

BAB II

DASAR TEORI

2.1. Deskripsi Sinar-X

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang antara 0,1 Å sampai 100 Å, sehingga sinar-X mempunyai daya tembus sangat besar (Beiser,1990). Sinar-X dapat terjadi jika suatu elektron dipercepat melalui suatu beda potensial V dalam tabung sinar-X kemudian membentur sasaran. Ketika membentur sasaran tersebut, elektron diperlambat sehingga terjadi bremsstrahlung yang meradiasikan sinar-X dengan energi :

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

Dengan E adalah energi, h adalah konstanta Planck, c adalah laju cahaya, dan λ adalah panjang gelombang.

Apabila filamen diberi daya listrik hingga mencapai panas lebih dari 2000⁰ celcius maka filamen akan berpijar. Elektron akan terlepas dari atom-atom filamen sehingga membentuk awan elektron. Produksi elektron berkecepatan tinggi akan terjadi bila antara anoda dan katoda diberikan beda potensial yang tinggi sehingga elektron dalam filamen bergerak dipercepat menuju anoda dengan kecepatan sangat tinggi. Elektron yang dipercepat ini akan dipusatkan menuju bidang permukaan anoda dan menumbuk target

sehingga energi gerak elektron berubah menjadi sinar-X dan panas dengan perbandingan 1 % : 99 % (Hoxter,1973).

2.2. Sifat-sifat Sinar-X

Bidang radiodiagnostik secara khusus memanfaatkan sinar-X untuk mendiagnosa suatu penyakit. Pemanfaatan ini didasarkan atas sifat-sifat yang dimiliki sinar-X yaitu dapat menembus bahan, mengalami atenuasi (perlemahan) setelah menembus bahan, menimbulkan radiasi sekunder pada semua bahan yang ditembusnya dan menghitamkan emulsi film (Sjahriar,1998).

Sinar-X dapat menembus bahan, yang besarnya tergantung besarnya energi sinar-X. Makin tinggi tegangan tabung, semakin besar daya tembus sinar-X. Sinar-X mengalami atenuasi setelah menembus bahan. Atenuasi adalah berkurangnya jumlah intensitas radiasi yang disebabkan oleh kerapatan, ketebalan dan nomor atom bahan yang dilalui. Adanya atenuasi sinar-X yang berbeda pada masing-masing organ akan menimbulkan perbedaan kehitaman pada film yang dikenal dengan kontras radiografi.

Sinar-X menimbulkan radiasi sekunder pada semua bahan yang dilaluinya. Radiasi sekunder adalah radiasi hambur akibat efek fotolistrik. Sinar-X dapat menghitamkan emulsi film. Dengan menggunakan bahan perekam berupa emulsi film, maka dapat diperoleh gambaran perbedaan kehitaman (kontras) yang berbeda sebagai akibat organ yang mempunyai kerapatan atom yang berbeda. Inilah yang digunakan dalam dunia kedokteran untuk menegakkan diagnosa kelainan organ tubuh manusia. (Hoxter,1973)

2.3. Intensitas Sinar-X

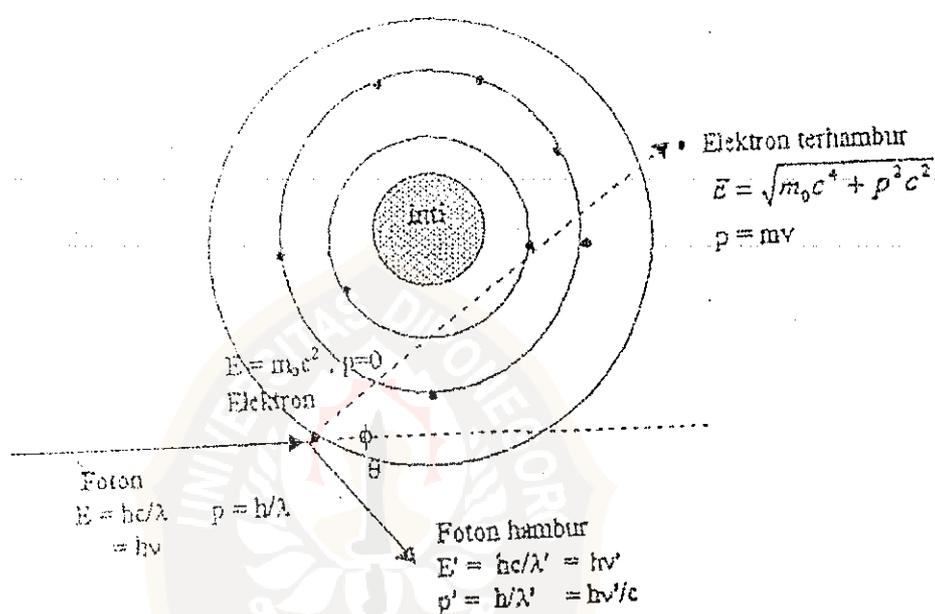
Intensitas sinar-X dapat diartikan sebagai besarnya energi sinar-X yang mengalir melalui penampang seluas 1 cm^2 persatuan waktu. Intensitas sinar-X dipengaruhi oleh tegangan tabung dan kuat arus tabung. Tegangan tabung merupakan beda potensial antara katoda dan anoda di dalam tabung yang diperlukan untuk memindahkan satu satuan muatan, yaitu untuk menarik elektron dari filamen ke permukaan target yang tertanam dalam anoda. Intensitas sinar-X kira-kira sebanding dengan kuadrat beda potensial, sehingga bila beda potensial dinaikkan dua kali lipat, maka intensitas sinar-X akan bertambah empat kali lebih banyak (Bushong,1988). Semakin tinggi tegangan tabung yang digunakan akan dihasilkan sinar-X dengan panjang gelombang lebih pendek sehingga memiliki daya tembus lebih besar. Penambahan tegangan tabung juga akan menambah jumlah pancaran radiasi dari target atau meningkatkan intensitas radiasi dari target atau meningkatkan intensitas radiasi yang dipancarkan (Chesney,1980). Kuat arus tabung (milliampere) didefinisikan sebagai muatan listrik yang mengalir persatuan waktu melalui suatu penampang. Pada tabung sinar-X kuat arus merupakan arus yang mengalir dari anoda ke katoda. Arus ini menyatakan jumlah elektron (Bushong,1988).

2.4. Interaksi Elektron dengan Atom Bahan

Ada tiga proses kemungkinan yang terjadi bila elektron filamen berinteraksi dengan atom bahan, yaitu : efek compton, efek fotolistrik dan efek thomson.

1) 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 yang datang (Wiryosimin,1995). Ilustrasi hamburan Compton dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Ilustrasi Hamburan Compton (Wiryosimin,1995)

2) Efek fotolistrik

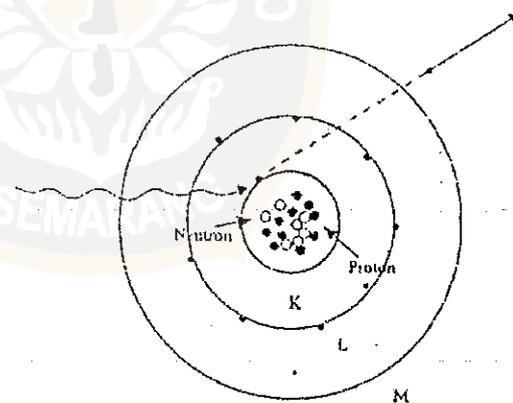
Efek fotolistrik adalah suatu proses ketika elektron bahan logam atau bahan lain menyerap energi dari medan elektromagnetik dan keluar dari bahan. Mekanisme interaksi efek fotolistrik terjadi dominan pada energi foton dibawah 100 keV. Efek fotolistrik terjadi

jika foton yang datang mempunyai energi yang lebih besar dari energi ikat elektron.

Jika elektron dilepas keluar bahan, selisih antara energi yang diserap elektron dan energi ikat elektron permukaan bahan muncul sebagai energi kinetik elektron (Beiser,1990). Energi kinetik elektron yang terlepas dinyatakan dalam :

$$E_k = h(\nu - \nu_0) \quad (2.2)$$

Dengan E_k adalah energi kinetik foto elektron (J), h adalah konstanta plank = $6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s, ν adalah frekuensi foton (Hz), dan ν_0 adalah frekuensi ambang yaitu frekuensi minimum yang diperlukan untuk melepas elektron dari bahan. Ilustrasi interaksi fotolistrik dapat dilihat pada gambar 2.2.

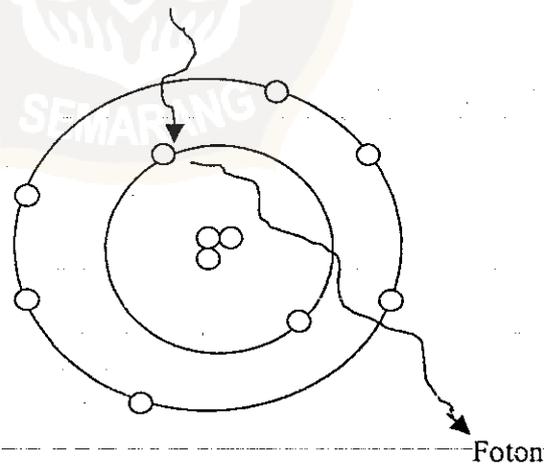


Gambar 2.2: Proses Interaksi Fotolistrik (Wirjosimin, 1995)

3) Efek Thomson

Hamburan Thomson adalah interaksi radiasi foton dengan materi yang hanya mengubah arah foton tanpa mengubah panjang gelombang foton. Hamburan ini terjadi apabila energi foton yang menumbuk atom bahan mempunyai energi yang lebih rendah atau lebih kecil dari energi ikat elektron atom bahan tersebut. Elektron akan menyerap semua energi foton kemudian mengeluarkan energi dalam bentuk foton yang memiliki panjang gelombang yang sama dengan arah yang sedikit berbeda dari foton semula.

Hamburan Thomson ini jumlahnya hanya sedikit sekali yaitu 1 % dari seluruh radiasi hambur yang dihasilkan, sehingga proses hamburan ini kurang begitu penting dalam radiodiagnostik. Ilustrasi hamburan thomson dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3. Hamburan Thomson (Carrol, 1985)

2.5. Tabung Sinar-X

Untuk pembuatan sinar-X diperlukan sebuah tabung rontgen hampa udara dimana terdapat elektron-elektron yang diarahkan dengan kecepatan tinggi pada suatu sasaran (target). Dari proses tersebut diatas terjadi suatu keadaan dimana energi elektron sebagian besar dirubah menjadi panas (99%) dan sebagian kecil (1%) dirubah menjadi sinar-X. Suatu tabung pesawat rontgen mempunyai beberapa persyaratan yaitu mempunyai sumber elektron, gaya yang mempercepat gerakan elektron, lintasan elektron yang bebas dalam ruang hampa udara, alat pemusat berkas elektron (*focusing cup*) dan penghenti gerakan elektron. Diagram tabung sinar-X dapat dilihat pada gambar 2.4 dan 2.5

1) Sumber elektron

Sumber elektron adalah kawat pijar atau filamen (katode) didalam tabung rontgen. Pemanasan filamen dilakukan dengan suatu transformator khusus.

2) Gaya yang mempercepat gerakan elektron

Gaya tersebut tergantung pada tegangan yang dipasang pada tabung rontgen.

3) Lintasan bebas untuk elektron-elektron

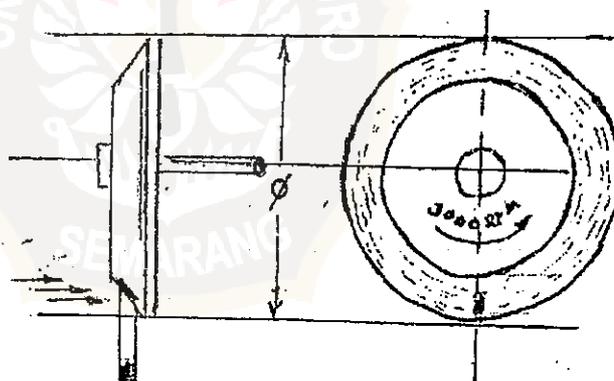
Lintasan yang berguna untuk mempercepat elektron yang berupa ruangan yang praktis hampa (kira-kira 10^{-5} sampai 10^{-6} mm Hg) antara katoda dan anoda.

4) Alat pemusat berkas elektron

Alat ini menyebabkan elektron-elektron tidak berpecah, tetapi terarah ke bidang fokus.

5) Benda penghenti elektron

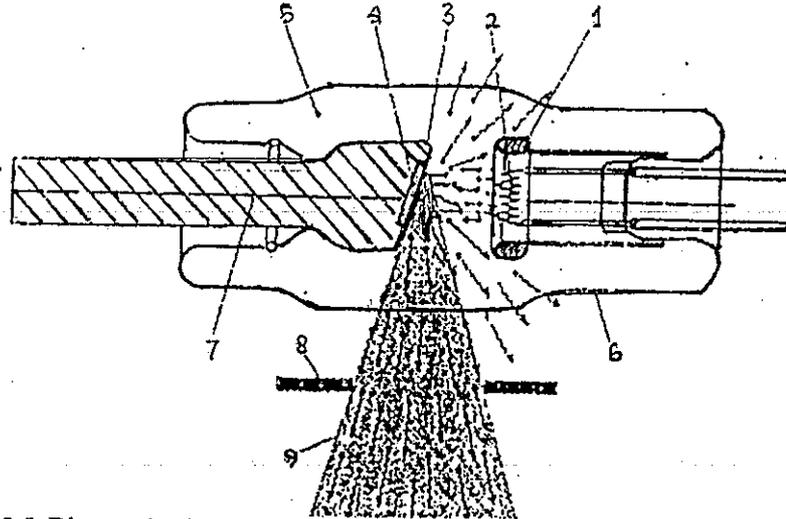
Berupa keping wolfram yang ditanamkan didalam tembaga pada tabung rontgen anoda diam dan piring wolfram (campuran alloy wolfram/rhenium) pada tabung biangulix-rapid diatas tangkai molybdenum pada tabung rontgen anoda putar. Pada ujung tangkai ini terdapat rotor motor listrik. Wolfram adalah bahan fokus yang mempunyai titik lebur yang tinggi, mencapai 3400° C dan nomor atom 74 (Sjahriar,1998). Anoda putar ini berputar dengan kecepatan mencapai 3000 rpm (*revolution per minute*) atau lebih. Ilustrasi ini dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4. Anoda putar dari samping (A) dan dari depan (B) (Plaats,1969)

Gambar 2.4 (A) terlihat dari samping bentuk anoda telur dadar dari tabung anoda yang berputar. Ketiga panah menggambarkan berkas elektron. Pada pinggiran *disc*, *line focus* itu digambarkan dengan garis-garis dan dibawahnya merupakan fokus efektif. Gambar

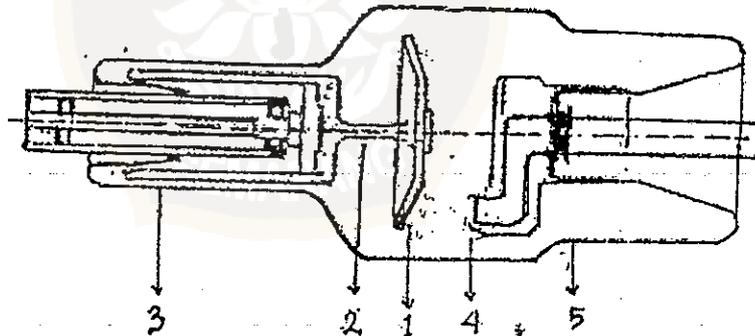
2.4 (B) terlihat anoda dari depan dan permukaan yang terkena tumbukan elektron-elektron selama satu putaran dari *disc*. Ukuran fokus tetap sama (Plaats, 1969).



Gambar 2.5. Diagram bagian-bagian terpenting tabung rontgen anoda diam (Hoxter, 1973)

Keterangan gambar 2.5. :

- | | |
|-----------------------------|--|
| 1. Katode | 7. Anoda |
| 2. Filamen | 8. Difragma primer |
| 3. Bidang Fokus | 9. Berkas Kerucut sinar guna (diarsir) |
| 4. Keping Wolfram | |
| 5. Ruang Hampa | |
| 6. Selubung dari kaca keras | |



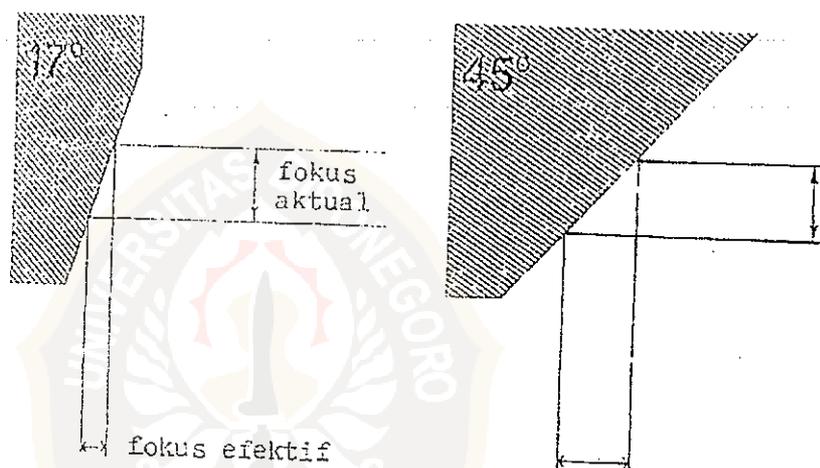
Gambar 2.6. Diagram bagian-bagian terpenting tabung rontgen anoda putar (Hoxter, 1973)

Keterangan gambar 2.6 :

- | | |
|---------------------------------|--------------------------|
| 1. Piring anoda dari wolfram | 4. Katoda dengan filamen |
| 2. Tangkai Molybdenum | 5. Labu kaca |
| 3. Rotor dengan bantalan peluru | |

2.6. Kemiringan Anoda

Kemiringan anoda biasanya berkisar antara 7° sampai 20° . Kemiringan akan berpengaruh pada besar kecilnya ukuran fokus efektif. Suatu permukaan anoda yang mempunyai sudut kemiringan kecil akan mempunyai ukuran fokus efektif yang kecil. Permukaan anoda yang mempunyai sudut kemiringan 45° akan mempunyai ukuran fokus efektif sama dengan pancaran sumber elektron. Ilustrasi ini dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7. Pengaruh kemiringan terhadap fokus efektif (Meredith, 1977)

Dari gambar 2.7. terlihat kemiringan target selain menyebabkan efek heel akan menyebabkan variasi ukuran fokus. Suatu tabung sinar-X yang dikatakan mempunyai ukuran fokus efektif 1 mm sebenarnya mempunyai ukuran fokus yang bervariasi, ukurannya lebih kecil pada sisi yang dekat anoda dan akan lebih lebih besar pada sisi katoda (Ilustrasi dan penjelasannya lebih lanjut pada penjelasan efek *focal spot*).

2.7. Pengaruh Atenuasi Terhadap Radiograf

Atenuasi adalah berkurangnya intensitas radiasi sinar-X setelah menembus bahan. Jika radiasi sinar-X menembus medium maka hubungan antara intensitas sinar-X yang datang dengan intensitas sinar yang diteruskan yaitu :

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad (2.6)$$

dengan I_x adalah intensitas setelah menembus medium (watt/m^2), I_0 adalah intensitas mula-mula (Watt/m^2), μ adalah koefisien atenuasi medium (m^{-1}) dan x adalah ketebalan medium.

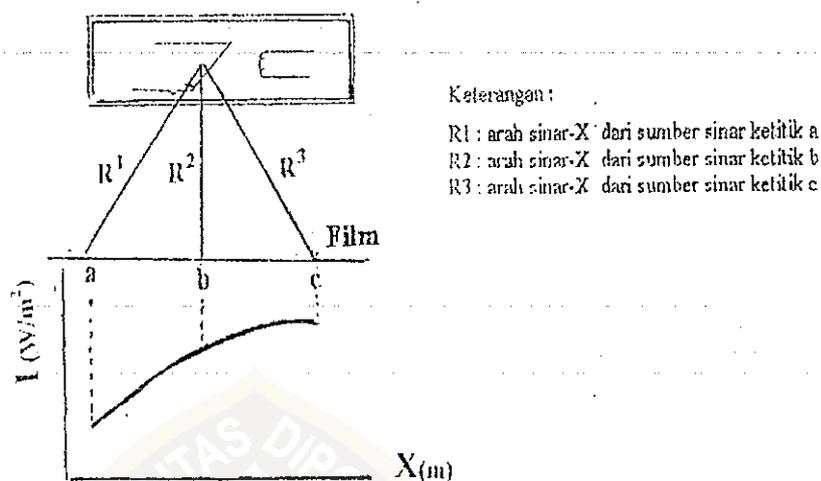
Intensitas radiasi sinar-X tergantung pada kuantitas (jumlah foton) dan kualitas (daya tembus/energi) sinar-X. Pada radiasi monokromatik, kualitas sinar-X tidak berubah setelah menembus obyek, sedangkan kuantitasnya akan berkurang. Proses ini terjadi akibat interaksi foton sinar-X dengan obyek yang berupa efek fotolistrik dan efek compton (Yuwono,1990)

2.8. Efek Heel

Efek heel didefinisikan sebagai bentuk penyebaran intensitas sinar-X yang tidak merata dari sisi anoda kesisi katoda yang disebabkan oleh kemiringan permukaan anoda. Hal ini menyebabkan intensitas sinar-X yang menuju kearah anoda lebih sedikit dibandingkan dengan intensitas sinar-X yang menuju kearah katoda (Quin,1985). Efek heel dipengaruhi oleh tiga buah efek yaitu efek absorpsi, efek jarak dan efek *focal spot*.

1) Efek absorpsi

Elektron setelah menumbuk target sebagian akan diserap target dan sebagian akan dihamburkan sehingga menghasilkan intensitas sinar-X yang berbeda. Ilustrasi ini dapat dilihat pada gambar 2.8.

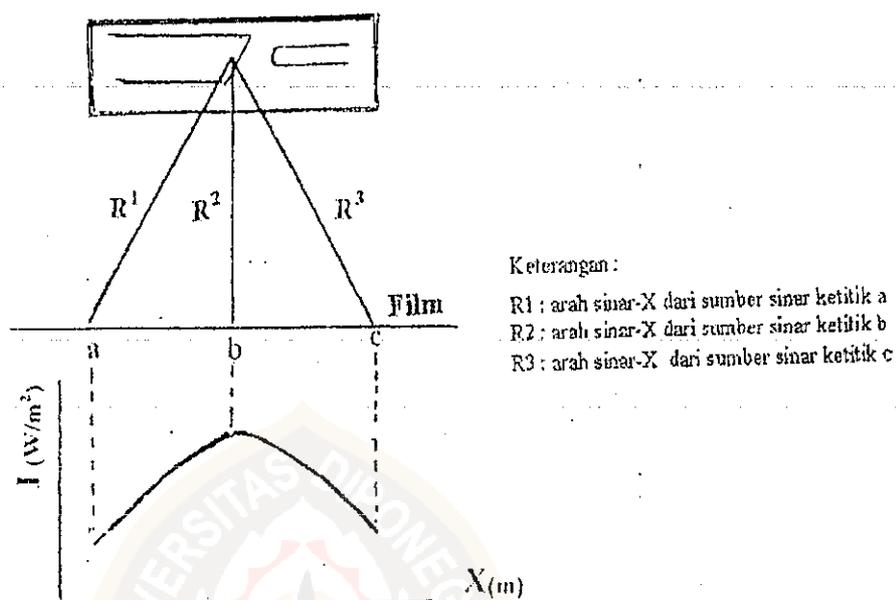


Gambar 2.8. Ilustrasi distribusi sinar-X akibat efek absorpsi (Meredith, 1977)

Gambar 2.8. menunjukkan sinar-X yang menuju ketitik c (R3) dengan arah yang mendekati atau tegak lurus permukaan anoda akan sedikit atau tidak mengalami perlemahan. Sedangkan sinar-X yang menuju ketitik a (R1) dengan arah yang mendekati atau sejajar bidang kemiringan anoda akan mengalami penyerapan lebih besar atau terserap sama sekali oleh bahan anoda seluruhnya. Dari peristiwa tersebut maka intensitas sinar-X yang menuju ke arah katoda akan mempunyai intensitas yang lebih besar dibanding intensitas sinar-X yang menuju arah anoda (Quin, 1985).

2) Efek Jarak

Jarak fokus dengan film dan posisi film yang mendarat, akan menyebabkan efek perlemahan sinar-X yang tidak merata. Ilustrasi ini dapat dilihat pada gambar 2.9.

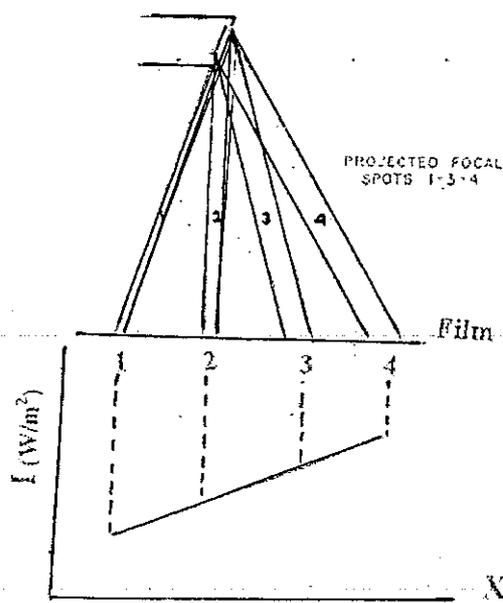


Gambar 2.9. Ilustrasi distribusi sinar-X akibat efek jarak (Meredith, 1977)

Gambar 2.9. menunjukkan radiasi dititik a (R1) dan c (R3) berjalan miring sehingga jaraknya lebih jauh dibanding yang menuju ke b (R2). Sesuai dengan hukum kuadrat terbalik bahwa intensitas sinar-X akan berkurang bila menjauhi fokus. Hasilnya pengurangan intensitas dititik a dan c lebih banyak daripada dititik b (Quin, 1985)

3) Efek *Focal Spot*

Sudut kemiringan anoda menyebabkan proyeksi focal spot yang berbeda-beda. Ilustrasi ini dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10. Ilustrasi proyeksi *focal spot* (Quin,1985)

Dari gambar 2.10, menunjukkan ukuran proyeksi *focal spot* dengan berbagai sudut yang diproyeksikan dari target. Proyeksi *focal spot* yang mendekati atau tegak lurus permukaan target paling besar (4). Proyeksi *focal spot* dibelakangnya (3) akan lebih kecil. Proyeksi *focal spot* di sumbu sinar (2) akan lebih kecil dibanding di (3) dan proyeksi *focal spot* yang paling kecil di (1). Proyeksi *focal spot* yang besar menyebabkan intensitas sinar-x menjadi besar. Hasilnya proyeksi *focal spot* yang mendekati atau tegak lurus permukaan target (4) intensitasnya paling besar. (Quin,1985).