi klinis, obyek mungkin berupa

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)

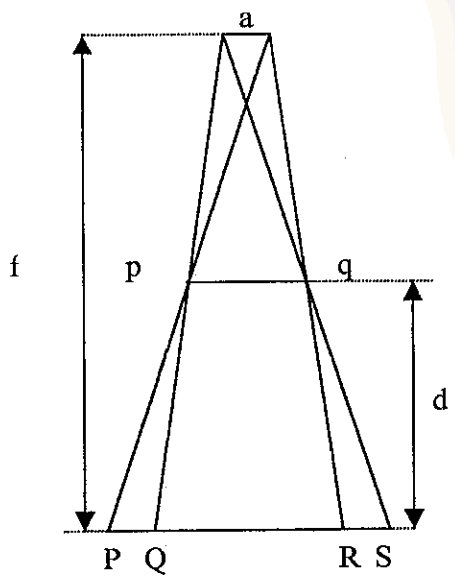
struktur organ tubuh, benda asing dalam tubuh atau tumor dengan tebal dan bentuk yang berbeda – beda (Curry,1984).

Jika pada suatu gambar radiograf terdapat kekaburan suatu detail yang meluas sampai daerah tertentu dinamakan ketidaktajaman (Meredith,1977).

Dalam gambar 2.14, ditunjukkan bahwa sinar-X yang dihasilkan pada keseluruhan titik di daerah *focal spot* efektif dengan panjang a (mm) dari obyek pq, didapatkan bayangan dari dua titik pada ujung – ujung *focal spot* efektif yaitu QR sebagai bayangan penuh (umbra) , sedangkan PQ dan RS adalah bayangan maya (penumbra). Bayangan maya di bagian tepi obyek yang diukur dalam mm disebut ketidak tajaman geometri (Ug) (lihat gambar 2.14).

$$Ug = a \frac{d}{f-d} \qquad (2.5)$$

Dengan : Ug adalah ketidaktajaman geometri.
a adalah ukuran *focal spot* efektif.
d adalah jarak dari obyek ke film.
f adalah jarak dari fokus ke film.



Gambar 2.14 Ketidaktajaman geometri (Ug) (Meredith,1977)

This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep more than one copy of this submission for purposes of security, back-up and preservation. (http://eprints.undip.ac.id)