

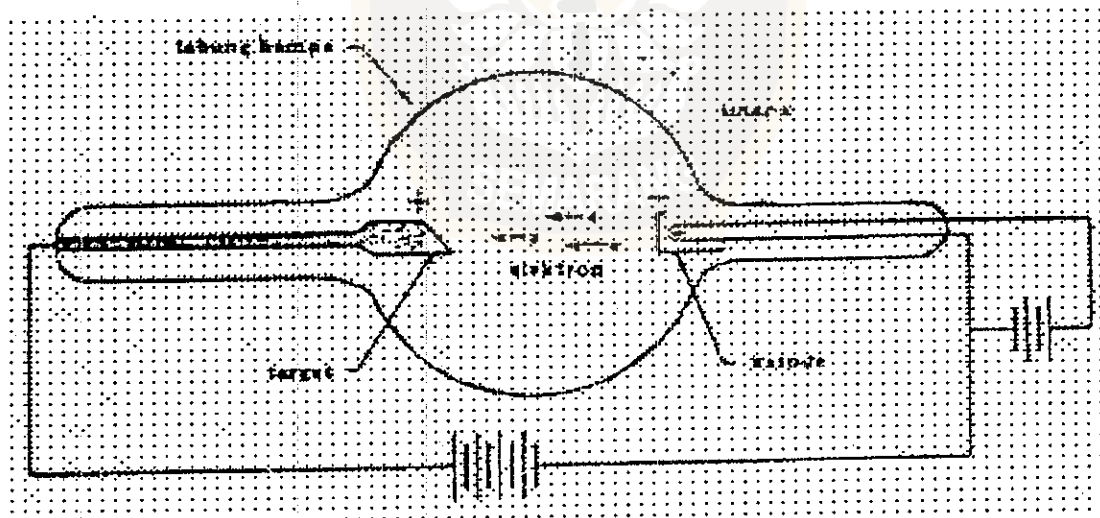
BAB II

DASAR TEORI

2.1 Deskripsi Sinar-X

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan interval panjang gelombang dari 0,001 sampai 1 nm atau 0,01 – 10 Å, sehingga sinar-X mempunyai daya tembus sangat besar (Sears dan Zemansky, 1994). Sebagai gelombang elektromagnetik sinar-X memiliki laju dalam ruang hampa sebesar $3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$.

Menurut Beiser (1991) Jika filamen pada tabung Röntgen (lihat gambar 1.1) dipanaskan elektron akan terlepas dan dipercepat melalui suatu potensial V dengan energi kinetik $E_k = \frac{1}{2}mv^2$, dan ketika menumbuk target akan terjadi proses Bremsstrahlung.



Gambar 2.1. Tabung sinar-X (Beiser, 1991)

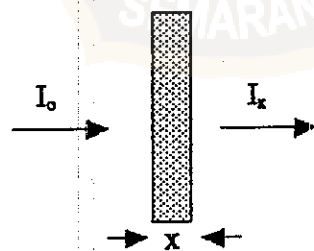
Pada proses Bremsstrahlung $h\nu = hc/\lambda = eV$

sehingga $\lambda = hc/eV$ (2.1)

dengan $h =$ Tetapan Planck ($6,62618 \times 10^{-34}$ J.s)
 $\nu =$ Frekuensi (Hz)
 $c =$ Kecepatan cahaya (ms^{-1})
 $\lambda =$ panjang gelombang (m)
 $V =$ tegangan (volt)
 $e =$ muatan elektron = $1,6 \times 10^{-19}$ C

Pemanfaatan sinar-X di bidang medis untuk keperluan diagnosis suatu penyakit didasarkan atas sifat-sifat yang dimilikinya (Hoxter, 1973) yaitu:

- (a) Mempunyai daya tembus yang tinggi terhadap obyek. Kemampuan sinar-X menembus suatu bahan dipengaruhi oleh energi sinar-X, densitas obyek yang ditembus dan nomor atom dari obyek.
- (b) Mengalami atenuasi atau pelemahan sewaktu menembus bahan yang disebabkan oleh kerapatan, ketebalan dan nomor atom bahan yang dilalui.



Gambar. 2.2 Penyerapan Sinar-X

Jika intensitas radiasi sinar-X melalui medium dengan koefisien serapan μ dengan ketebalan x (lihat Gambar 2.2) maka perubahan intensitas memenuhi persamaan :

$$\frac{dI}{dx} = -\mu I$$

atau
$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.2)$$

dengan I_x = Intensitas setelah menembus medium (watt/m²)
 I_0 = Intensitas mula-mula (watt/m²)
 e = Bilangan basis logaritma alam
 μ = Koefisien atenuasi medium (1/m)
 x = Ketebalan medium (m)

- (c) Menimbulkan efek fotografis dalam bentuk penghitaman plat fotografik. Perak bromida (AgBr) yang merupakan bahan aktif pada emulsi, apabila terkena sinar-X akan terbentuk bayangan laten. Setelah melalui proses pengolahan secara kimiawi dengan larutan pembangkit (*developer*) akan terbentuk bayangan yang dapat dilihat.

Menurut Bushong (1988) faktor yang menentukan Intensitas sinar-X adalah :

- (a) Beda potensial
- (b) Kuat arus
- (c) Jarak antara target dengan film

Jarak antara target dengan film sering disebut Focus Film Distance (FFD). Perubahan pada FFD akan berpengaruh pada intensitas sinar-X yang sampai pada film menurut persamaan :

$$\frac{I_1}{I_2} = \left[\frac{d_2}{d_1} \right]^2 \quad (2.3)$$

dengan : I_1 = Intensitas sinar-X pada FFD d_1 (watt/m²)
 I_2 = Intensitas sinar-X pada FFD d_2 (watt/m²)
 d_1 = FFD₁ (m)
 d_2 = FFD₂ (m)

2.2 Interaksi Sinar-X dengan Materi

Pada saat sinar-X mengenai suatu bahan atau materi akan terjadi interaksi yang mengakibatkan penyerapan atau penghamburan foton. Tiga proses utama interaksi radiasi dengan bahan adalah efek fotolistrik, efek Compton dan produksi pasangan. Karena energi sinar-X yang digunakan hanya dalam orde keV, maka proses produksi pasangan tidak terjadi.

2.2.1 Efek Fotolistrik

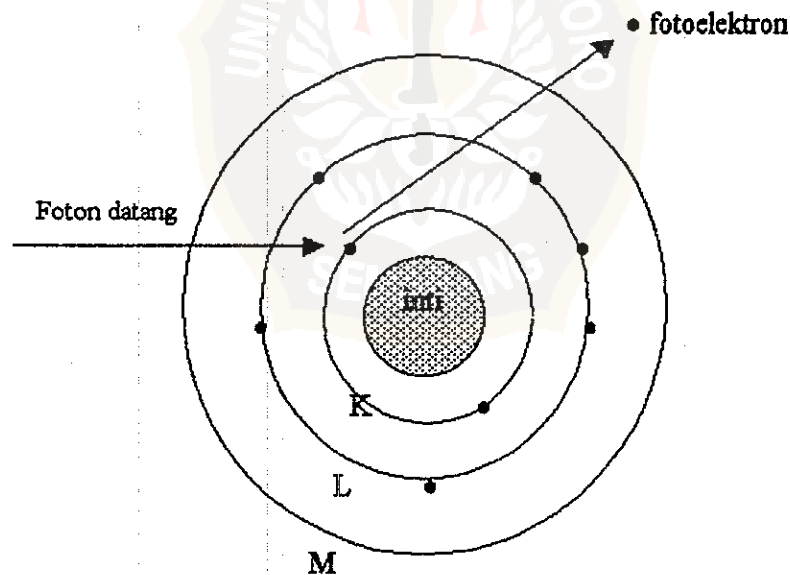
Mekanisme interaksi efek foto listrik terjadi dominan pada energi foton di bawah 100 keV. Dalam proses fotolistrik seluruh energi foton terserap oleh salah satu elektron yang terikat kuat oleh atom, kemudian elektron tersebut terlempar keluar dari atomnya. Diagram proses fotolistrik diperlihatkan pada Gambar 2.3. Proses fotolistrik

akan terjadi bila energi foton yang datang lebih besar dari energi ikat elektron pada atom tersebut (Krane, 1982). Jika elektron terlepas dari bahan, selisih antara energi foton yang diserap elektron dan energi ikat muncul sebagai energi kinetik elektron yang dinyatakan dalam persamaan (Beiser, 1991) :

$$E_k = h(\nu - \nu_0) = h\nu - h\nu_0 \quad (2.4)$$

dengan

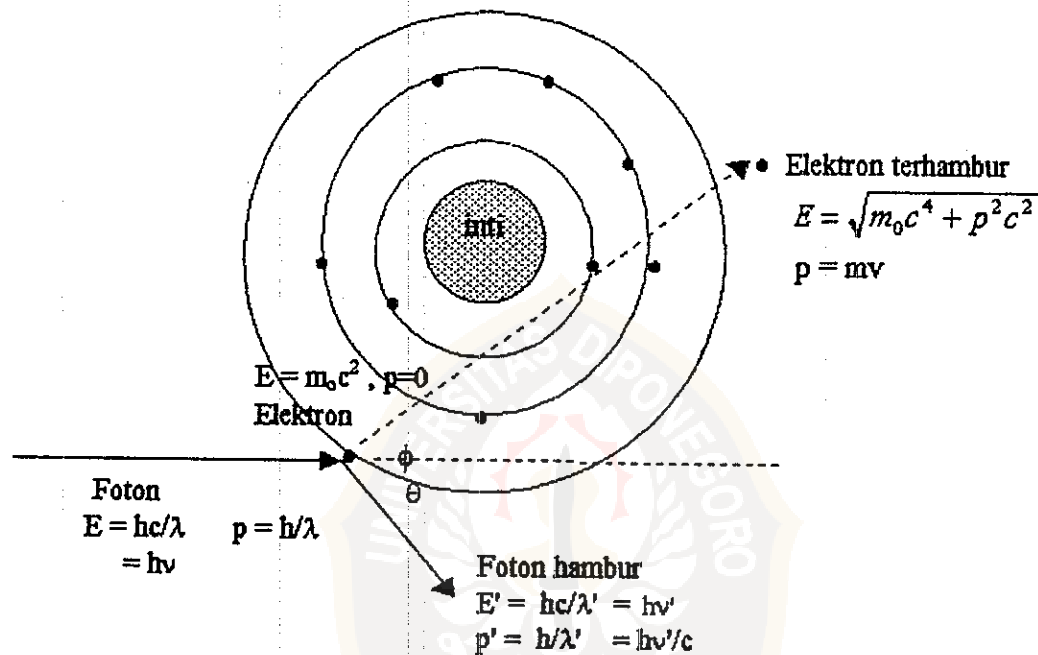
- E_k = energi kinetik fotoelektron
- h = konstanta planck = $6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s
- ν = frekuensi foton (Hz)
- ν_0 = frekuensi ambang, frekuensi minimum yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari bahan
- $h\nu$ = energi foton datang
- $h\nu_0$ = energi ambang, energi minimum yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari bahan



Gambar 2.3. Proses Interaksi Fotolistrik (Wiryoimin, 1995)

2.2.2 Efek Compton

Efek Compton adalah gejala yang timbul dalam proses interaksi foton dengan elektron bebas atau dengan elektron yang tidak terikat secara kuat pada atomnya yang menghasilkan foton lain dengan energi lebih rendah dari foton datang (Wirjosimin, 1995). Proses interaksi Compton terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar. 2.4 Diagram Proses Interaksi Efek Compton (Wirjosimin, 1995)

Pada keadaan awal foton memiliki energi :

$$E = h\nu = hc/\lambda \quad (2.5)$$

dan momentum

$$p = E/c = h/\lambda \quad (2.6)$$

Menurut hukum kekekalan energi hubungan energi sebelum dan sesudah interaksi dapat dinyatakan :

$$hc/\lambda + m_0c^2 = hc/\lambda' + mc^2 \quad (2.7)$$

dan menurut hukum kekekalan momentum dapat dinyatakan :

$$h/\lambda = h/\lambda' \cos\theta + mv \cos\phi \quad (2.8)$$

$$0 = h/\lambda \sin\theta - mv \sin\phi \quad (2.9)$$

dengan θ = sudut foton terhambur terhadap garis normal
 ϕ = sudut elektron terhambur terhadap garis normal
 λ = panjang gelombang foton datang
 λ' = panjang gelombang foton terhambur

Dari kedua persamaan (2.8) dan (2.9) akan diperoleh perubahan panjang gelombang foton sebesar :

$$\Delta \lambda = \lambda' - \lambda = h/m_0c (1 - \cos\theta) \quad (2.10)$$

dan energi foton terhambur dapat dituliskan :

$$E' = \frac{E}{1 + E/m_0c^2 (1 - \cos\theta)} \quad (2.11)$$

dengan E' = energi foton terhambur
 E = energi foton datang
 m_0c^2 = energi diam elektron
 θ = sudut foton hambur terhadap garis normal

Dari persamaan (2.10) terlihat bahwa pergeseran panjang gelombang Compton ($\lambda - \lambda'$) untuk setiap arah θ tidak tergantung pada energi foton datang ($h\nu$) dan akan mempunyai nilai maksimum pada $\theta = 180^\circ$. Tetapan (h/m_0c) = $2,424 \times 10^{-12}$ m disebut sebagai panjang gelombang Compton, λ_c . Sehingga persamaan (2.10) dapat dituliskan :

$$\Delta \lambda = \lambda_c (1 - \cos\theta)$$

atau
$$\Delta \lambda = 2,424 \times 10^{-12} (1 - \cos\theta) \quad (2.12)$$

Panjang gelombang ini sama dengan energi diam elektron, $m_0c^2 = 0,511$ MeV.

Hubungan antara energi dalam interaksi Compton (Bushong, 1988) :

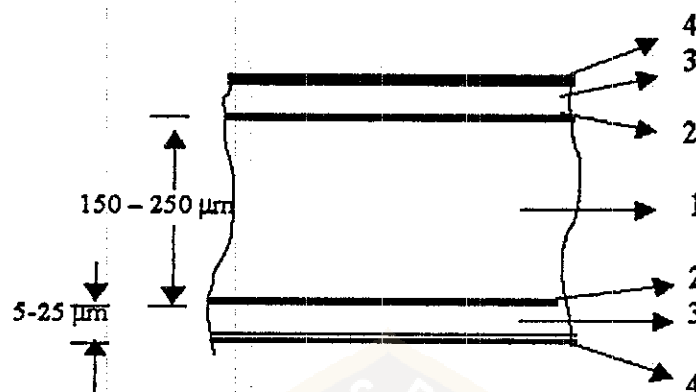
$$E_f = E_h + (E_i + E_k) \quad (2.13)$$

dengan E_f = Energi foton datang
 E_h = Energi foton terhambur
 E_i = Energi ikat elektron
 E_k = Energi kinetik elektron

2.3 Film Sinar-X

2.3.1 Struktur film sinar-X

Secara garis besar film sinar-X memiliki struktur sebagai berikut :



Gambar 2.5. Penampang Lintang Film Sinar-X (Bushong , 1988)

Keterangan Gambar :

1. Lapisan dasar (*Film base*)
2. Lapisan perekat (*Substratum layer/adhesive*)
3. Lapisan emulsi
4. Lapisan pelindung (*Supercoating*)

(a) Lapisan Dasar Film (*Film Base*)

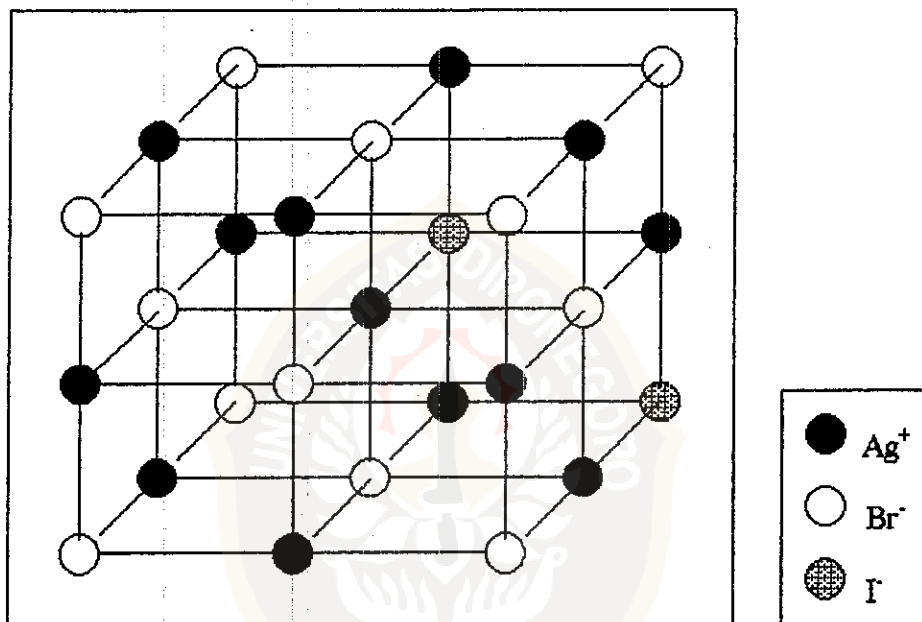
Lapisan dasar film merupakan fondasi dasar film sinar-X yang berfungsi sebagai tempat emulsi film dilekatkan. Lapisan ini terbuat dari bahan polyester dan diberi warna kebiru-biruan sehingga lebih menyenangkan bila dilihat.

(b) Lapisan perekat (*Substratum layer / adhesive*)

Lapisan perekat berfungsi sebagai bahan perekat antara lapisan dasar film dengan lapisan emulsi. Lapisan ini terbuat dari bahan cellulose, gelatin dan acetone.

(c) Lapisan emulsi film

Struktur kristal lapisan emulsi film disajikan pada gambar berikut :

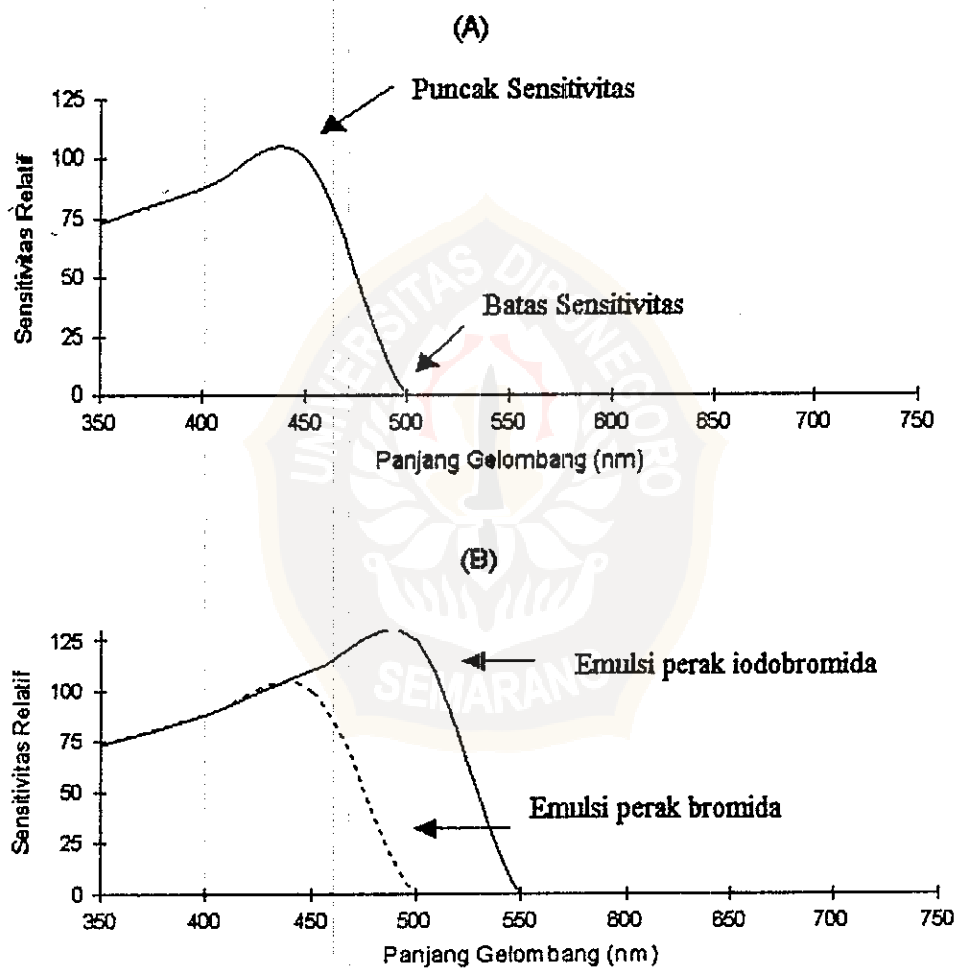


Gambar 2.6. Struktur Kristal Emulsi film (Curry III dkk, 1990)

Lapisan emulsi merupakan lapisan yang peka terhadap sinar-X maupun cahaya tampak, dibuat dari kelompok perak Halida (AgBr dan AgI). Kristal AgBr tersusun dari ion-ion perak (Ag^+), ion-ion bromida (Br^-) dan ion-ion Iodida (I^-)

yang tersusun dalam bentuk kubus dengan ion-ion penyusunnya terletak pada sudut-sudutnya.

Halida dalam film sinar-X medik adalah sekitar 90% sampai 99% perak bromida dan sekitar 1% sampai 10% perak iodida. Prosen dari AgI menghasilkan emulsi dengan sensitivitas yang lebih besar dari AgBr murni (Curry III dkk, 1990). Spektogram yang menunjukkan sensitifitas emulsi terlihat pada Gambar 2.7.



Gambar. 2.7 Spektogram Sensitivitas Emulsi Film Perak Bromida (A) dan Iodobromida (B) (Roberts dan Smith, 1988)

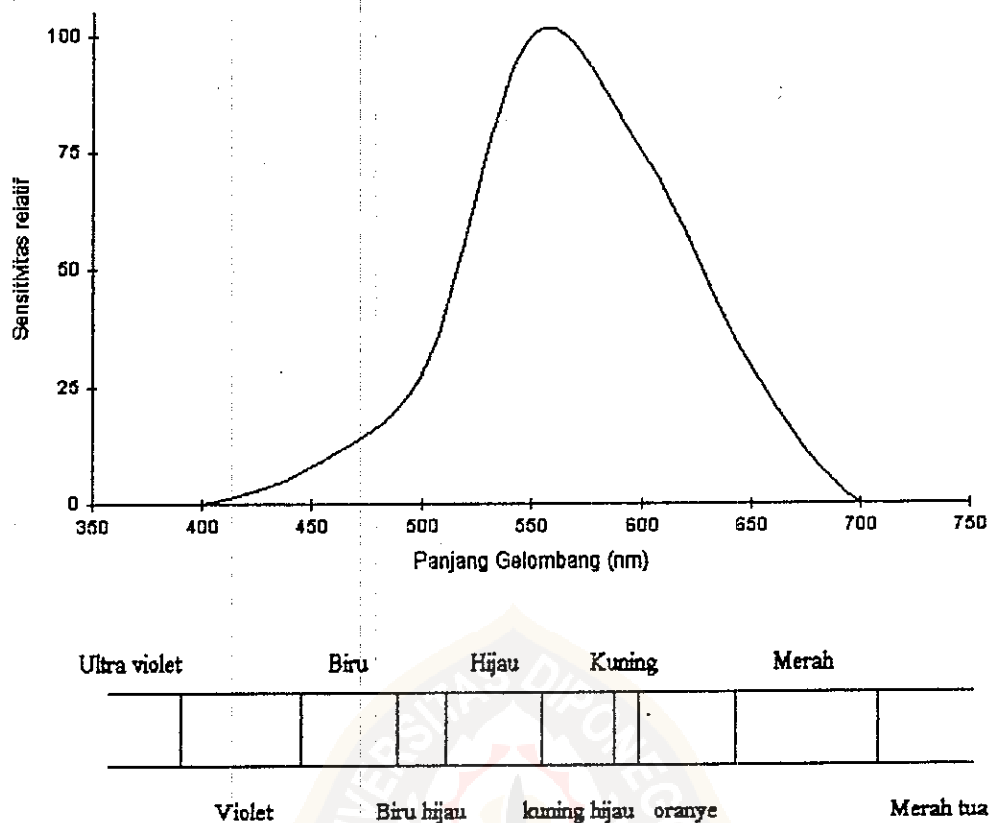
Butiran perak iodobromida bukan merupakan kristal sempurna karena kristal sempurna hampir tidak mempunyai sensitivitas fotografi. Sensitivitas dari kristal diproduksi dengan menambahkan sulfur yang akan bereaksi dengan perak halida untuk membentuk perak sulfida (Ag_2S). Perak sulfida dilokasikan pada permukaan kristal dan dinyatakan sebagai bintik sensitivitas.

(d) Lapisan pelindung (*supercoating*)

Lapisan pelindung disebut sebagai lapisan anti abrasi yang berfungsi melindungi emulsi film dari kerusakan mekanik akibat gesekan dan transportasi *roll* pada pengolahan film secara otomatis.

2.3.2 Jenis film finar-X

Pengaruh cahaya terhadap emulsi film tergantung dari kuantitas dan kualitas yang ditentukan dari sumber cahaya. Menurut Chesney dan Chesney (1981) cahaya didispersikan dalam spektrum warna seperti Gambar. 2.8. Tiap spektrum memiliki panjang gelombang dan energi yang berbeda. Cahaya yang dapat dilihat oleh mata manusia mempunyai panjang gelombang antara 400 – 700 nm.



Gambar 2.8. Kurva Sensitivitas Mata terhadap Perbedaan Panjang Gelombang (Chesney dan Chesney, 1981)

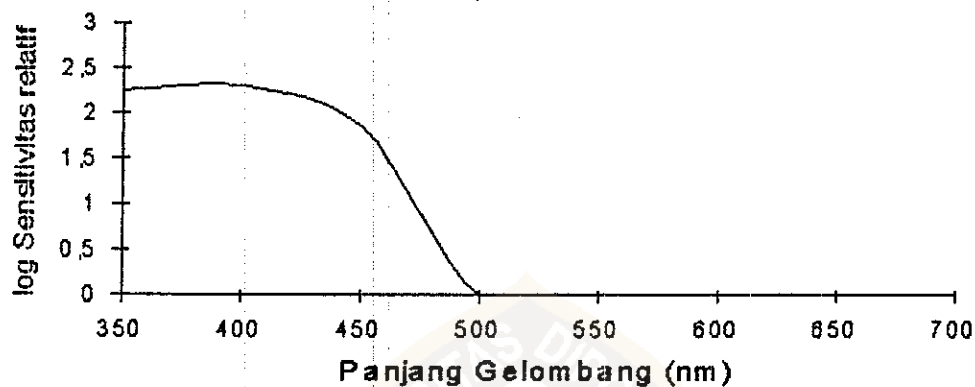
Menurut Chesney dan Chesney (1981) Film sinar-X memiliki perbedaan kepekaan terhadap spektrum cahaya, yaitu :

(a) Film monokromatik

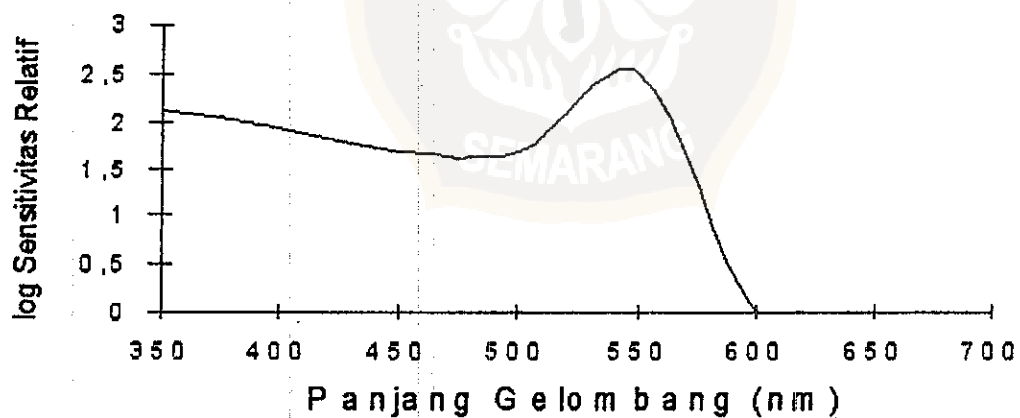
Film monokromatik disebut juga dengan nama *Blue sensitive, noncolour sensitive* atau *Blind sensitive*. Emulsi ini memiliki kepekaan warna dari ultra violet sampai dengan warna biru.

(b) Film orthokromatik

Film orthokromatik yaitu jenis film dengan kepekaan spektral dari ultra violet sampai dengan warna hijau. Film jenis ini sering disebut juga sebagai film *Green sensitive*.



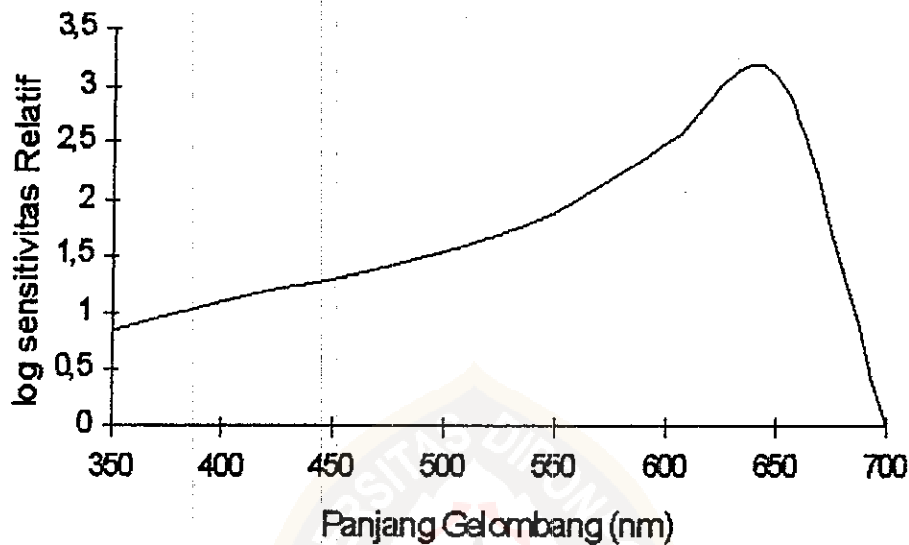
Gambar. 2.9 Spektogram Film Monokromatik (Roberts dan Smith, 1988)



Gambar. 2.10 Spektogram Film Orthokromatik (Roberts dan Smith, 1988)

(c) Film Pankhromatik

Film pankhromatik memiliki kepekaan terhadap semua spektrum warna sehingga dalam pemrosesan film harus dilakukan dalam keadaan gelap total.



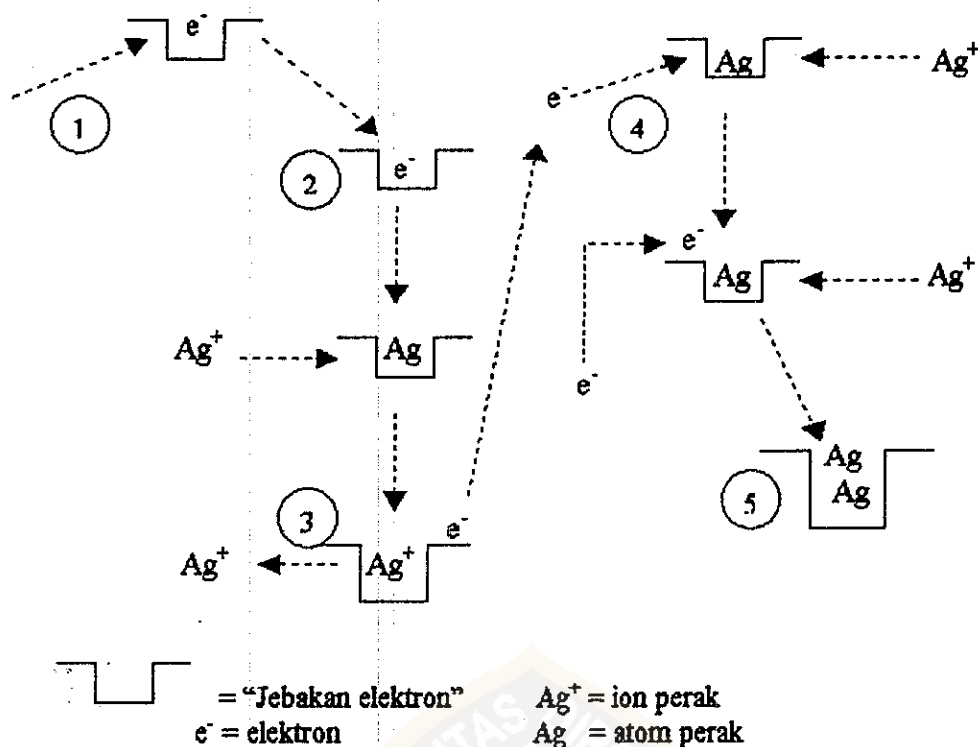
Gambar. 2.11 Spektogram Film Pankhromatik (Roberts&Smith, 1988)

2.4. Pembentukan Bayangan

2.4.1 Pembentukan bayangan laten

Banyaknya foton sinar-X yang mengenai film berbeda-beda tergantung pada penyerapan tubuh pasien sehingga akan terbentuk pola bayangan pada film yang akan terlihat bila sudah melalui suatu proses pengolahan (Meredith dan Massey, 1977).

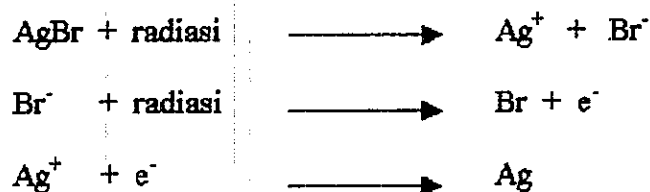
Menurut teori Gurney-Mott dalam Robert dan Smith (1988) ada lima tahap sampai terbentuknya bayangan laten seperti terlihat pada Gambar 2.12.



Gambar. 2.12 Diagram Pembentukan Bayangan Laten menurut Teori Gurney Mott (Robert dan Smith, 1988)

Pada saat senyawa perak bromida terpapar radiasi sinar-X menyebabkan ikatan antara perak dan bromida terputus. Beberapa ion bromida melepaskan elektron. Elektron yang dilepaskan oleh ion bromida mampu bergerak dengan kecepatan tinggi menuju ke daerah sensitif emulsi dan ditarik oleh 'jebakan elektron' / pusat pembentukan bayangan (tahap 1). Elektron ini akan menarik ion perak sehingga terjadi netralisasi dan terbentuk atom perak (tahap 2). Atom perak yang terbentuk belum stabil dan mudah sekali terjadi kembali pelepasan elektron seperti tahap 3 sehingga proses 1 dan 2 berulang terjadi. Pada waktu yang singkat "penjebak elektron" akan

menarik ion perak yang kedua sehingga akan terbentuk dua atom perak yang stabil pada pusat jebakan yang merupakan bayangan laten. Proses ini dapat ditulis sebagai berikut (Chesney dan Chesney, 1978) :

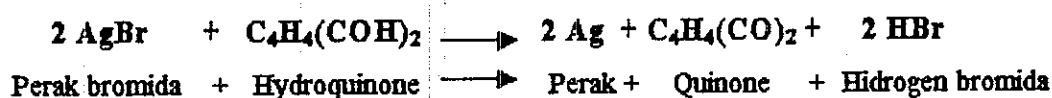


2.4.2 Pengolahan Film

Pengolahan film bertujuan mengubah bayangan laten menjadi bayangan nyata yang dapat dilihat mata. Proses pengolahan ini ada beberapa tahap yaitu :

2.4.2.1 Pembangkitan

Pada proses pembangkitan, bahan organik yang biasa digunakan adalah kombinasi Metol (monomethyl - paminophenol sulphate) dan Hydroquinone sebagai bahan pembangkit serta komponen lain yang terlarut dalam larutan *developer*. Hydroquinon akan mereduksi AgBr yang mengandung bayangan laten menjadi logam Ag yang hitam dan HBr menurut reaksi berikut (Robert dan Smith, 1988) :



AgBr yang tidak terkena radiasi tidak akan mengalami reduksi. Hydroquinone ini disebut sebagai "*reducing agent*". Proses pengembangan bayangan laten menjadi bayangan nyata menurut Meredith dan Massey (1977) adalah karena adanya perintang elektron pada AgBr yang tidak terkena sinar, akan menolak elektron dari bahan pengembang sehingga tidak ada efek perubahan, sedangkan pada kristal AgBr yang mempunyai bayangan laten terdapat tumpukan atom Ag yang menyebabkan perintang retak. Dari bagian yang retak inilah elektron dari larutan pengembang menembus ke dalam kristal dan mereduksi ion Ag menjadi atom Ag.

Larutan *developer* terdiri dari beberapa komponen yaitu :

(a) Bahan pembangkit (*developing agent*)

Pembangkit berfungsi untuk mereduksi perak bromida yang terpapari menjadi perak metalik. Pada proses pencucian film sebagai bahan pereduksi adalah kombinasi Methol dan Hydroquinone.

(a) Pengaktif (*Accelerator*)

Bahan pengaktif yang digunakan adalah Natrium carbonat yang berfungsi untuk membantu mengaktifkan *developing agent*

(b) Penangkal (*Preservative*)

Bahan penangkal yang digunakan adalah natrium Sulfit yang berfungsi untuk melindungi *developing agent* dari oksidasi

(c) Penahan (*Restrainer*)

Bahan penahan yang digunakan adalah Kalium bromida yang berfungsi untuk membatasi daya kerja *developing agent* terutama terhadap kristal-kristak yang tidak terkena paparan.

(d) Pelarut (*Solvent*)

Sebagai bahan pelarut digunakan air.

Menurut Longmore (1955) komposisi *developer* secara umum adalah :

a. Hidroquinon	.....	8 gram
b. Metol	.....	2 gram
c. Accelerator	.....	120 gram
d. Preservative	.....	180 gram
e. Restrainer	.....	5 gram
f. Solvent	.....	sampai 1000 gram

Hal yang perlu diperhatikan dalam penggunaan larutan pengembang agar diperoleh kualitas gambar yang baik adalah :

a. Suhu dan waktu

Suhu larutan *developer* berpengaruh terhadap hasil akhir dalam pemrosesan film. Suhu larutan *developer* yang tinggi menghasilkan pengukuran densitas film yang tinggi. Kombinasi suhu larutan *developer* dengan waktu pencelupan film di dalam larutan *developer* yang diperbolehkan menurut Meredith & Massey (1977) disajikan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kombinasi Suhu dan Waktu Pencucian Film (Chesney dan Chesney, 1977)

SUHU	WAKTU
21 ^o C	2,5 menit
18 ^o C	5,0 menit
13 ^o C	10 menit

b. Agitasi

Agitasi atau pengadukan bertujuan agar film mendapat perlakuan yang sama dari larutan *developer* sehingga mempercepat pemrosesan film.

c. Penurunan kadar larutan *developer*

Aktivitas larutan *developer* akan berkurang bila digunakan terus menerus. Hal ini disebabkan menurunnya kadar bahan pengembang.

2.4.2.2 *Stopbath*

Setelah selesai proses pengembangan, film diangkat dari larutan *developer* kemudian dimasukkan ke dalam larutan *stopbath*. Larutan *stopbath* berfungsi untuk menghentikan reaksi larutan *developer* yang masih melekat pada film. Bahan yang digunakan adalah asam asetat. Bila proses ini diabaikan maka akan dihasilkan noda-noda pada film sehingga dapat merusak bayangan yang telah terbentuk (Chesney dan Chesney, 1978).

2.4.2.3 Penetapan (*Fixing*)

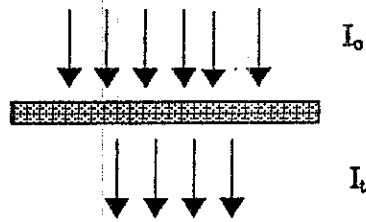
Fixer adalah penetap kristal-kristal film agar film tidak sensitif lagi terhadap cahaya. Sebagai *Fixing agent* digunakan Natrium thiosulphate. berfungsi menghentikan proses pengembangan (menetapkan), melarutkan AgBr yang tidak terkena paparan sinar-X dan membeningkan daerah film yang tidak terdapat gambaran laten.

2.4.2.4 Proses pembilasan

Proses ini dilakukan dalam bak dengan air yang mengalir untuk menghilangkan larutan *fixer* yang masih melekat pada film yang dapat menimbulkan noda kuning kecoklatan yang akan mengganggu pengukuran densitas film.

2.5 Densitas Film

Film sinar-X memiliki karakteristik yang menggambarkan sensitifitas emulsi film yang berbeda antara film yang satu dengan yang lain. Sensitifitas emulsi terhadap sejumlah penyinaran yang diterimanya dapat dilihat dari densitas setelah film tersebut mengalami proses pencucian. Densitas diartikan sebagai jumlah atau derajat penghitaman dari film yang disebabkan oleh sejumlah penyinaran. Apabila film yang dipapari radiasi maka intensitas cahaya yang diteruskan setelah melewati film akan berkurang karena terserap oleh logam perak yang terbentuk pada lapisan emulsi film. Makin banyak cahaya yang diserap, intensitas cahaya yang diteruskan makin berkurang.



Nisbah antara intensitas cahaya sebelum mengenai film (I_0) dengan intensitas cahaya setelah menembus film (I_t) didefinisikan sebagai *densitas film*. Karena nilai nisbah pada umumnya besar maka digunakan nilai logaritma. Densitas film dinyatakan dengan persamaan (Meredith dan Massey, 1979) :

$$D = \log \frac{I_0}{I_t} \quad (2.13)$$

dengan

D = Densitas film

I_0 = Intensitas cahaya sebelum mengenai film (kandela)

I_t = Intensitas cahaya setelah mengenai film(kandela)

Densitas yang digunakan dalam diagnostik berkisar antara 0,2 (5% sinar yang ditransmisikan) sampai 2,0 (1% sinar yang ditransmisikan). Kenaikan densitas film 0,3 menurunkan sinar yang ditransmisikan hingga 50% dari nilai sebelumnya.

2.6 Kontras Radiografi

Kontras radiografi adalah perbedaan densitas antara variasi daerah yang satu dengan daerah yang lain pada film. Menurut Curry III (1885) Kontras antara dua titik dalam radiografi didefinisikan sebagai :

$$C = D_2 - D_1 \quad (2.14)$$

dengan

- C = Kontras
- D_2 = Densitas daerah 2
- D_1 = Densitas daerah 1

Menurut Curry III dkk (1985) kontras radiografi tergantung pada kontras organ yang diperiksa dan kontras film. Kontras organ yang diperiksa dipengaruhi oleh ketebalan, densitas dan perbedaan atom dari organ yang diperiksa, energi radiasi dan material kontras, sedangkan kontras film tergantung pada faktor karakteristik film, pemakaian tapis pengintensif (*intensifying screen*) lembaran penguat dan pemrosesan film.

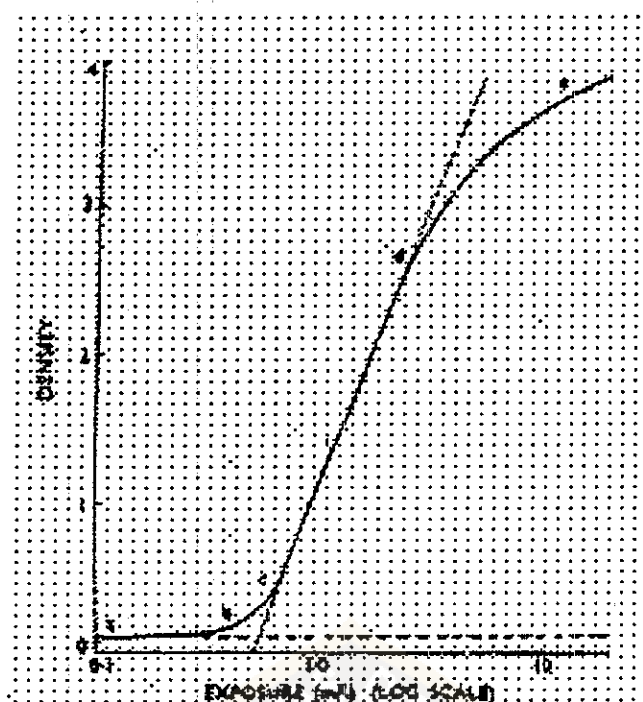
2.7 Kurva karakteristik

Kurva karakteristik menunjukkan hubungan antara nilai logaritma pemaparan ($\log E$) dengan densitas yang dihasilkan (D). Pemaparan adalah jumlah foton atau energi yang menumbuk satu satuan luas dari obyek yang diradiasi. Pemaparan dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$E = I_0 t \quad (2.15)$$

dengan

- E = pemaparan (roentgen)
- I_0 = intensitas pemaparan (roentgen/sec)
- t = waktu pemaparan (s)



Gambar 2.13 Kurva Karakteristik (Mcredith dan Massey, 1979)

Secara umum kurva karakteristik dibagi menjadi 5 daerah yaitu daerah kabut dasar (ab) menunjukkan densitas paling rendah, densitas pada daerah ini sudah ada sebelum film disinari. Daerah tumit (bc), densitas mulai ada karena sejumlah penyinaran. Daerah ketiga (cd) merupakan daerah terpenting dari film sinar-X karena menunjukkan respon film terhadap penyinaran. Pada daerah ini densitas sebanding dengan logaritma penyinaran. Daerah bahu (de) menunjukkan daerah dengan densitas paling tinggi atau daerah *over exposure*, penambahan penyinaran memberikan kenaikan densitas yang sangat kecil, terakhir daerah solarisasi (e), dimana densitas

akan menurun dengan penambahan penyinaran karena terjadi rekombinasi ion perak dan ion bromida menjadi perak bromida.

Dari kurva karakteristik film diperoleh informasi (Chesney dan Chesney, 1976) :

a. Tingkat Kabut Dasar (*Basic Fog Level*)

Tingkat kabut dasar adalah tingkat kehitaman (densitas) film sebelum film tersebut mendapatkan pemaparan sinar-X. Film yang belum dipapari radiasi bila diproses ternyata sudah memiliki tingkat kehitaman yang dinamakan kabut dasar (*basic fog*). Kabut dasar (*basic fog*) meningkat bila waktu pencelupan di dalam larutan *developer* dan konsentrasi serta suhu larutan *developer* naik. Faktor lain yang menyebabkan *basic fog* meningkat adalah umur film, kondisi pemaparan film dan laju film (*film speed*). Film sinar-X yang tidak disinari bila diproses akan menampilkan densitas 0,12, ini merupakan densitas basis dan kabut. Densitas basis rata-rata 0,07 dan densitas kabut rata-rata 0,05 disebabkan karena butiran perak yang mengembang.

b. Gamma (γ) Film

Menurut Meredith dan Massey (1977) Gamma (γ) film didefinisikan sebagai kemiringan maksimum kurva karakteristik yang menunjukkan kontras film. Gamma film dinyatakan dengan :

$$\gamma = \text{tg } \alpha = \frac{D_2 - D_1}{\log E_2 - \log E_1} \quad (2.16)$$

dengan γ = gamma film
 D_1, D_2 = densitas hasil pemaparan
 E_1, E_2 = pemaparan

Dengan menggunakan persamaan (2.16) maka persamaan Persamaan (2.14) dapat ditulis kembali dalam bentuk:

$$\begin{aligned} C &= D_2 - D_1 \\ &= \gamma (\log E_2 - \log E_1) \\ &= \gamma \log (E_2/E_1) \end{aligned} \quad (2.17)$$

Slope (gradien garis lurus) yang menghubungkan dua titik dari densitas yang dispesifikasikan pada kurva karakteristik disebut gradien rata-rata. Gradien rata-rata biasa dikalkulasikan pada densitas guna yaitu rentang densitas yang masih bisa dibedakan oleh mata (0,2 sampai 2,0).

(c) *Laju film* (S)

Menurut Curry III dkk (1985) laju film didefinisikan sebagai nilai pemaparan yang dibutuhkan untuk mendapatkan densitas sebesar 1. *Laju film* berbanding terbalik dengan nilai pemaparan. Pemaparan dinyatakan dalam röntgen (R)

$$S = \frac{1}{\text{pemaparan}} = R^{-1}$$

(d) Jangkah pemaparan (*Latitude Film*)

Jangkah pemaparan merupakan rentang kemampuan emulsi film dalam menerima respon penyinaran sampai menghasilkan densitas guna (0,2 – 2,0). Besarnya jangkah pemaparan (*latitude film*) tergantung dari gradien rata-rata film tersebut (Curry III dkk, 1985).

2.6 Sensitometri

Menurut Bushong (1988) untuk mengetahui tingkat sensitivitas film sinar-X terhadap sejumlah penyinaran dilakukan dengan metode sensitometri. Metode ini untuk melihat hubungan antara besarnya pemaparan dengan tingkat kehitaman film setelah melalui proses pencucian. Dengan memberikan sejumlah pemaparan yang berbeda untuk setiap daerah film yang berbeda diperoleh derajat penghitaman film yang berbeda pula. Dengan membuat grafik hubungan antara pemaparan dengan tingkat penghitaman film akan dihasilkan suatu kurva yang disebut sebagai kurva karakteristik. Dari kurva inilah dapat diketahui sifat-sifat film sinar-X tersebut yang dapat dijadikan pedoman dalam memilih jenis film yang sesuai dengan jenis pemeriksaan yang akan dilakukan sehingga tujuan pembuatan radiograf untuk membantu menegakkan diagnosis suatu penyakit dapat optimal.