B A B II

DASAR TEORI

2.1 Proses terjadinya sinar-X

Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang 0,01 – 10 Å. Dengan panjang gelombang yang pendek ini mengakibatkan sinar-X mampu menembus materi yang dilaluinya (Curry dkk, 1984). Sinar-X diproduksi dengan jalan menembaki target logam dengan elektron cepat dalam tabung vakum sinar katoda. Elektron proyektil dihasilkan dari pemanasan filamen yang berfungsi sebagai katoda.

Tegangan yang dipakai untuk mempercepat gerak elektron itu adalah 10^3-10^6 Volt (Akhadi, 2000). Produksi sinar-X yang lain dapat terjadi akibat eksitasi elektron pada kulit atom. Produksi sinar-X akibat eksitasi elektron dari orbitnya ini dinamakan sinar-X karakteristik yang biasanya terjadi pada tegangan tabung diatas 70 kV. Proses terjadinya sinar-X dapat dibedakan dua jenis, yaitu *bremsstrahlung* dan karakteristik.

2.1.1 Proses sinar-X *Bremsstrahlung*

Sumber radiasi sinar-X terjadi dalam tabung hampa udara yang berisi filamen yang bertindak sebagai katoda dan sasaran (target) bertindak sebagai anoda. Filamen yang dipanasi oleh arus listrik rendah menjadi sumber elektron. Elektron-elektron ini akan ditarik ke arah anoda oleh perbedaan potensial antara katoda dan anoda. Makin besar beda potensial yang terjadi makin cepat elektron-elektron itu menuju sasaran (anoda). Karena elektron itu menabrak sasaran

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)

akibatnya terjadi proses perlambatan, sehingga timbul radiasi sinar-X yang mempunyai spektrum kontinu. Radiasi sinar-X ini disebut proses *bremsstrahlung* (Wiryosimin, 1995).

2.1.2 Proses sinar-X karakteristik

Sinar-X dapat juga terbentuk melalui proses perpindahan elektron atom dari tingkat energi yang lebih tinggi menuju ke tingkat energi yang lebih rendah. Sinar-X yang terbentuk melalui proses ini mempunyai energi sama dengan selisih energi antara kedua tingkat energi elektron tersebut. Energi sinar-X karakteristik tersebut dinyatakan dalam :

$$h\nu = E_K - E_L, \qquad (2.1)$$

dengan $h\nu$ adalah energi foton sinar-X karakteristik, E_K adalah energi ikat elektron pada kulit K, dan E_L adalah energi ikat elektron pada kulit L (Khan, 1994).

Adanya tingkat-tingkat energi dalam atom dapat digunakan untuk menerangkan terjadinya spektrum sinar-X dari suatu atom. Karena setiap jenis atom memiliki tingkat-tingkat energi elektron yang berbeda-beda maka sinar-X yang terbentuk disebut sinar-X karakteristik. Spektrum yang dihasilkan sinar-X karakteristik ini merupakan spektrum garis (Wiryosimin, 1995).

Sinar-X karakteristik ini terjadi karena elektron yang berada pada kulit K terionisasi. Kekosongan elektron pada kulit K ini segera diisi oleh elektron dari kulit di atasnya. Jika kekosongan pada kulit K ini diisi oleh elektron dari kulit L, maka akan dipancarkan sinar karakteristik K_α. Jika kekosongan ini diisi oleh elektron dari kulit M, maka akan dipancarkan sinar-X karakteristik K_β (Akhadi,

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)

2000). Untuk keperluan diagnosa medis, panjang gelombang sinar-X yang dibutuhkan mempunyai panjang gelombang 0,01 - 10 Å (Curry dkk, 1984).

2.2 Sifat sinar-X

a. Daya tembus besar

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik yang mempunyai panjang gelombang sangat pendek, sehingga daya tembusnya besar. Sifat ini dimanfaatkan di bidang kedokteran khususnya untuk diagnostik dan terapi.

b. Efek *fluoresensi*

Sinar-X dapat menyebabkan efek *fluoresensi* yaitu bila mengenai bahan, akan menyebabkan bahan tersebut memancarkan cahaya tampak. Efek tersebut dimanfaatkan dalam pembuatan lembar penguat (*Intensifying screen*).

c. Efek *fotografis*

Sinar-X dapat menyebabkan penghitaman pada film. Bila sinar-X mengenai film akan terjadi proses penghitaman. Proses ini dapat terlihat setelah dilakukan pemrosesan secara kimiawi. Efek tersebut digunakan pada pembuatan radiograf (Meredith, 1977).

d. Efek biologis

Penyinaran yang terus menerus dapat menyebabkan kerusakan pada sel jaringan tubuh, yakni menyebabkan *nekrose* jaringan. Sinar-X juga dapat menyebabkan kanker kulit dan kanker darah bila terkena dalam jangka waktu lama dengan dosis rendah (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)

2.3 Produksi radiasi hambur

Tidak semua foton yang dipancarkan oleh tabung sinar-X diserap oleh materi tetapi banyak foton yang dihamburkan ke segala arah. Foton radiasi yang dihamburkan mengalami pengurangan energi dan daya tembus. Radiasi hambur yang bergerak ke segala arah tersebut ada yang sampai ke film dengan arah yang sama atau berlainan arah dengan berkas radiasi primer (Meredith, 1977).

Di bidang radiodiagnostik bila berkas sinar-X berinteraksi dengan bahan yang dilaluinya maka terjadi beberapa peristiwa yang menghasilkan radiasi hambur diantaranya adalah hamburan klasik, hamburan *compton* dan efek fotolistrik.

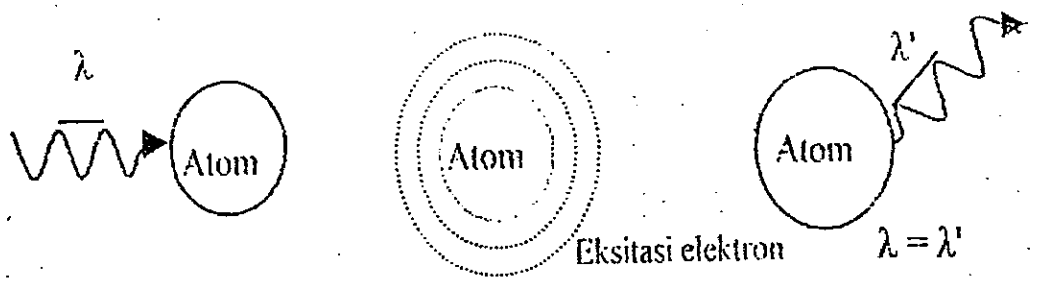
2.3.1 Hamburan klasik

Hamburan klasik terjadi pada energi sinar-X yang rendah yaitu dibawah 10 keV. Hamburan klasik ini juga disebut dengan hamburan *koheren* (Bushong,1988). Hamburan *koheren* adalah hamburan yang terjadi pada saat foton berinteraksi dengan materi yang hasilnya hanya akan merubah arah gelombang tanpa merubah energinya. Ada dua jenis hamburan *koheren* ini yaitu hamburan *Thomson* dan hamburan *Rayleigh.*

Hamburan *Thomson* terjadi jika interaksi foton hanya melibatkan satu elektron pada suatu atom, sedangkan hamburan *Rayleigh* terjadi jika interaksi foton melibatkan seluruh elektron pada suatu atom. Hamburan *koheren* ini sedikit sekali pengaruhnya dalam penurunan kualitas radiografi, yaitu hanya sebatas dalam pada kenaikan tingkat kekabutan pada film. Hamburan *koheren* ini jumlahnya hanya 5 % dari seluruh interaksi yang terjadi pada materi secara umum

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)

(Curry dkk, 1984). Gambar 2.1 menunjukkan terjadinya hamburan *koheren Rayleight.*



Gambar 2.1 Hamburan *koheren Rayleigh* (Curry dkk,1984)

2.3.2 Hamburan *Compton*

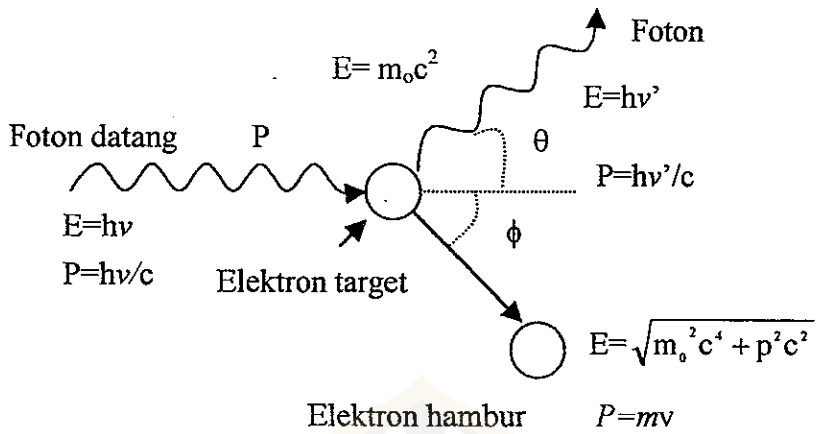
Efek *compton* terjadi pada elektron-elektron bebas atau terikat secara lemah pada lapisan kulit yang terluar pada penyinaran dengan energi radiasi yang lebih tinggi yaitu berkisar antara 200 – 1.000 KeV (Gabriel, 1996). Apabila foton sinar-X menumbuk elektron yang semula dalam keadaan diam dan kemudian mengalami hamburan dari arah semula, maka elektronnya menerima impuls dan mulai bergerak. Sebagian energi radiasi diberikan kepada elektron sehingga elektronnya keluar dari atom, sedangkan sisa energinya dilepaskan kembali dalam bentuk radiasi elektromagnetik (Akhadi, 2000).

Dalam tumbukan ini foton dapat dipandang sebagai partikel yang kehilangan sejumlah energi yang besarnya sama dengan energi kinetik Ek yang diterima oleh elektron. Jika foton semula mempunyai frekuensi v, maka foton hambur mempunyai frekuensi yang lebih rendah v', sehingga kehilangan energi foton sama dengan energi yang diterima elektron.

$$hv - hv' = E_k \ , \qquad (2.2)$$

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)

dengan h adalah konstanta Plank (6,63 x 10^{-34} J.s). Arah hamburan elektron membentuk sudut θ terhadap arah foton datang (Beiser, 1995), seperti yang dilukiskan dalam gambar 2.2 sebagai berikut :



Gambar 2.2 Efek Compton (Beiser,1995)

Dalam hubungan Compton, terjadi perubahan panjang gelombang foton datang dan foton terhambur. Foton terhambur mempunyai panjang gelombang lebih panjang daripada foton datang. Hubungan ini dinyatakan dalam :

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c}(1 - \cos\theta) \qquad (2.3)$$

dengan λ' adalah panjang gelombang foton terhambur, λ adalah panjang gelombang foton datang, m_o adalah massa diam elektron, c adalah kecepatan cahaya, dan θ adalah sudut hamburan.

Kuantitas h/m_oc disebut panjang gelombang *Compton* dari partikel penghambur yang untuk elektron besarnya adalah 0,02426 Å (Beiser, 1995).

Sehingga rumus (2.3) dapat dituliskan kembali sebagai berikut :

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)

$$\lambda' - \lambda = 0{,}02426\ (1 - \cos\theta) \qquad (2.4)$$

Dari perumusan tersebut terlihat bahwa perubahan panjang gelombang *Compton* tergantung pada energi foton datang dan sudut hambur foton (Akhadi, 2000).

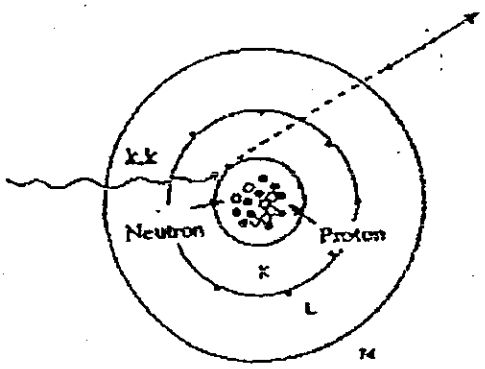
2.3.3 Efek fotolistrik

Efek fotolistrik merupakan suatu interaksi sebuah foton dan elektron yang terikat dalam atom dengan energi ikat sama dengan atau lebih kecil dari energi foton (Camber, 1983).

Sebuah elektron yang terikat dalam atom dengan energi W jika dikenai foton dengan energi sama dengan atau lebih besar dari W, maka elektron tersebut akan terpental dari orbitnya dan kelebihan energi yang diserap berubah menjadi energi kinetiknya. Energi kinetik maksimum *(K_{max})* yang dimiliki elektron yang terpental tersebut adalah :

$$K_{max} = h\nu - W \qquad (2.5)$$

dengan K_{max} adalah energi maksimum elekron terpental, $h\nu$ adalah energi foton, dan W adalah energi ikat elektron dalam atom (Krane, 1992). Gambar 2.3 menunjukkan terjadinya efek fotolistrik.



Gambar 2.3 Efek fotolistrik (Akhadi,M, 2000)

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)

2.4 Efek radiasi hambur terhadap radiograf

Radiasi hambur dapat dikatakan sebagai radiasi sisa dengan ciri-ciri arahnya telah berubah dari radiasi primer, energinya lebih kecil atau sama dengan energi foton semula.

Dalam pemeriksaan dengan sinar-X yang tenaganya berkisar antara 30 – 150 kV, radiasi hambur yang probabilitasnya besar adalah absorpsi fotolistrik dan hamburan *compton*, sedangkan untuk hamburan koheren diabaikan karena tenaganya terlalu kecil sehingga kemungkinan besar tidak akan sampai ke film. Sedangkan produksi pasangan akan terjadi bila energinya minimal 1,02 MeV dan hanya terdapat pada radioterapi.

Faktor yang berpengaruh besar terhadap terjadinya radiasi hambur adalah tegangan tabung, ketebalan obyek, dan nomor atom bahan. Semakin tinggi tegangan tabung maka probabilitas terjadinya radiasi hambur semakin besar, begitu juga pada obyek dan nomor atom bahan, semakin tebal obyek dan semakin tinggi nomor atom bahan yang dilalui sinar-X maka radiasi hamburnya pun semakin besar. Radiasi hambur yang sampai pada film yang terbentuk setelah melewati bahan akan berpengaruh terhadap kontras radiograf.

2.5 Pengendalian radiasi hambur

Untuk mengendalikan radiasi hambur maka dapat dilakukan penurunan produksi radiasi hambur, pengurangan radiasi hambur yang sampai ke film, serta pengurangan radiasi hambur terhadap 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)

2.5.1 Menurunkan produksi radiasi hambur

a. Mengurangi ketebalan obyek

Semakin besar volume jaringan yang disinari, semakin bertambah radiasi hambur yang dihasilkan. Pengurangan volume jaringan tubuh ini dilakukan dengan kompresi pada jaringan tubuh yang tebal agar hamburan dapat ditekan sekecil mungkin, tetapi cara ini dapat menimbulkan ketidaknyamanan pasien (Bushong, 1988).

b. Pemilihan tegangan tabung yang optimum

Semakin tinggi tegangan tabung yang digunakan maka semakin besar energi foton yang dihasilkan. Tetapi disisi lain jumlah radiasi yang dihamburkan akan semakin besar, hal ini disebabkan karena tidak semua radiasi foton diteruskan atau diserap oleh jaringan obyek tetapi ada sebagian yang dihamburkan ke segala arah dengan energi dan daya tembus yang semakin berkurang.

c. Menurunkan luas lapangan penyinaran

Semakin luas ukuran berkas sinar-X yang dipergunakan, semakin besar jumlah radiasi foton yang dihamburkan. Hal ini dikarenakan semakin banyaknya radiasi primer yang dipancarkan sesuai dengan luas lapangan yang dipergunakan. Luas lapangan yang semakin kecil akan memperkecil jumlah radiasi hambur yang dihasilkan, begitu pula sebaliknya. Cara yang paling efektif untuk menekan radiasi hambur akibat ukuran luas lapangan ini adalah dengan mengatur kolimator atau penggunaan *conus* sesuai dengan luas lapangan yang dikehendaki. Dengan pengaturan kolimator atau penggunaan *conus* yang sesuai diharapkan dapat

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)

menurunkan radiasi hambur dan meningkatkan nilai kontras radiograf (Meredith, 1977).

2.5.2 Mengurangi radiasi hambur yang sampai ke film

Meskipun tegangan tabung optimum telah dipilih untuk pemeriksaan tetapi tetap akan terjadi hamburan sehingga untuk mengurangi agar tidak terlalu banyak radiasi hambur yang sampai ke film dilakukan cara yaitu:

a. Teknik celah udara (*air gap)*

Teknik ini dilakukan dengan memperpanjang jarak antara obyek dengan film. Radiasi hambur yang masih terbentuk dan berenergi relatif rendah akan berinteraksi dengan atom-atom udara dan tidak sampai ke film, dan arah radiasi hambur yang tidak sesuai lagi dengan arah radiasi primer banyak yang tidak mengenai film. Akan tetapi dengan adanya jarak antara obyek dan film akan menimbulkan magnifikasi dan penurunan ketajaman.

b. Penggunaan filter

Penggunaan filter yang dimaksud adalah penggunaan filter yang diletakkan antara obyek dan film, bukan pada tabung akan tetapi filter pada bagian atas dinding kaset.

c. Penggunaan *grid*

Grid merupakan bangunan yang terdiri dari lempengan tipis bahan aluminium yang bersifat menyerap atau menahan radiasi hambur serta diantara lempengan bahan tersebut terdapat bahan yang tembus radiasi 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)

2.5.3 Mengurangi radiasi hambur terhadap film

Hal ini dapat dilakukan dengan pemakaian lembaran penguat (*intensifying screen*) yang mampu menguatkan radiasi primer sehingga akan lebih banyak radiasi primer yang sampai ke film dibanding dengan radiasi hambur (Meredith, 1977).

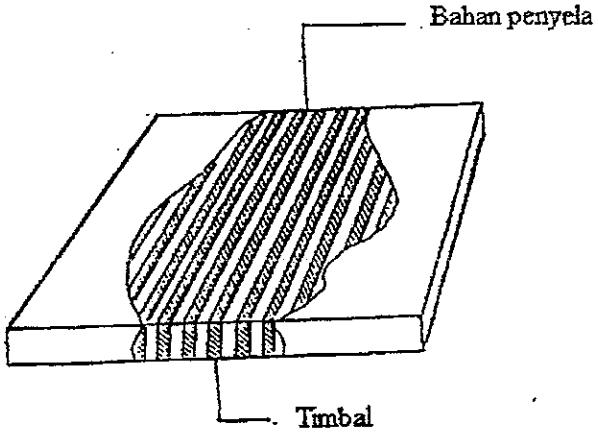
2.6 Pengertian *Grid*

Pada tahun 1913, Dr.Gustav Bucky seorang Radiolog berkebangsaan Jerman memperkenalkan *grid* (Hoxter, 1973). *Grid* merupakan suatu alat pemeriksaan radiografi yang terdiri dari susunan timbal (Pb), yang jarak satu timbal ke timbal lainnya dipisahkan oleh bahan penyela (*interspace).* Adapun *interspace* tersebut terbuat dari bahan aluminium. Fungsi dari *interspace* ini adalah sebagai imobilisasi agar kedudukan *lead strip* atau timbal (Pb) tidak berubah (Meredith,1977).

Adapun radiasi primer yang lewat melalui *interspace* akan diteruskan sampai ke film membentuk bayangan laten pada film, sedangkan radiasi hamburnya akan diserap oleh *lead strip* timbal (Pb), tetapi ada juga sinar guna yang ditahan oleh *lead strip* timbal (Pb) hal ini akan menurunkan nilai kontras pada gambaran radiografi serta akan menimbulkan *grid line* yaitu gambaran jalur-jalur timbal (Pb) pada hasil gambaran radiografi.

Penampang *grid* bila tutup atasnya dibuka akan tampak *lead strip* timbal (Pb) yang halus dan juga *interspace* yang sejajar satu sama lain, seperti tampak pada gambar 2.4 di bawah ini.

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 2.4 *Grid* bila penutupnya dibuka (Meredith,1977)

2.6.1 Fungsi *Grid*

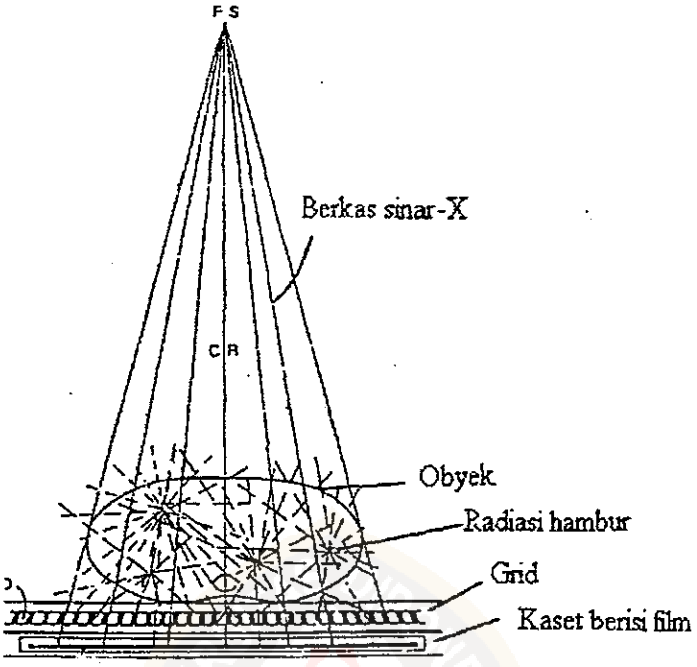
Grid dalam penggunaannya mempunyai dua fungsi utama yaitu :

1. Menyerap atau mengurangi radiasi hambur sehingga tidak sampai ke film radiografi.
2. Meneruskan radiasi primer melalui *interspace material grid*, walaupun ada yang terserap oleh material timbal yang menyusun *grid*.

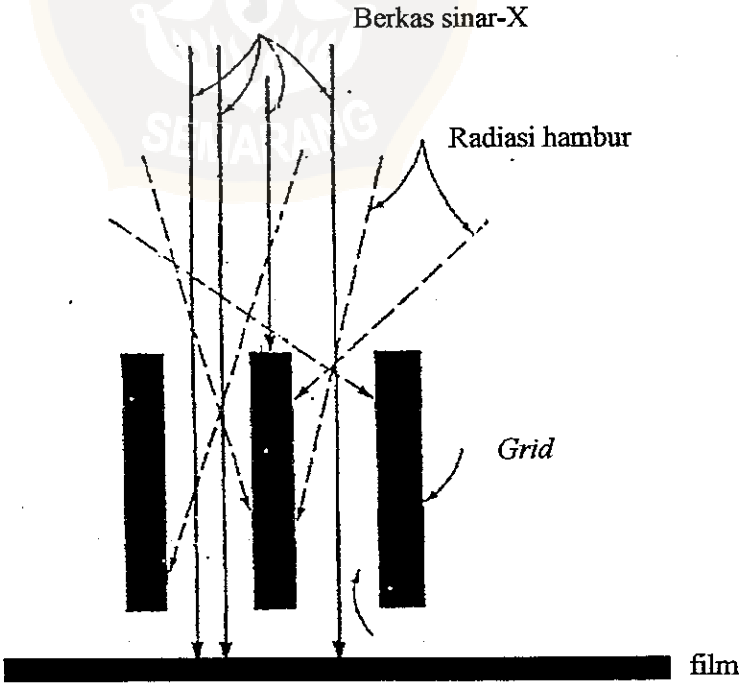
2.6.2 Prinsip Kerja *Grid*

Grid waktu penggunaannya diletakkan diantara obyek dan film, dimana sinar-X setelah menembus obyek sinar gunanya diteruskan melalui *interspace* sampai ke film dan sinar guna itulah yang membentuk suatu bayangan pada film radiografi sedangkan radiasi hambur yang bergerak miring akan dihentikan oleh *lead strip* timbal (Pb). Gambar 2.5 menunjukkan prinsip kerja *grid* sedangkan gambar 2.6 menunjukkan radiasi hambur yang sampai 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 2.5 Prinsip kerja *grid* (Petterson, 1998)



Gambar 2.6 Radiasi hambur yang sampai ke film (Carrol, 1985)

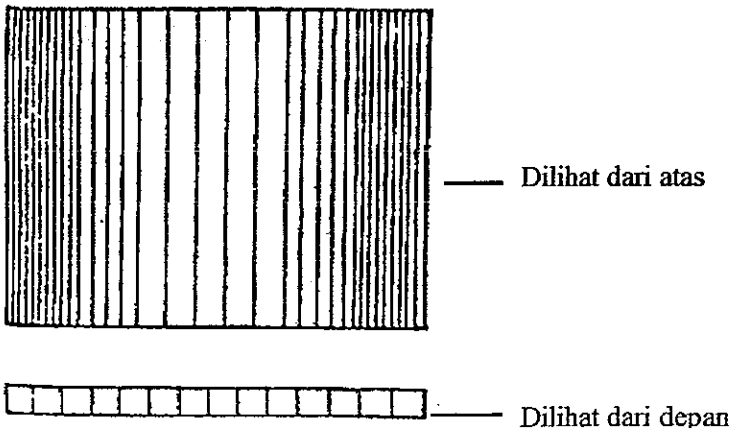
This document is Undip Institutional Repository Collection. The author(s) or copyright owner(s) agree that UNDIP-IR may, without changing the content, translate the submission to any medium or format for the purpose of preservation. The author(s) or copyright owner(s) also agree that UNDIP-IR may keep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

Radiasi hambur yang dihasilkan dari bagian obyek yang ditembus bergerak kearah film tanpa dihalangi oleh *grid*, jadi tidak semua radiasi hambur diserap oleh timbal (Pb). Jika radiasi hambur tersebut sampai ke film akan menyebabkan nilai kontras pada gambaran radiografi yang dihasilkan tidak optimal, oleh sebab itu mengurangi radiasi hambur sangat berguna karena dapat meningkatkan nilai kontras pada gambaran radiografi yang dihasilkan.

2.6.3 Jenis – jenis *grid*

a. *Grid* linear *(Linear Grid)*

Grid linear adalah *grid* yang mempunyai susunan lempengan timbal (*lead strip*) dengan bahan penyela (*interspace*) sejajar satu sama lainnya. *Grid* ini adalah jenis *grid* yang paling mudah dalam pembuatannya. Radiasi primer yang sejajar dengan celah antar lempengan timbal akan diteruskan, sedangkan radiasi primer yang tidak sejajar akan diserap oleh lempengan timbal, peristiwa ini disebut *cut off*. Akibat adanya *cut off* mengakibatkan timbulnya pengaburan sehingga informasi dari gambaran film menjadi kurang jelas (Bushong,1988). Gambar 2.7 menunjukkan penampang *grid* linear.



Gambar 2.7 Penampang *grid* linear (Bloom, 1945)

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)

Pada *grid* linear ini densitas film yang dihasilkan tidak sama dari sisi tepi film. Hal ini dikarenakan adanya *cut off*. Nilai densitas tertinggi di bagian tengah, sedangkan terendah berada di tepi film (Curry dkk, 1984).

b. *Grid* Fokus *(Focussed Grid)*

Grid fokus adalah *grid* yang mempunyai susunan lempengan dari tepi ke tengah seolah-olah terpusat menuju ke satu titik atau fokus, sehingga sinar dengan sudut kemiringan tertentu masih melewati *grid* melalui lempengan timbal. Dengan menggunakan *grid* fokus dapat menghindari *cut off* pada bagian tertentu, akan tetapi peletakan *grid* fokus harus tepat dan peletakannya jangan sampai terbalik karena akan terjadi *cut off*. (Bushong, 1988). Gambar 2.8 menunjukkan penampang *grid* fokus.

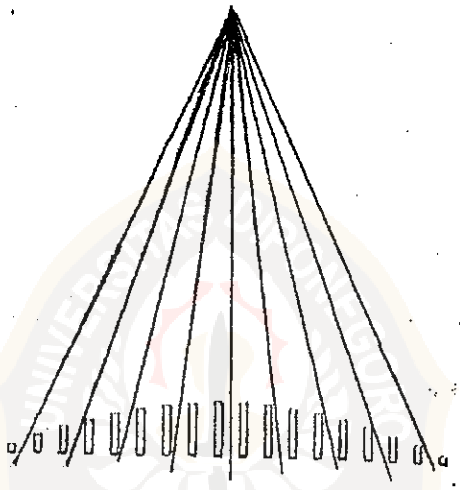
Gambar 2.8 *Grid* Jenis Fokus (Petterson, 1998)

c. *Grid* fokus semu *(Pseudo Focussed Grid)*

Pada dasarnya konstruksi *grid* fokus semu ini sama dengan *grid* linear, akan tetapi lempengan logam tipis timbal makin ke arah samping ketinggiannya (h) semakin diperkecil. Susunan seperti ini berfungsi untuk mengurangi adanya

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)

cut off. Pada *grid* jenis ini tidak terjadi pengurangan radiasi primer ke arah tepi oleh karena radiasi primer yang bergerak miring masih sampai ke film. Agar dalam penggunannya *grid* tidak mengalami kemiringan maka pada lempengan logam timbal yang ketinggiannya (h) diperkecil ditambah dengan bahan-bahan yang tembus cahaya sehingga permukaannya tetap rata. Gambar 2.9 menunjukkan penampang *grid* fokus semu.

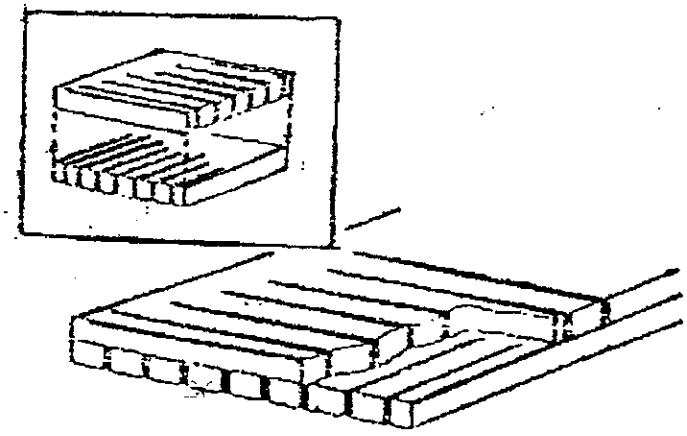


Gambar 2.9 *Grid* jenis fokus semu (Meredith dkk, 1977)

d. *Grid* silang *(Crossed Grid)*

Grid silang adalah jenis *grid* linier yang disatukan saling menyilang tegak lurus satu sama lain, seolah-olah terbentuk dari dua buah *grid* linier yang ditumpuk menyilang. *Grid* ini memiliki efektifitas yang tinggi dalam menyerap radiasi hambur. Dalam penggunaannya *grid* ini harus tepat pada sumbu pusat berkas sinar (tegak lurus) tidak boleh mengalami penyudutan sinar sehingga harus lebih teliti. Gambar 2.10 menunjukkan penampang *grid* jenis silang.

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 2.10 Grid jenis silang (Bushong, 1988)

2.7 Jenis-jenis *grid* ditinjau dari pergerakannya

a. *Grid* diam *(stasionary grid)*

Disebut juga "*lysholm*", merupakan *grid* yang diletakkan di atas kaset pada saat dilakukan penyinaran. Penggunaannya tetap diam pada saat dilakukan penyinaran. *Grid* ini tersedia dalam berbagai ukuran, ringan dan mudah dibawa sehingga lebih praktis dalam penggunaannya serta dapat dipindahkan sesuai dengan kebutuhan, akan tetapi radiograf yang dihasilkan dengan pemakaian *grid* diam akan terdapat garis-garis pada film *(grid line)* hal ini diakibatkan karena adanya radiasi primer yang tertahan oleh lempengan timbal tipis dalam *grid.*

b. *Grid* bergerak *(moving grid)*

Pada tahun 1920 Dr.Hollis E.Potter mengemukakan gagasan yang sederhana untuk menghilangkan atau mengaburkan *grid line*, yaitu dengan menggerakkan *grid* saat penyinaran berlangsung, maka disebut dengan *grid* bergerak *(potter bucky diaphragma)*. Penggunaan *grid* ini biasanya langsung pada

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)

meja pemeriksaan dan menggunakan *grid* jenis fokus. Lamanya pergerakan *grid* ini biasanya sesuai dengan lamanya waktu penyinaran. Pergerakan sebuah *grid* yang baik adalah apabila dengan pergerakan yang pendek cukup untuk mengaburkan garis timbal pada *grid* atau dapat meniadakan *grid line* tersebut. *Grid* bergerak ini biasanya disatukan dengan meja pemeriksaan dan pergerakannya secara mekanik. Adapun kelemahannya secara ekonomis harganya relatif mahal dan secara teknis adalah jika *grid* tidak bergerak maka garis-garis *grid* akan semakin kabur, juga tidak praktis untuk dibawa kemana-mana. Disamping itu akan terjadi magnifikasi karena adanya jarak antara obyek dengan film (Bushong, 1988).

2.8 Karakteristik *Grid*

Sejumlah faktor harus diperhatikan dalam memilih *grid*. Secara umum pemilihan *grid* didasarkan untuk menaikkan nilai kontras radiograf, sehingga gambar radiograf dapat terbaca oleh dokter untuk membantu diagnosa penyakit.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam memilih *grid* merupakan karakteristik *grid* itu sendiri antara lain rasio *grid*, kadar timbal, bahan penyela, dan frekuensi *grid*.

2.8.1 Rasio *grid*

Rasio *grid* adalah perbandingan antara tinggi lempengan timbal penyusun *grid* dengan jarak antara bahan penyela. Penulisan rasio *grid* dengan dua nomor, yaitu nomor pertama merupakan rasio yang sebenarnya, sedangkan nomor kedua menandakan faktor pembanding yang selalu bernilai satu. Rasio *grid* sangat

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)

menentukan kemampuan dalam segi penyerapan radiasi hambur. Peningkatan nilai rasio *grid* yang semakin tinggi maka *grid* tersebut akan menyerap radisi yang jumlahnya relatif banyak sehingga membutuhkan faktor eksposi yang lebih tinggi. *Grid* yang biasa digunakan mempuyai nilai rasio *grid* antara 5 sampai 18, sedangkan jumlah radiasi hambur yang terbentuk tergantung dari energi foton yang digunakan dan ketebalan dari obyek.

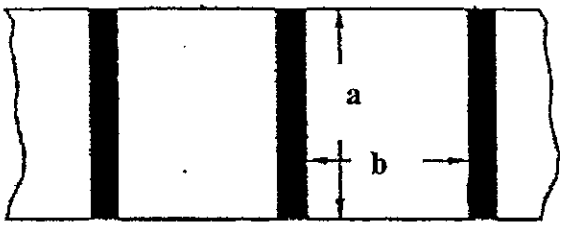
Rasio *grid* dituliskan sebagai berikut:

$$r = \frac{a}{b}, \qquad (2.6)$$

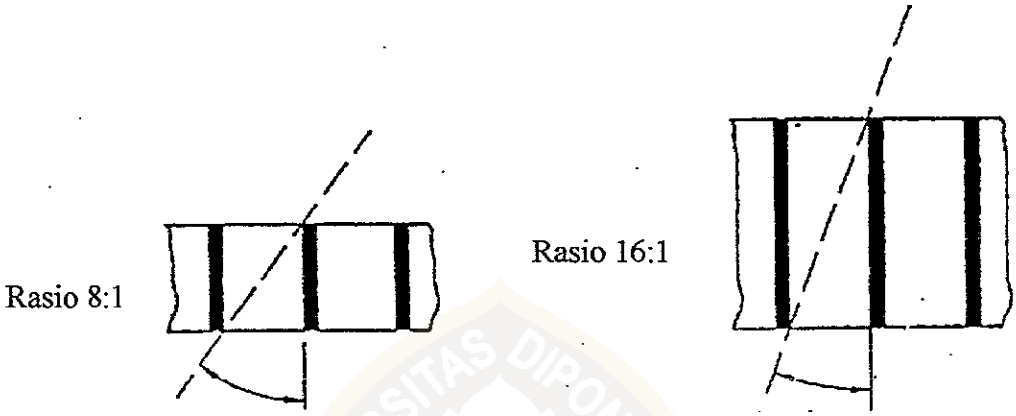
dengan r adalah rasio *grid*, a adalah tinggi lempengan bahan penyela (timbal), dan b adalah jarak antara lempengan timbal atau tebal lempengan aluminium penyusun *grid*.

Semakin tinggi rasio *grid*, semakin tinggi paparan radiasi yang harus diberikan (Bushong, 1988). Hal ini disebabkan pada *grid* dengan rasio tinggi, jumlah radiasi primer dan radiasi hambur yang diserap meningkat sesuai dengan peningkatan rasionya. Untuk mengimbanginya dibutuhkan dosis paparan yang lebih besar. Di lain pihak nilai kontras radiograf yang dihasilkan *grid* dengan rasio tinggi akan lebih baik dari nilai kontras yang dihasilkan oleh *grid* dengan rasio lebih rendah (Meredith, 1977). Gambar 2.11 menunjukkan rasio *grid* sedangkan gambar 2.12 menunjukkan perbandingan antara *grid* yang berbeda rasio.

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 2.11 Rasio *Grid* (Carlton, 1992)



Gambar 2.12 Perbandingan antara *grid* yang berbeda rasio (Swain, 1972)

2.8.2 Isian timbal

Isian timbal diukur persatuan luas (gram/cm^2) adalah faktor yang menentukan untuk efisiensi *grid*. Isian timbal menentukan berat ringannya suatu *grid*. *Grid* "berat" yang mempunyai banyak timbal per cm^2 lebih efisien daripada *grid* "ringan". Isian timbal yang biasa dipakai dari 0,2 gram/cm^2 sampai dengan 0,9 gram/cm^2. *Grid* dengan kadar timbal lebih banyak akan menghilangkan lebih banyak radiasi hambur dan meneruskan lebih banyak radiasi primer (Meredith, 1977).

2.8.3 Bahan penyela

Bahan penyela berguna untuk memfiksasi bahan *grid* atau lempengan timbal tipis yang terpisah agar dalam keadaan tetap. Setiap lempengan timbal

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)

pada *grid* dipisahkan oleh bahan penyela yang satu sama lain letaknya sejajar. Sebagian besar bahan penyela *grid* terbuat dari aluminium atau fiber plastik. Aluminium mempunyai nomor atom yang tinggi bila dibandingkan dengan fiber plastik sehingga lebih selektif dalam menyaring radiasi hambur sinar-X yang tidak terserap oleh bahan *grid.* Keuntungan dengan menggunakan aluminium yaitu dapat mengaburkan *grid line* pada hasil radiograf. Akan tetapi dengan menggunakan aluminium penyerapan poton primer semakin besar apalagi pada penggunaan kV rendah, dan mengakibatkan peningkatan dosis radiasi pasien meningkat sekitar 20 %.

2.8.4 Frekuensi *grid*

Frekuensi *grid* merupakan jumlah dari lempengan timbal tipis per inchi atau per centimeter. *Grid* dengan frekuensi tinggi menunjukkan penurunan terjadinya *grid line* pada film sinar-X dibandingkan dengan *grid* frekuensi rendah. Pada umumnya, semakin tinggi frekuensi *grid* semakin tinggi pula faktor eksposi yang dibutuhkan dan semakin besar pula dosis yang diterima pasien. Sebagian besar *grid* mempunyai frekuensi pada rentang 60 sampai dengan 110 garis perinchi atau 25 - 45 garis percentimeter. Perhitungan frekuensi *grid* akan lebih mudah bila ketebalan bahan *grid* (T) dan ketebalan bahan penyela (D) sudah diketahui. Frekuensi *grid* dihitung dengan membagi jumlah tiap 1 cm yang dinyatakan dalam μm dengan jumlah ketebalan dari bahan *grid* dan bahan penyela (Bushong,1988). Untuk mendapatkan nilai frekuensi *grid* dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

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)

$$Fg = \frac{10.000\ \mu m / cm}{(T + D)\ \mu m / pasang\ garis} \tag{2.7}$$

dengan fg adalah frekuensi *grid*, T adalah tebal lempengan timbal, dan D adalah tebal bahan penyela *(interspace)* (Bushong, 1988).

2.8.5 Material *grid*

Lempengan tipis *grid* harus tipis dan mampu menyerap radiasi hambur seoptimal mungkin. Ada beberapa bahan yang dapat digunakan sebagai sebagai bahan *grid* atau *grid* material. Timbal mungkin bukanlah yang terbaik jika berinteraksi dengan sinar-X, tetapi sering digunakan sebagai bahan *grid* karena mudah dibentuk dan harganya yang relatif murah. Dengan nomor atom dan kerapatan yang tinggi menunjang untuk memilih bahan dari timbal guna pembuatan *grid*. Tungsten, platina, emas dan uranium juga bisa digunakan sebagai bahan *grid*, tetapi semuanya tidak mempunyai karakteristik yang layak seperti timbal (Bushong, 1988).

2.8.6 Tebal garis timbal

Pemakaian garis timbal yang tebal akan menghasilkan garis-garis *grid* yang tebal dan penyerapan radiasi primer yang banyak. Tebal garis timbal yang biasa dipakai adalah 0,005 – 0,008 cm, karena dianggap cukup tebal untuk mengurangi radiasi hambur dan cukup tipis untuk tidak menyerap radiasi primer. (Meredith, 1977).

2.9 Konsekuensi Penggunaan *Grid*

Dalam penggunaannya, untuk mencapai densitas yang konstan maka kita harus menaikkan energi foton, akibatnya dosis radiasi yang diterima pasien pun

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)

akan bertambah tinggi. Dan kita harus mengkaji beberapa besar penambahan atau kenaikan energi poton untuk mencapai densitas yang sama, hal ini disebut dengan faktor *grid.*

Sedangkan perubahan nilai eksposi karena adanya perubahan jarak antara fokus dengan film dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Ne_1 = \frac{d_2}{d_1} Ne_2, \qquad (2.8)$$

dengan Ne_1 adalah nilai eksposi baru, d_2 adalah jarak baru yang digunakan, d_1 merupakan jarak sebelumnya dan Ne_2 adalah nilai eksposi sebelumnya (Carrol, 1985).

Tabel 2.1 Perubahan faktor eksposi (mAs) berdasarkan rasio *grid* untuk faktor densitas (Carrol, 1985)

Rasio *grid*	Faktor perubahan mAs	Faktor densitas
Tanpa *Grid*	1	1
Rasio *Grid* 5:1 atau 6:1	1,5	2/3
Rasio *Grid* 8:1	2,5	1/3
Rasio *Grid* 10:1	3	1/3
Rasio *Grid* 12:1	3,5	1/4
Rasio *Grid* 15:1atau 16:1	4,5	1/5

2.10 Mekanisme Kerja *Grid*

Grid digunakan untuk memperbaiki kontras dengan menyerap radiasi hambur sebelum radiasi tersebut mencapai film. *Grid* yang ideal akan menyerap seluruh radiasi hambur tanpa menyerap radiasi primer, tetapi bagaimanapun juga

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)

tidak ada *grid* yang ideal. Untuk itu ada beberapa cara untuk mengetahui mekanisme kerja *grid* yaitu transmisi primer, faktor *bucky*, faktor perbaikan kontras dan selektifitas *grid*.

2.10.1 Transmisi primer

Transmisi primer adalah pengukuran persentase radiasi primer yang melewati *grid*. Idealnya sebuah *grid* akan melewatkan radiasi primer 100 %. Untuk mengukur transmisi primer dilakukan dengan dua pengukuran, yang pertama dilakukan dengan meletakkan detektor setelah *grid* untuk mengetahui intensitas radiasi yang melewati *grid*, dan pengukuran kedua dilakukan dengan detektor diletakkan diatas *grid*, untuk mengetahui intensitas yang mengenai *grid*. Rasio sederhana dari intensitas dengan *grid* terhadap intensitas tanpa *grid* memberi nilai transmisi, yang kemudian dikalikan 100 untuk memberikan porsentase.

$$\mathrm{Tp} = \frac{Ip}{I'p} x\, 100\%, \qquad (2.9)$$

dengan Tp adalah transmisi primer dalam %, *Ip* adalah intensitas dengan *grid*, *I'p* adalah intensitas tanpa *grid* (Curry dkk, 1984).

2.10.2 Faktor *Bucky*

Faktor *Bucky* adalah perbandingan dari radiasi yang langsung mengenai *grid* dengan radiasi yang ditransmisikan melewati *grid*. Faktor *bucky* menyatakan besar faktor eksposi yang harus ditingkatkan saat beralih dari teknik tanpa *grid* dan dengan menggunakan *grid*. Faktor ini yang menunjukkan besar peningakatan dosis radiasi yang diterima oleh pasien. Faktor *bucky* mirip dengan transmisi

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)

primer kecuali untuk satu hal yaitu transmisi primer hanya menunjukkan jumlah radiasi primer yang terserap oleh *grid,* sedangkan faktor *bucky* disamping menunjukkan penyerapan radiasi primer juga penyerapan radiasi sekunder, hal ini dilakukan dengan obyek tebal dan lapangan radiasi yang luas. Faktor *bucky* dihitung dengan rumus :

$$B = \frac{I_r}{T_r}, \qquad (2.10)$$

dengan B adalah faktor bucky dan I_r merupakan radiasi sebelum *grid (Incident Radiation*) serta T_r merupakan radiasi yang ditransmisikan (Curry dkk, 1984).

2.10.3 Faktor Perbaikan Kontras (K)

Faktor perbaikan kontras adalah perbandingan antara kontras yang menggunakan *grid* dengan kontras tanpa *grid.*

$$K = \frac{C}{Co}, \qquad (2.11)$$

dengan K adalah faktor perbaikan kontras, C adalah kontras dengan *grid* dan Co adalah kontras tanpa *grid* (Curry dkk, 1984).

2.10.4 Selektifitas *Grid*

Grid idealnya disusun sedemikian rupa sehingga semua radiasi primer dapat diteruskan dan semua radiasi hambur dapat diserap. Perbandingan antara radiasi primer yang diteruskan dan radiasi hambur yang diteruskan disebut selektifitas *grid* yang disimbolkan dengan *Greek sigma* (Σ).

$$\Sigma = \frac{T_p}{T_s}, \qquad (2.12)$$

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)

dengan Σ adalah selektifitas *grid,* Tp adalah radiasi primer yang diteruskan dan Ts merupakan radiasi hambur yang diteruskan (Bushong, 1988).

2.11 Kualitas Radiograf

Kualitas radiograf merupakan kemampuan radiograf dalam memberikan informasi yang jelas mengenai obyek yang diperiksa (Curry dkk, 1984), adapun aspek-aspek dalam kualitas radiograf adalah :

2.11.1 Densitas

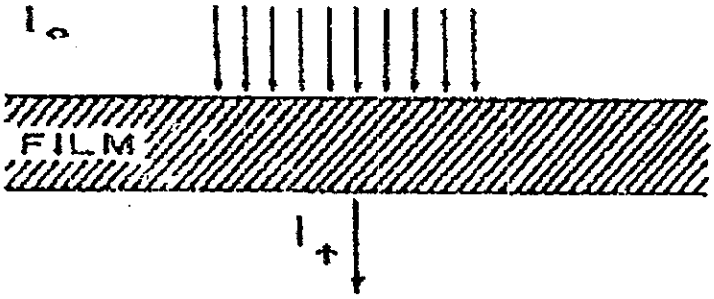
Densitas merupakan derajat kehitaman dari suatu radiograf. Penghitaman emulsi film disebabkan oleh tereduksinya kristal-kristal perak bromida yang terkena sinar baik sinar-X maupun sinar tampak hasil konversi *intensifying screen* di dalam pembangkitan. Densitas yang diharapkan dari gambar adalah densitas yang nilainya tinggi dengan tingkat kekabutan *(fog level)* serendah mungkin, keadaan ini disebut densitas optimal. Tingkat kekabutan dasar dari film adalah 0,05 dan tingkat kekabutan akibat pengembangan butir-butir perak halida penyusun film kurang lebih 0,07 (Bushong, 1988). Sedangkan nilai densitas yang dapat dilihat langsung oleh mata manusia berkisar antara 0,25 sampai dengan 2,0 yang dikenal dengan rentang densitas guna (Meredith, 1977).

Densitas fotografi didefenisikan sebagai berikut :

$$D = \log \frac{I_0}{I_1}, \qquad (2.13)$$

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)

dengan D adalah densitas, I_0 adalah sinar yang menuju ke film, sedangkan I_1merupakan sinar yang diteruskan oleh film (Bushong, 1988). Gambar 2.13 menunjukkan sinar yang diteruskan oleh film.



Gambar 2.13 Densitas fotografi (Curry dkk, 1984)

2.11.2 Kontras

Kontras adalah perbedaan derajat kehitaman antara struktur anatomi obyek yang berbatasan atau merupakan variasi derajat kehitaman yang terdapat pada radiograf (Bushong, 1988). Perbedaan derajat kehitaman dirumuskan dengan :

$$C = D_2 - D_1, \qquad (2.14)$$

dengan C adalah kontras, D_2 adalah densitas pada daerah dua dan D_1 adalah densitas pada daerah satu. Dalam radiograf kontras berbentuk perbedaan intensitas cahaya atau kehitaman (Sprawl, 1987). Fungsi dari kontras dalam radiograf adalah untuk membuat detail anatomi menjadi jelas. Oleh karena itu kontras adalah faktor yang sangat penting dalm mengevaluasi kualitas radiograf (Bushong 1988). Kontras radiograf dibedakan menjadi dua yaitu kontras obyektif dan kontras subyektif.

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)

Kontras obyektif yaitu kontras radiograf yang didapatkan melalui pengukuran dengan alat densitometer dimana kontras ini dipengaruhi oleh kontras radiasi dan kontras film. Kontras radiasi yaitu perbedaan intensitas sinar-X yang ditransmisikan satu bagian tertentu dibandingkan dengan bagian yang lainnya (Curry dkk, 1984), sedangkan kontras film merupakan gradien rata-rata dari kurva karakteristik film.

Kontras subyektif yaitu kontras yang dipengaruhi oleh penglihatan masing-masing individu, hal tersebut dipengaruhi oleh pencahayaan ruangan ataupun keseragaman warna kotak pencahayaan.

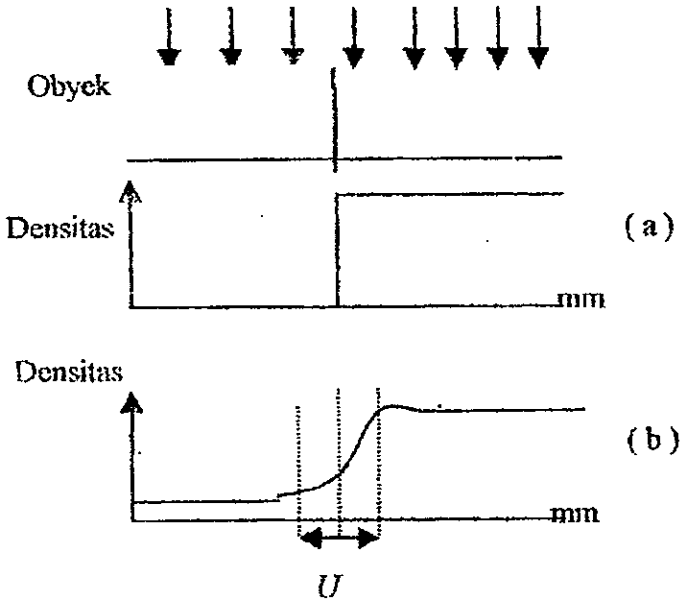
2.11.3 Distorsi

Distorsi radiograf adalah penyimpangan radiograf yang berupa penyimpangan bentuk dan ukuran obyek dari obyek yang sebenarnya. Distorsi radiograf ini dipengaruhi oleh posisi tabung sinar-X, posisi obyek yang tidak simetris, dan letak film yang tidak tegak lurus dengan arah jatuhnya sinar-X.

2.11.4 Ketajaman

Ketajaman radiograf adalah lebar daerah batas antara dua daerah yang bersebelahan dalam suatu radiograf diperlihatkan dengan tegas dan jelas (Meredith, 1977). Ketajaman tergantung pada kontras radiograf, jika kontras radiograf tinggi maka ketidaktajaman juga akan tinggi, begitu juga sebaliknya. Gambar 2.14 menunjukkan perbedaan ketajaman dari suatu radiograf.

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.2.14 Illustrasi ketajaman radiograf (Meredith, 1977)

pada gambar tersebut menunjukkan bahwa (a) merupakan radiograf dengan ketajaman tinggi dan (b) menunjukkan radiograf dengan ketajaman rendah, sedangkan U adalah selisih jarak kemiringan disebut dengan ketidaktajaman *(Unsharpness)*.

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)