

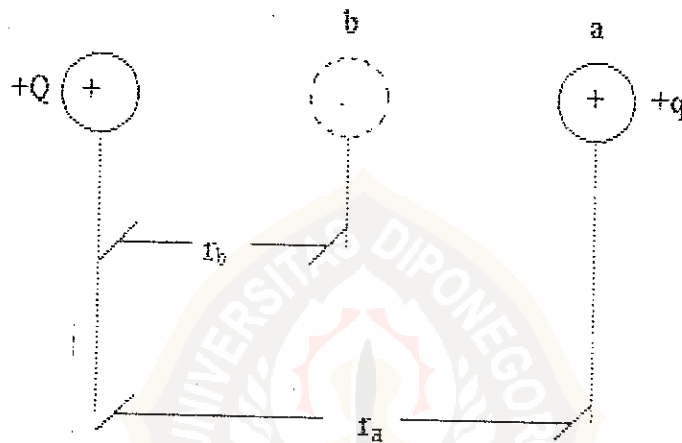
BAB II

DASAR TEORI

2.1. Mekanisme Terjadinya Sinar-X

2.1.1. Potensial listrik pada tabung

Aspek-aspek kuantitatif dari energi potensial listrik dapat diselidiki dengan menggunakan alat bantu seperti tersaji pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Diagram potensial listrik (Cember, 1983)

Keterangan gambar:

Diagram yang menggambarkan usaha yang dilakukan untuk menggerakkan suatu muatan antara dua titik dengan potensial yang berbeda dalam medan listrik.

Muatan $+Q$ menimbulkan medan listrik yang tersebar ke semua arah dengan sama rata, sedangkan muatan $+q$ diperlukan untuk menyelidiki medan listrik yang ditimbulkan oleh Q . Jika muatan q berada pada titik a , dan berjarak r_a dari Q , maka muatan tersebut akan memiliki sejumlah energi potensial yang tergantung pada besarnya Q , q dan r_a . Jika muatan q harus dipindahkan ke titik b , yang semakin dekat

terhadap titik Q maka harus dilakukan usaha untuk menggerakkan muatan dari titik a ke titik b karena adanya gaya tolak antara kedua muatan tersebut. Besarnya usaha yang harus dilakukan untuk menggerakkan muatan q dari titik a ke titik b adalah :

$$W = F r \quad (2.1)$$

dengan :

W = usaha (joule)
 F = gaya (newton)
 r = jarak yang ditempuh (meter)

F merupakan gaya luar yang dibutuhkan untuk melawan gaya Coulomb :

$$F = k \frac{Qq}{r^2} \quad (2.2)$$

dengan :

k = konstanta listrik di ruang hampa = $9 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$
 Q dan q = besar muatan di titik a dan b (coulomb)
 r = jarak antara muatan (meter)

Gaya tidak selalu konstan, tetapi berubah secara berkebalikan dengan kuadrat jarak antara muatan-muatan. Besarnya gaya akan meningkat secara cepat jika muatan q mendekati Q. Pengeluaran energi total atau naiknya energi potensial dari muatan q merupakan jumlah dari semua penambahan usaha yang sangat kecil. Pertambahan energi yang sangat kecil dinyatakan dengan (Cember, 1983) :

$$dW = - F \cdot dr \quad (2.3)$$

dengan :

dW = pertambahan energi yang kecil
 - = tanda minus karena bertambahnya energi potensial diakibatkan oleh berkurangnya jarak antara kedua muatan.
 F = gaya Coulomb (newton)
 dr = vektor perubahan posisi

Jika nilai F dari persamaan (2.2) dimasukkan ke dalam persamaan (2.3) maka didapatkan :

$$dW = -k \frac{Qq}{r^2} dr \quad (2.4)$$

$$W = -kQq \int_{r_a}^{r_b} \frac{dr}{r^2} \quad (2.5)$$

Integrasi persamaan (2.5) memberikan (Cember, 1983) :

$$W = kQq \left(\frac{1}{r_b} - \frac{1}{r_a} \right) \quad (2.6)$$

dengan :

- W = energi (joule)
- r_a, r_b = jarak a dan b (meter)
- Q, q = muatan (coulomb)
- k = konstanta listrik di ruang hampa = $9 \times 10^9 \text{ N m}^2 \text{ C}^{-2}$

Potensial listrik di titik manapun yang disebabkan oleh medan listrik dari suatu titik Q didefinisikan sebagai energi potensial yang akan dimiliki oleh suatu medan positif $+q$ jika muatan tersebut dibawa dari titik yang berjarak tak berhingga dari Q ke titik yang sedang dibicarakan. Potensial listrik pada titik b pada Gambar 1 dapat dihitung dari persamaan (2.5) dengan memasang jarak r_a sama dengan tak berhingga, sehingga potensial pada titik b , V_b didefinisikan sebagai energi potensial per satuan muatan positif yaitu :

$$V_b = \frac{W}{q} = k \frac{Q}{r_b} \quad (2.7)$$

dengan :

- V_b = potensial listrik di titik b (volt)
- W = energi potensial (joule)
- q = muatan (coulomb)

2.1.2. Arus dan tegangan listrik pada tabung

Arus listrik I didefinisikan sebagai laju pengangkutan muatan melalui permukaan tertentu dari sistem hantar. Kuat arus dirumuskan (Reitz, 1993) :

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (2.8)$$

dengan :

- I = arus (ampere)
- q = muatan (coulomb)
- t = waktu (detik)

Di dalam konduktor padat sebagai pembawa muatan adalah elektron bebas dan di dalam konduktor cair atau elektrolit pembawa muatannya adalah ion. Elektron bebas dan ion dalam konduktor bergerak karena pengaruh medan listrik dengan rapat arus :

$$j = \frac{I}{A} \quad (2.9)$$

dengan :

- j = rapat arus (A/m^2)
- A = luas penampang konduktor ($meter^2$)
- I = arus tabung (ampere)

Jika rapat arus sebanding dengan medan listrik yang menimbulkannya maka (Umar Yahdi, 1991):

$$j = \sigma E \quad (2.10)$$

dengan :

j = rapat arus (A/m^2)

σ = konduktifitas listrik (siemens / meter)

E = medan listrik

Di dalam logam yang berarus listrik, pembawa muatan bergerak dan bertumbukan dengan atom-atom logam. Akibat dari tumbukan pembawa muatan kehilangan sejumlah energinya sehingga bergerak dengan kecepatan tetap dan atom-atom logam makin cepat sehingga menimbulkan panas. Bila sejumlah muatan dq bergerak di bawah pengaruh beda potensial V , muatan ini harus mendapatkan tambahan energi sebesar :

$$du = V dq \quad (2.11)$$

dengan :

du = tambahan energi

dq = pertambahan muatan (coulomb)

V = tegangan (volt)

Karena arus I tetap, maka kecepatan tetap dan energi kinetiknya pun tidak berubah.

Energi ini hilang sebagai panas dan diterima logam dengan daya disipasi:

$$P = \frac{du}{dt} = \frac{dq}{dt} V = IV \quad (2.12)$$

dengan :

P = daya (watt)

I = arus (ampere)

V = tegangan (volt)

Karena beda potensial $V = IR$ maka persamaan (2.12) menjadi :

$$P = I^2 R \quad (2.13)$$

Persamaan (2.13) menyatakan daya yang hilang atau daya disipasi pada konduktor dengan hambatan R bila dialiri arus listrik I . Kalor disipasi dalam waktu dt adalah :

$$dQ = I^2 R dt \quad (2.14)$$

dengan :

- dQ = kalor yang terdisipasi (joule)
- I = arus (ampere)
- R = hambatan (ohm)
- dt = waktu (detik)

2.1.3. Gelombang elektromagnetik

Maxwell pada tahun 1864 mengemukakan bahwa muatan listrik yang dipercepat dapat menimbulkan gangguan listrik dan magnetik yang menjalar terus menerus melalui suatu ruang. Jika muatan bergetar periodis, gangguannya adalah gelombang yang komponen listrik dan magnetiknya saling tegak lurus pada arah gerak. Gelombang ini disebut gelombang elektromagnetik, yang menjalar di dalam ruang hampa dengan kecepatan (Beiser, 1992) :

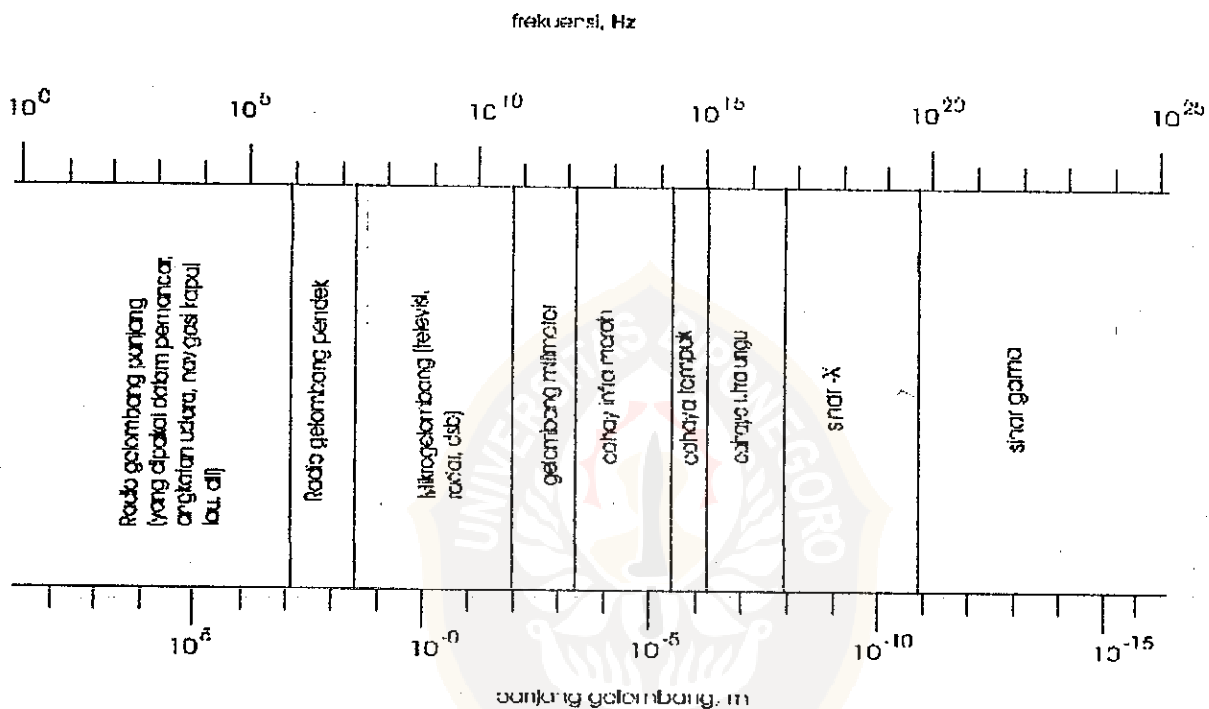
$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = 2,998 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} \quad (2.15)$$

dengan :

$$\epsilon_0 = \text{permitifitas listrik ruang hampa} = 8,8544 \times 10^{-12} \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2} \text{ C}^{-2}$$

$$\mu_0 = \text{permeabilitas magnetik ruang hampa} = 1,2566 \times 10^{-6} \text{ m kg C}^{-2}$$

Gelombang elektromagnetik mempunyai spektrum yang sangat lebar (lihat Gambar 2.2). Cahaya sebagai gelombang elektromagnetik yang dapat ditangkap oleh mata, memiliki selang frekuensi yang pendek mulai dari $4,3 \times 10^{14}$ Hz untuk cahaya merah hingga $7,5 \times 10^{14}$ Hz untuk cahaya ungu. Spektrum gelombang elektromagnetik dari frekuensi rendah yang dipakai dalam komunikasi radio hingga frekuensi tinggi yang terdapat dalam sinar-X dan sinar gamma disajikan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Spektrum gelombang elektromagnetik (Beiser, 1992)

Hubungan antara kelajuan, panjang gelombang dan frekuensi gelombang elektromagnetik dinyatakan (Bushong, 1988):

$$c = v \lambda \quad (2.16)$$

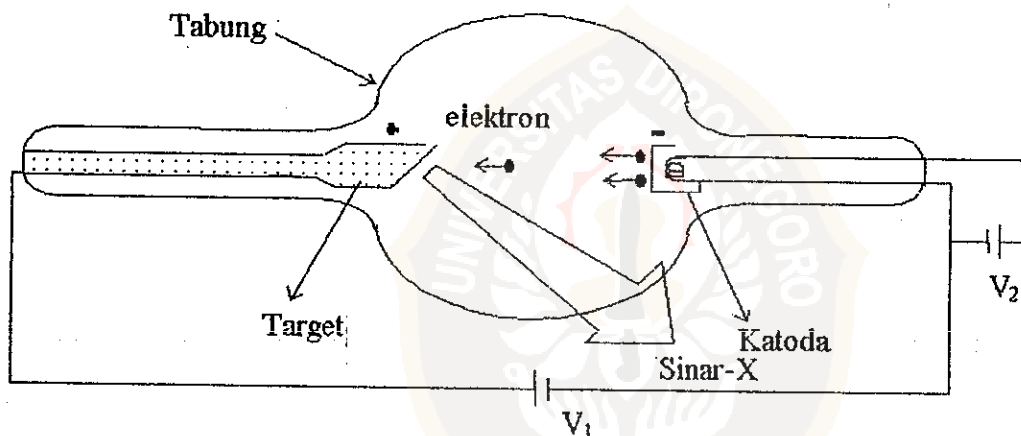
$$v = \frac{c}{\lambda} \quad (2.17)$$

$$\lambda = \frac{c}{v} \quad (2.18)$$

dengan :

- c = kecepatan (m/detik)
- v = frekuensi (Hz)
- λ = panjang gelombang (m)

2.1.4. Struktur tabung sinar-X



Gambar 2.3. Skema bentuk dasar tabung sinar-X (Beiser, 1992)

Keterangan gambar:

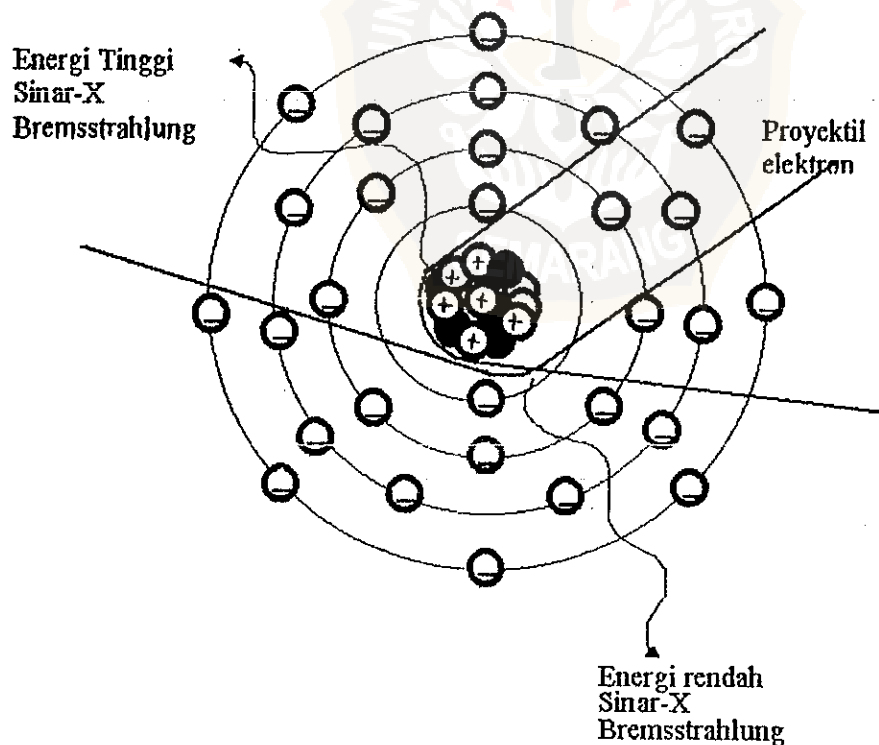
- V_1 = tegangan antara katoda target
- V_2 = tegangan filamen

2.1.5. Pembangkitan sinar-X

Sinar-X dihasilkan jika filamen (katoda) dalam tabung röntgen dipanaskan dengan arus listrik sampai lebih 2000°C sehingga terjadi awan-awan elektron di sekitarnya yang disertai emisi termionik. Bila antara anoda dan katoda diberi beda

potensial yang tinggi, maka elektron-elektron itu akan bergerak dengan kecepatan tinggi dari katoda melalui ruang hampa menuju anoda. Elektron yang bergerak dengan kecepatan tinggi itu menumbuk target sehingga tenaga gerak elektron akan berubah menjadi sinar-X (lebih kurang 1%) dan selebihnya berubah menjadi panas. Tabung sinar-X dibuat dalam keadaan hampa, dengan tujuan untuk menghindari gesekan molekul udara dan elektron katoda yang terpancar. Sehingga elektron yang terpancar akan melaju tanpa hambatan sehingga tidak ada energi yang hilang selama perjalanannya dari katoda ke anoda.

Elektron yang diberi tegangan sangat tinggi akan meradiasikan gelombang elektromagnetik dan elektron yang bergerak cepat dan tiba-tiba dihentikan oleh target akan mengalami suatu perubahan kecepatan. Radiasi yang ditimbulkan dalam keadaan demikian disebut "Bremsstrahlung" atau radiasi pengereman (Beiser, 1992). Peristiwa "Bremsstrahlung" yang menghasilkan sinar-X ini disajikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Sinar-X Bremsstrahlung hasil interaksi antara proyektil elektron dengan inti atom (Bushong, 1988)

Untuk menafsirkan bahaya Bremsstrahlung dapat dipergunakan perumusan sebagai berikut (Cember, 1983) :

$$f = 3,5 \times 10^{-4} ZE \quad (2.19)$$

dengan :

f = fraksi energi beta yang menyertai yang diubah menjadi foton

Z = nomor atom penguap

E = energi maksimum partikel beta, MeV

2.2. Karakteristik Sinar-X

Sinar-X yang dihasilkan dari *focal spot* dengan panjang gelombang yang berbeda akan memancar secara divergen ke segala arah. Pada saat sebagian dari radiasi ini mengenai suatu materi akan menyebabkan ionisasi dengan materi tersebut. Ionisasi adalah pembentukan sepasang ion yaitu ion positif dan ion negatif. Kemampuan sinar-X untuk menimbulkan ionisasi inilah yang dimanfaatkan dalam radiodiagnostik khususnya pada radiografi (Adnan, 1978).

2.2.1. Karakteristik tabung sinar-X

Tabung röntgen tempat sinar-X memancar memiliki beberapa bentuk dan ukuran yang disesuaikan dengan maksud penggunaannya. Untuk pemeriksaan röntgen seperti pada organ jantung, alat pencernaan, dan pemeriksaan dengan bahan kontras diperlukan tabung röntgen yang mempunyai kemampuan besar atau tinggi, agar menghasilkan Gambar Röntgen yang berkualitas (Adnan, 1978).

Kemampuan suatu tabung röntgen dapat ditinjau dari struktur tabungnya, yang terdiri dari katoda dan anoda. Pada pesawat röntgen dengan kemampuan besar memiliki katoda dengan dua filamen dan pada bagian katoda ini terdapat alat

pengarah arus elektron berbentuk silinder yang disebut “focusing cup”. Selain katoda, bagian penting lain dari tabung röntgen adalah anoda, yang permukaannya membentuk sudut bidang *focal spot* sebesar $15^{\circ} - 17^{\circ}$. Sudut anoda yang semakin kecil, akan menghasilkan Gambar Röntgen yang semakin baik (Adnan, 1978).

Pada bagian anoda dari tabung röntgen terdapat bidang target atau *focal spot* yang terbuat dari *wolfram* yang berukuran sangat kecil. Ukuran dari bidang target sangat penting dalam menghasilkan ketajaman Gambar Röntgen. Untuk mendapatkan suatu Gambar Röntgen berkualitas diawali dengan tabung röntgen yang memenuhi beberapa persyaratan antara lain (Adnan, 1978) :

- a) Besarnya ukuran “focal spot” dan sudut anoda.

Makin kecil ukuran *focal spot* dan sudut anoda maka makin tinggi mutu dari suatu tabung.

- b) Bahan anoda / bidang target.

Bahan anoda / bidang target yang baik terdiri dari bahan campuran antara *wolfram* dengan *molybdenum* atau *wolfram* dengan *rhenium* dan *molybdenum*.

- c) Anoda putar dengan kecepatan tinggi.

Anoda putar yang baik, dapat berputar dengan kecepatan 9.000-10.000 RPM.

2.2.2. Sifat-sifat sinar-X

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang λ yang sangat pendek (10^{-8} cm). Karena λ sangat pendek, maka sinar-X mempunyai daya tembus sangat besar. Pembuatan Gambar Röntgen menggunakan sinar-X sehingga kualitasnya dipengaruhi oleh sifat-sifat sinar-X, antara lain (Adnan, 1978) :

1. Mempunyai daya tembus terhadap obyek.

Daya tembus terhadap obyek merupakan sifat yang paling penting untuk penggunaan sinar-X dengan tujuan diagnostik dan terapi. Daya tembus sinar-X tidak dipengaruhi oleh sifat-sifat fisis dari benda yang ditembus, tetapi lebih dipengaruhi oleh:

a. Besar energi sinar-X yang tergantung pada tegangan tabung (kV).

Makin tinggi kV, makin pendek panjang gelombang sinar-X, dan daya tembus semakin besar.

b. Densitas obyek yang ditembus.

Semakin besar intensitas sinar-X yang menembus obyek sampai ke film, makin hitam gambaran obyek tersebut pada film.

c. Nomor atom dari obyek.

Makin tinggi nomor atom dari suatu obyek yang dilaluinya, makin kurang sinar yang dapat menembus obyek itu.

2. Mempunyai efek fotografis

Sinar-X dapat menghitamkan emulsi pelat fotografi emulsi film. Pada waktu sinar-X mengenai film, sebenarnya sudah terdapat bayangan di atasnya tetapi belum terlihat oleh mata, bayangan ini disebut bayangan laten. Setelah diolah di kamar gelap secara kimiawi dengan larutan *metol-hydroquinon* di dalam larutan pembangkit, maka atom Ag (perak) akan direduksi menjadi Ag_2O yang berwarna hitam. Atom Br (brom) dioksidasi menjadi HBr dan terlepas dari emulsi film. Pada tahap ini bayangan yang ada pada film sudah dapat dilihat. Proses pengolahan

terkena sinar-X di dalam larutan penetap yang mengandung $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (*natrium thiosulfat*).

3. Rambatan lurus dan divergen.

Sinar-X yang keluar dari *focal spot* merambat menurut garis lurus dan memancar secara divergen ke segala arah. Sinar-X yang keluar dari sumber sebelum mencapai obyek harus melalui suatu jarak dan faktor jarak inilah yang berpengaruh pada kekaburan geometris. Kekaburan geometri adalah bayangan semu yang timbul di sekeliling bayangan yang sebenarnya dari obyek, karena sumber sinar-X keluar dari suatu bidang target bukan dari suatu titik.

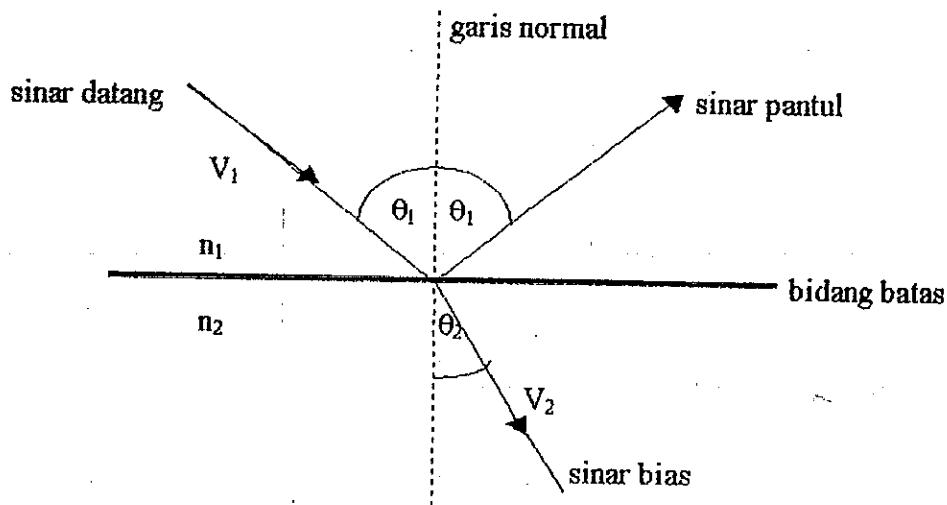
Oleh karena sinar-X dipancarkan dari *focal spot* secara divergen, dan *focal spot* bertindak sebagai sumber cahayanya, maka intensitas sinar akan berkurang pada jarak yang semakin jauh. Hal ini dikenal dengan "hukum kuadrat terbalik" yaitu apabila intensitas sinar pada titik A yang jaraknya a dari *focal spot* adalah (x) , maka intensitas sinar pada titik B yang jaraknya $2a$ dari *focal spot* adalah $\frac{1}{4}(x)$.

2.3. Perilaku Optis Sinar- X

2.3.1. Refleksi dan refraksi

Proses refleksi (pemantulan) dan refraksi (pembiasan) disajikan pada Gambar

2.5.



Gambar 2.5. Refleksi dan Refraksi (Halliday dan Resnick, 1994)

Keterangan :

Berkas datang digambarkan dengan sebuah garis lurus sejajar dengan arus perambatan.

θ_1 = sudut datang

θ_1 = sudut pantul

θ_2 = sudut bias

V_1 = sinar datang dengan kecepatan V_1

V_2 = sinar bias dengan kecepatan V_2

n_1 = media satu

n_2 = media dua

Berdasarkan eksperimen diperoleh hukum-hukum mengenai refleksi dan refraksi sebagai berikut (Halliday dan Resnick, 1994) :

1. Hukum Pemantulan

Pada bidang batas antara dua medium yang homogen isotropis, suatu gelombang yang datang sebagian akan mengalami pemantulan dan sinar pantul ini terletak dalam suatu bidang dengan sinar datang (bidang yang didefinisikan oleh sinar datang dan sinar tegak lurus bidang batas). Hukum pemantulan ini dirumuskan:

$$\theta_1 = \theta_1 \quad (2.20)$$

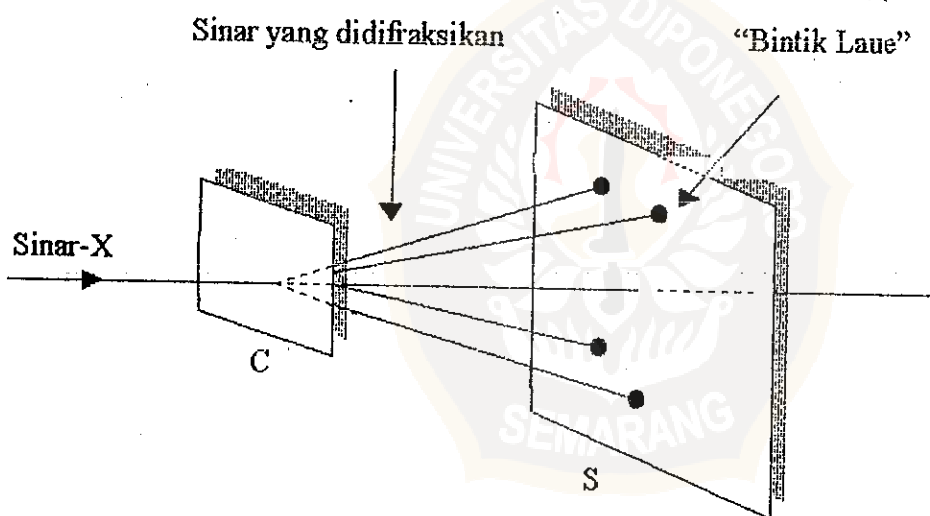
2. Hukum Pembiasan

Pada bidang antara dua medium dengan sifat-sifat yang berbeda, ada pembagian sinar yang mengalami pembiasan ke dalam medium kedua, sinar bias ini berada dalam satu bidang dengan sinar datang dan membuat sudut sesuai dengan Hukum Snellius:

$$n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (2.21)$$

2.3.2. Difraksi sinar-X

Sinar-X adalah radiasi elektromagnet dengan panjang gelombang yang ordenya sebesar 0,1 nm (atau 1Å) (Halliday dan Resnick, 1994). Model difraksi ini disajikan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6. Difraksi Sinar-X (Halliday dan Resnick, 1994)

Keterangan gambar :

C = kristal NaCl

S = film fotografik

Sinar-X yang tidak monokromatis jatuh pada sebuah kristal C. Sinar yang didifraksikan secara kuat di dalam arah-arrah tertentu, yang membentuk sebuah pola yang dinamakan pola Laue pada sebuah film fotografi

Pada Gambar 2.6 diperlihatkan jika sebuah sinar-X yang dikolimasikan dengan panjang gelombang yang terdistribusi secara kontinu dan dibiarkan jatuh mengenai kristal NaCl, akan muncul sinar kuat yang bersesuaian dengan interferensi konstruktif dari banyak pusat pendifraksi yang membuat kristal tersebut akan muncul di dalam arah-arrah tertentu yang didefinisikan secara jelas. Jika sinar-sinar ini jatuh pada film fotografik maka sinar-sinar ini akan membentuk kumpulan “bintik Laue” (Halliday dan Resnick, 1994).

Intensitas sinar yang didifraksi keluar dari sebuah kristal akan bergantung pada karakteristik pendifraksi dari sel satuan. Sinar-X didifraksikan oleh elektron-elektron, sehingga karakteristik pendifraksi sebuah sel satuan akan bergantung pada bagaimana elektron-elektron tersebut terdistribusi di seluruh volume sel. Dengan mengkaji arah-arrah sinar-X yang didifraksikan, dapat dipelajari simetri dasar dari kristal, dan jika mengkaji intensitasnya maka kita dapat mempelajari bagaimana elektron-elektron didistribusikan di dalam sel satuan.

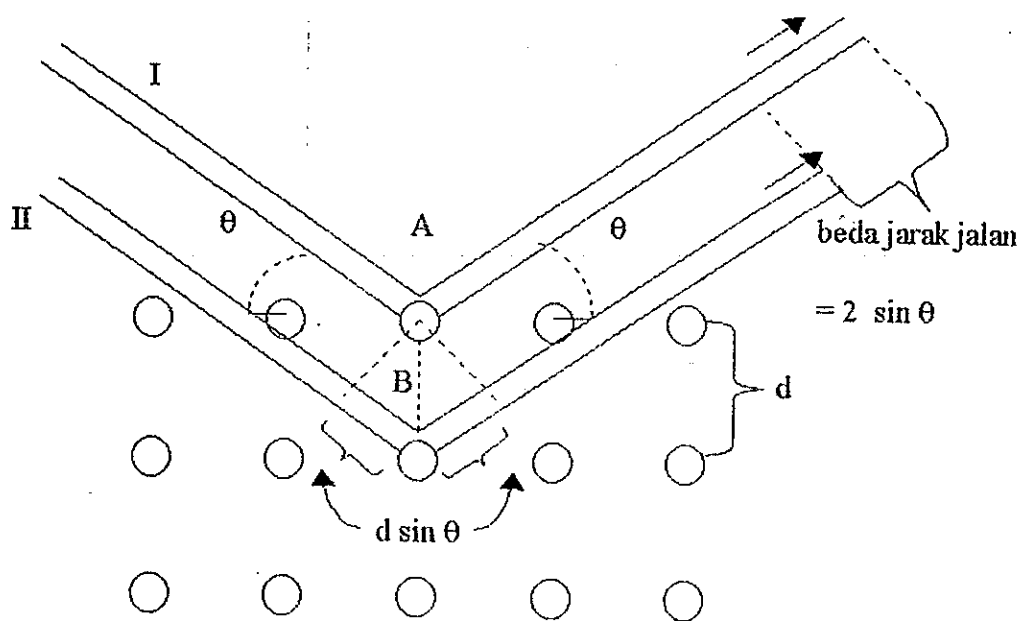
Jika sebuah sinar-X monokromatik yang masuk jatuh pada sebuah sudut θ yang sembarang pada sebuah himpunan bidang-bidang atom yang khas, maka sebuah sinar yang didifraksikan harus memenuhi persamaan difraksi:

$$2d \sin \theta = m\lambda \quad (2.22)$$

dengan :

- m = bilangan bulat (1,2,3...)
- λ = panjang gelombang (nm)
- d = jarak antar bidang (nm)

Jika panjang gelombang dari sinar-X yang masuk adalah kontinu, maka sinar yang didifraksikan akan dihasilkan bila panjang gelombang yang diberikan oleh persamaan (2.22) terdapat di dalam sinar masuk (Halliday dan Resnick, 1994).

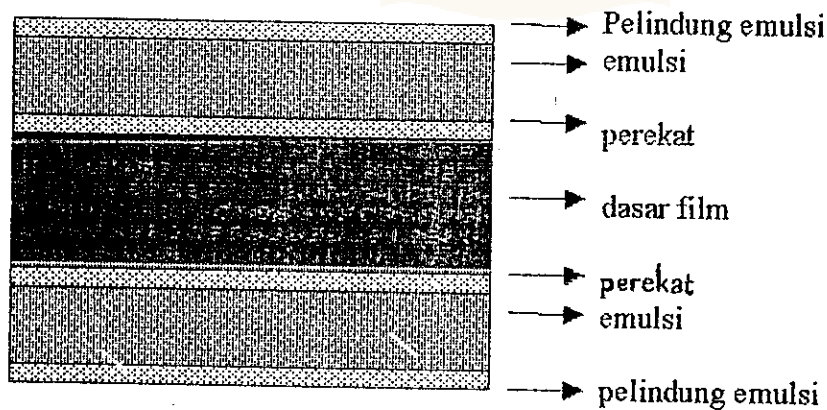


Gambar 2.7. Hamburan sinar-X dari kristal kubus (Halliday dan Resnick, 1994)

2.4. Proses Pembentukan Bayangan Konvensional

2.4.1. Struktur film röntgen konvensional

Untuk mendapatkan suatu gambar di dalam pemotretan diperlukan film röntgen. Film röntgen dua emulsi memiliki ketebalan kurang dari 0,2 mm. Struktur dasarnya disajikan pada Gambar 2.8.



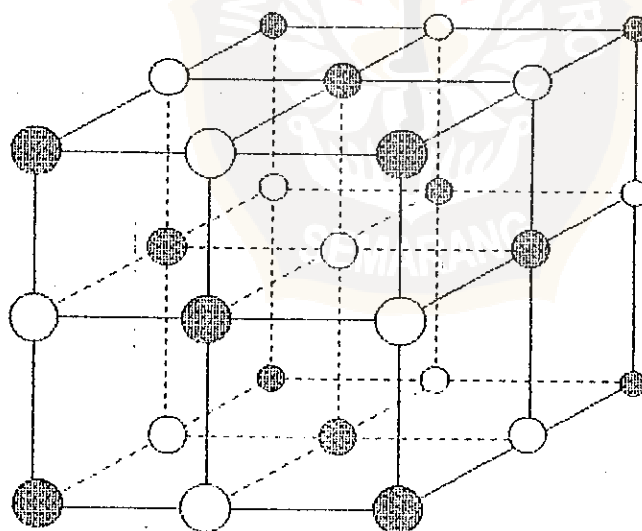
Gambar 2.8. Struktur dasar film röntgen dua emulsi (Bushong, 1988)

Lapisan pelindung emulsi berfungsi untuk melindungi film dari pengaruh mekanis. Lapisan emulsi terdiri dari gelatin sebagai bahan dasar dan perak nitrat (AgBr) yang mempunyai sifat sensitif terhadap sinar-X. Lapisan dasar film terbuat dari bahan *cellulose acetate*, tetapi mulai tahun 1960 digunakan *polyester* (Bushong, 1988)

2.4.2. Pembentukan bayangan laten

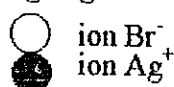
Banyaknya foton sinar-X yang mengenai film berbeda-beda, tergantung pada penyerapan sinar-X di dalam obyek atau tubuh pasien, sehingga terbentuk pola bayangan laten pada film, yang baru dapat dilihat setelah dilakukan pengolahan (Meredith dan Massey, 1977).

Kristal AgBr berbentuk kubus, elektron kulit terluar atom Ag menyelubungi Br sehingga memberikan muatan negatif (Br⁻) yang menyeluruh, sehingga kehilangan elektron Ag menjadikan Ag bermuatan positif (Ag⁺). Struktur kristal AgBr disajikan pada Gambar 2.9.

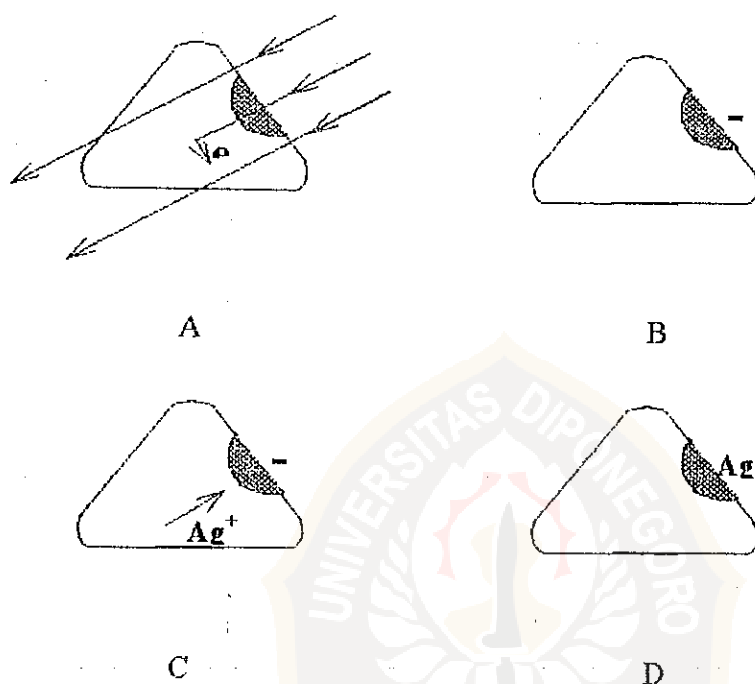


Gambar 2.9. Kristal AgBr (Meredith dan Massey, 1977)

Keterangan gambar:



Pada waktu pembuatan kristal AgBr timbul kesalahan-kesalahan, antara lain tercampur dengan bahan kimia lain seperti *sulphur compound allythio carbonida* yang disebut titik sensitivitas yang terdapat pada permukaan kristal. Titik sensitivitas tersebut mempunyai sifat menangkap elektron dan akan terbentuk logam perak yang hitam. Proses ini disajikan pada Gambar 2.10.



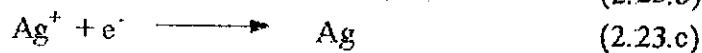
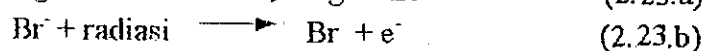
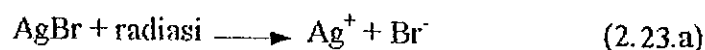
Gambar 2.10. Proses pembentukan bayangan laten (Meredith dan Massey, 1977)

Keterangan gambar:

- A = kristal AgBr menerima radiasi
- B = elektron kulit luar atom Ag menyelubungi Br
- C = Ag kehilangan elektron sehingga menjadi Ag^+
- D = Ag^+ menangkap elektron sehingga menjadi Ag

Secara kimia proses pembentukan bayangan laten pada Gambar 2.10 dapat dituliskan

(Meredith dan Massey, 1977) :

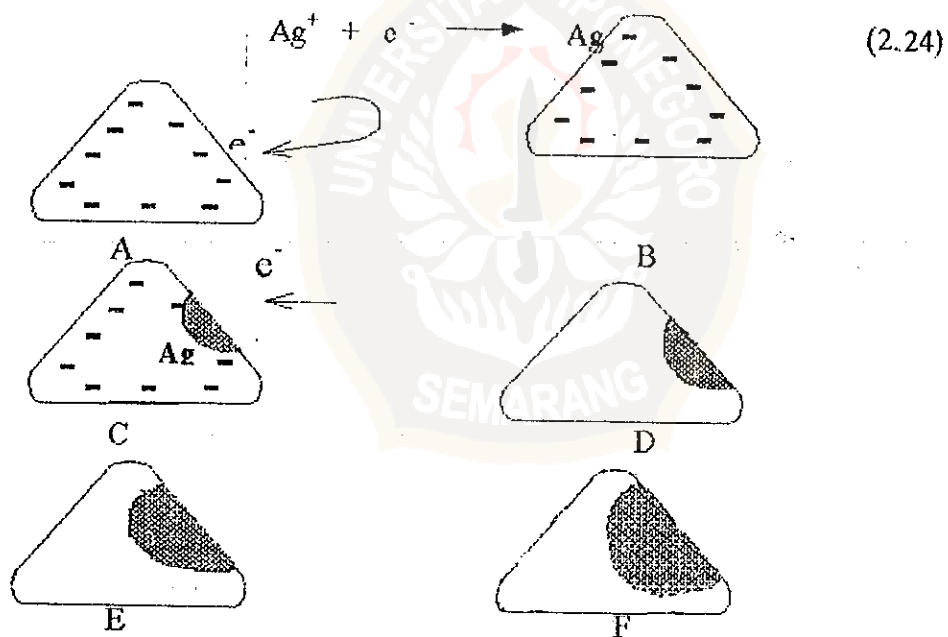


2.4.3. Penetapan gambaran laten

Proses penetapan gambaran laten menjadi gambaran nyata melalui tahap-tahap sebagai berikut :

a. Proses pengembangan

Dalam cairan pengembang terjadi proses perubahan kristal-kristal AgBr yang mengandung gambaran laten ke dalam Ag yang hitam dan tidak mengubah kristal yang tidak mengandung gambaran laten. Perubahan AgBr ke dalam Ag dapat terjadi bila larutan pengembang memberi elektron-elektron ke kristal sehingga terjadi perubahan ion Ag menjadi atom Ag. Bahan kimia yang dapat memberi elektron disebut “*reducing agent*” dan aksi kimia yang menyebabkannya disebut reduksi (Meredith dan Massey, 1977).



Gambar 2.11. Proses Pengembangan (Meredith dan Massey, 1977)

Keterangan gambar :

A dan B : tidak ada efek tanpa gambaran laten
C, D, E, F : pembentukan butir Ag

Pada gambar A dan B, dengan adanya perintang negatif pada AgBr yang tidak kena sinar, akan menolak elektron dari penyambung, sehingga tidak ada efek perubahan.

Pada Gambar C sampai F, pada kristal AgBr yang mempunyai gambaran laten terdapat tumpukan atom-atom Ag pada permukaan kristal yang menyebabkan perintang retak. Dari tempat retak inilah elektron-elektron di dalam cairan pengembang dapat menembus ke dalam kristal dan mengakibatkan reduksi ion-ion Ag. Proses ini berlangsung sampai semua ion-ion Ag berubah menjadi atom Ag dan semua ion-ion Br masuk ke dalam pengembang. Di dalam cairan pengembang, ion Ag berubah menjadi Ag_2O yang berwarna hitam, sehingga terjadi bayangan nyata. Cairan pengembang ini terdiri dari beberapa bahan yang terlarut dalam air, antara lain:

1. "Reducing agent" terdiri dari *metal hydroquinon* atau *phenidone* sebagai bahan pereduksi yang merubah Ag^+ yang berwarna hitam.
2. "Accelerator" terdiri dari natrium karbonat yang berfungsi sebagai bahan pengaktif terhadap "reducing agent".
3. "Precervative" terdiri dari natrium sulfat yang berfungsi mengurangi pengaruh oksidasi terhadap "reducing agent".
4. "Restrainer" terdiri dari kalium bromida yang berfungsi membatasi daya kerja *reducing agent*.
5. "Solvent agent" terdiri dari air sebagai bahan pelarut dalam jumlah tertentu dan tidak mengandung garam-garam mineral.

b. Proses pembilasan pertama

Setelah dilakukan proses pengembangan, tahap kedua dari penetapan gambaran laten adalah pembilasan dengan air mengalir selama 30 detik sampai 40 detik. Tujuan pembilasan adalah untuk menghilangkan pembangkit yang berlebihan yang masih menempel film.

c. Proses penetapan

Tujuan utama dari proses penetapan adalah :

1. Menghentikan (menetapkan) proses pembangkitan atau pengembangan.
2. Melarutkan AgBr yang tidak terkena paparan sinar-X.
3. Membeningkan daerah-daerah yang tidak ditempati oleh butir Ag₂O yaitu daerah-daerah yang ditempati oleh butir AgBr yang tidak terkena sinar-X.

Cairan pen tetap terdiri dari :

1. "Fixing agent" berfungsi merubah perak bromida menjadi unsur yang larut dalam air.
2. "Accelerator" terdiri dari asam asetat dan *amonium thiosulphate* yang berfungsi menghentikan aksi pengembangan dengan cepat dan merata.
3. "Precervative" terdiri dari natrium sulfat yang berfungsi mencegah terjadinya oksidasi.
4. "Hardener" terdiri dari kalium alumina berfungsi menyamak emulsi film.
5. "Solvent agent" terdiri dari air sebagai bahan pelarut.
6. "Buffer" terdiri dari asam asetat yang berfungsi sebagai bahan untuk menjaga keseimbangan pH cairan pen tetap.

d. Proses pembilasan kedua

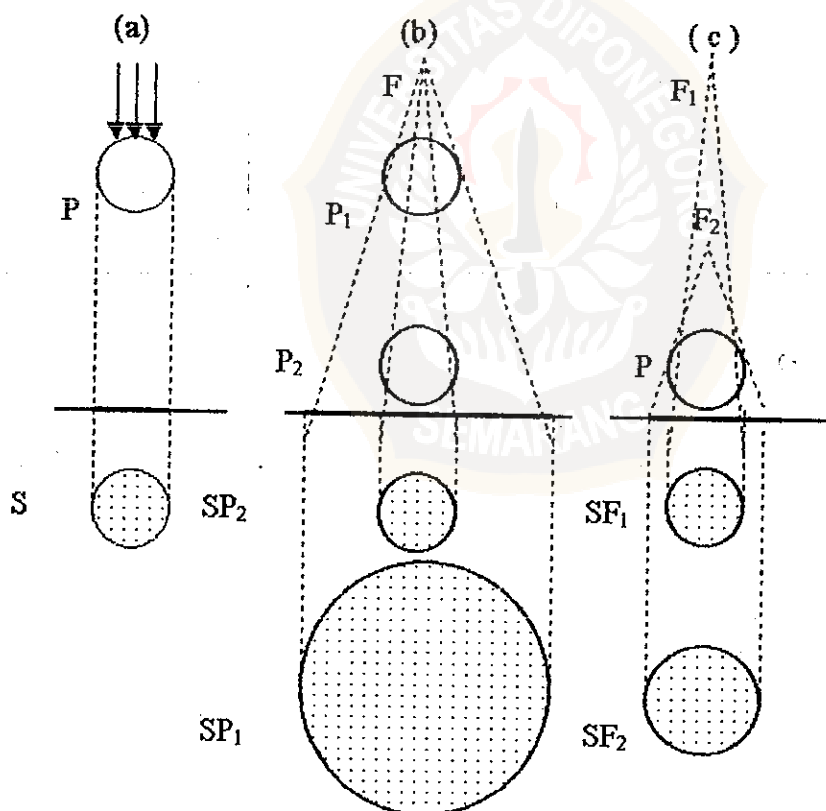
Setelah film diolah dalam larutan penetap, selanjutnya film direndam dalam air mengalir selama 30 sampai 60 menit dengan tujuan untuk membersihkan sisa-sisa bahan kimia di film.

2.5. Variabel Geometri yang Mempengaruhi Kualitas Gambar Röntgen

Variabel geometri yang mempengaruhi kualitas Gambar Röntgen dapat menimbulkan :

1. Magnifikasi.
2. Distorsi.

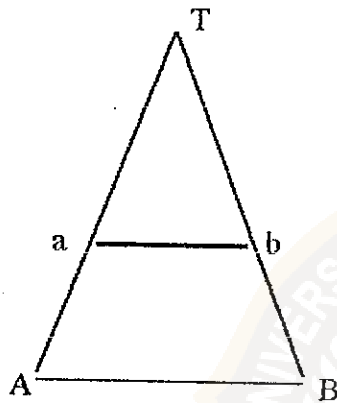
2.5.1. Magnifikasi



Gambar 2.12. Perbedaan ukuran bayangan pada permukaan film
(Toshiba Medical System, 1995)

Magnifikasi atau perbesaran adalah perubahan ukuran dari bayangan obyek yang sebenarnya. Pada obyek yang sejajar dengan film, maka bentuk bayangan tetap sedangkan ukurannya diperbesar. Perbesaran akan bertambah apabila jarak obyek - film bertambah dan jarak antara *focal spot*-film berkurang. Proses perbesaran disajikan pada Gambar 2.12 (Toshiba Medical System, 1995).

Rasio ukuran bayangan (AB) terhadap obyek (ab) disebut sebagai "magnifikasi" (lihat Gambar 2.13)



Gambar 2.13. Hubungan antara ukuran dari obyek dan bayangan (Meredith dan Massey, 1977)

Nilai magnifikasi diberikan oleh persamaan :

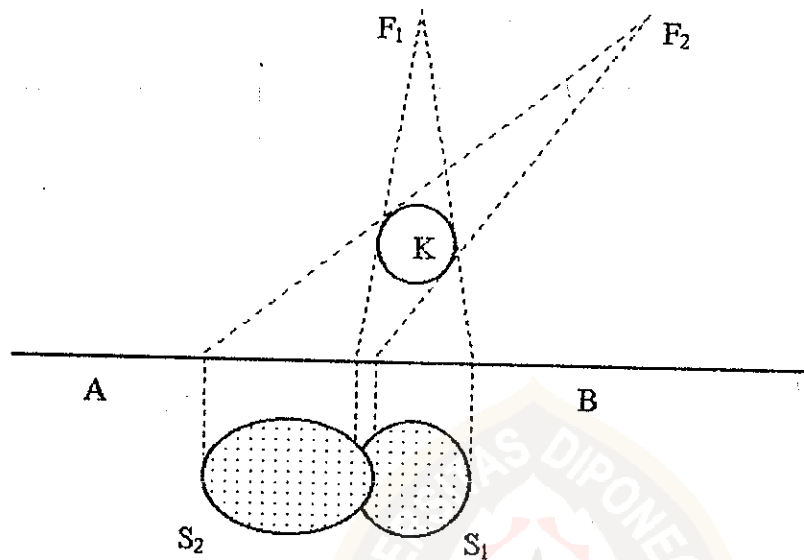
$$M = \frac{AB}{ab} \quad (2.25)$$

dengan :

- M = magnifikasi
- a b = ukuran obyek
- A B = ukuran bayangan

2.5.2. Distorsi

Distorsi adalah perubahan bentuk bayangan dari obyek yang disebabkan karena perbedaan letak atau posisi dari obyek, *focal spot* dan film. Distorsi dapat terjadi pada perubahan posisi *focal spot*, yang dapat dilihat pada Gambar 2.14



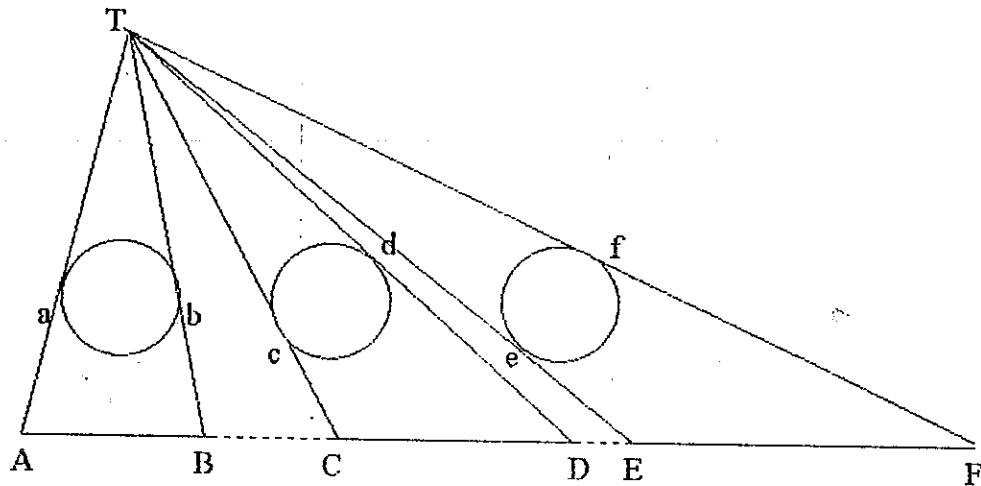
Gambar 2.14. Perubahan bentuk bayangan tergantung pada posisi *focal spot* (Toshiba Medical System, 1995)

Keterangan gambar :

- F_1 = posisi *focal spot* 1
- F_2 = posisi *focal spot* 2
- K = obyek (bola)
- S_1, S_2 = bayangan
- A B = permukaan film

Pada obyek padat, setiap bagian mendapat perbesaran yang berlainan, tergantung pada jarak obyek ke film sehingga bentuk keseluruhan akan berubah.

Proses ini disajikan pada Gambar 2.15.



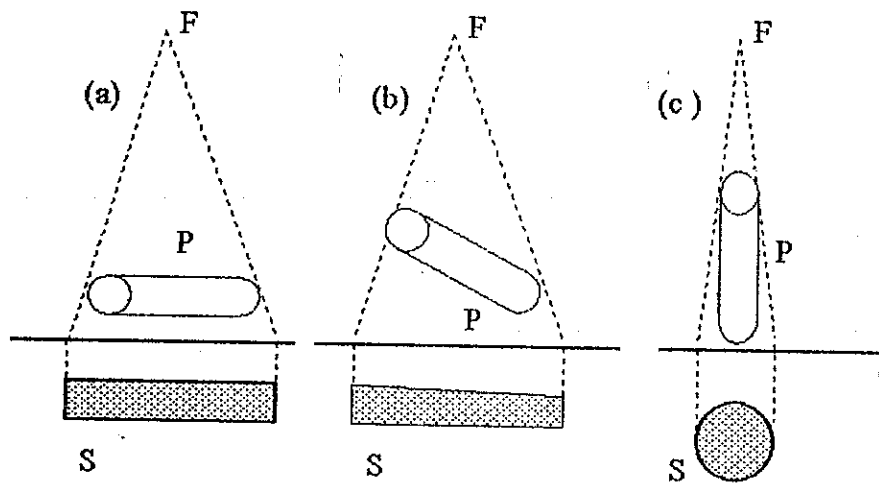
Gambar 2.15. Perubahan bentuk bayangan karena letak lateralnya
(Meredith dan Massey, 1977)

Keterangan gambar :

$$ab = cd = ef$$

$$AB < CD < EF$$

Distorsi dari bentuk dan posisi dapat dibuat sekecil mungkin dengan pemakaian jarak *focal spot* film yang besar dan jarak obyek – film yang kecil dan berkas sinar-X yang tegak lurus film ditunjukkan pada bagian yang akan diperiksa. Distorsi dapat terjadi pada penempatan obyek yang tidak sejajar dengan film. Bentuk dan ukuran bayangan tergantung dari sudut θ dari obyek terhadap film. Sebagai contoh pada obyek yang berbentuk silinder, terjadi perubahan bentuk yang tergantung pada letak dan kedudukan silinder, yang disajikan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Variasi bayangan dari obyek (Toshiba Medical System, 1995)

Keterangan gambar :

- F = *focal spot*
- P = *obyek*
- S = *bayangan*

