

BAB II

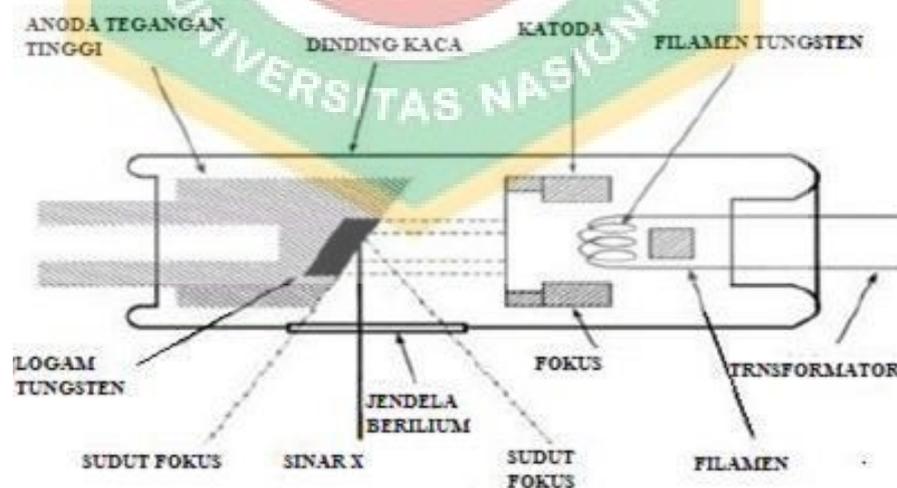
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Proses Pembangkitan Sinar-X

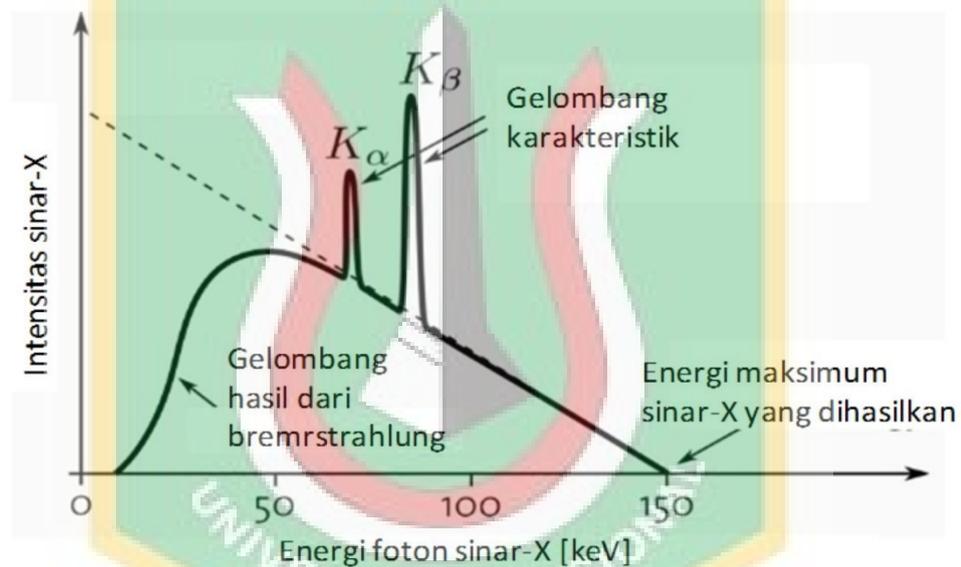
Sinar-X merupakan suatu gelombang elektromagnetik, dengan panjang gelombang cenderung pendek antara 10nm sampai 100pm serta mempunyai frekuensi 3×10^{16} - 3×10^{19} Hert. Sinar-X mempunyai energi tembus yang besar, serta mempunyai kemampuan mengionisasi atom dari materi yang dilewatinya. Sinar-X awal kali digunakan buat fotografi oleh Wilhem Roentgen pada tahun 1895. Kemudian, sinar-X mengalami perkembangan penggunaan untuk pencitraan kedokteran hingga saat ini. Dengan memakai perlengkapan serta metode yang pas, sinar- X bisa menciptakan foto struktur dalam tubuh yang digunakan untuk mendiagnosa penyakit ataupun permasalahan yang terdapat di dalam tubuh manusia. Sehingga sinar-X menjadi perlengkapan diagnostik penyakit, apalagi sinar-X bisa digunakan buat memandu secara langsung (*real- time guided*) proses pengobatan pada pasien.

Sinar-X terjadi pada sebuah tabung hampa udara bertekanan rendah yang terdiri dari elektroda positif (anoda) dan elektroda negatif (katoda).



Gambar-2. 1 Skema Tabung Sinar-X (5)

Seperti terlihat pada Gambar-2.1 Anoda ialah material sasaran yang akan ditumbuk oleh elektron dengan kecepatan tinggi. Katoda ialah bagian yang menghasilkan elektron yang terdiri dari tungsten dalam bentuk kumparan serta ditempatkan di antara *focusing cup*. *Focusing cup* berfungsi untuk memfokuskan arus elektron ke anoda. Arus listrik dapat digunakan dalam pemanasan katoda sehingga dapat menghasilkan elektron. Dengan tegangan potensial yang diberikan, elektron–elektron yang dihasilkan oleh katoda akan dipercepat menuju anoda. Sejumlah elektron dengan kecepatan tinggi akan menumbuk anoda sebagai target. Tumbukan antara elektron dengan target akan menghasilkan foton Sinar-X yang keluar dari tabung melalui jendela. Sinar-X yang dihasilkan hanya sekitar 1% dan sisanya 99% kemudian diubah menjadi panas.



Gambar-2. 2 Spektrum Sinar X(5)

Gambar-2.2 menunjukkan spektrum terukur dari emisi foton tabung sinar-x. menunjukkan bahwa spektrum sinar x terdiri dari spektrum kontinu yang disebut bremsstrahlung dengan puncak-puncak diskrit yang tajam. Puncak ini disebut dengan radiasi karakteristik yang bergantung pada nomor atom target.

2.1.2 Sinar-X Bremsstrahlung

Sinar-X Bremsstrahlung terbentuk ketika elektron berkecepatan tinggi akan menumbuk atom, dan terjadi perlambatan pergerakan elektron sehingga energi

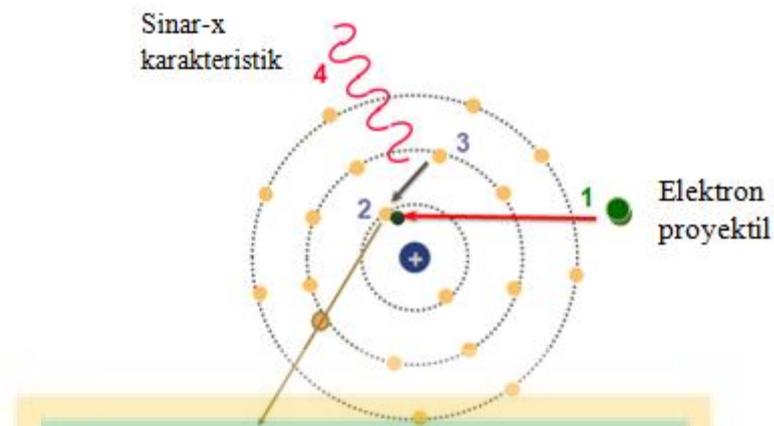
kinetik dari elektron berubah menjadi foton sinar-X. Perlambatan pergerakan elektron tersebut dikarenakan muatan dan massa inti atom yang relatif lebih besar dibandingkan dengan elektron datang. Sesuai dengan hukum kekekalan energi, sebagian energi kinetik elektron digunakan untuk membelokkan jalur pergerakan elektron melewati inti atom tanpa menemukannya dan dilepas menjadi energi foton yang lebih dikenal dengan bremsstrahlung. Spektrum bremsstrahlung yang dihasilkan dalam suatu target sinar-X bergantung pada energi kinetik elektron yang datang serta pada nomor atom Z dari target tersebut(6).



Gambar-2. 3 Terjadinya Sinar-X Bremsstrahlung(7)

2.1.3 Sinar X Karakteristik

Sinar-X karakteristik dihasilkan dari transisi elektron pada atom target. Elektron-elektron yang dipancarkan dari katoda memiliki energi yang sangat tinggi. Akibatnya elektron-elektron yang ditembakkan dapat menumbuk elektron-elektron yang berada pada inti atom dan mengeksitasi keluar elektron-elektron itu dari orbitalnya. Kekosongan elektron pada orbital atom kulit K (dengan $n=1$), akan segera diisi oleh elektron-elektron dari kulit sebelah luarnya. Akibat pengisian yang dilakukan oleh elektron-elektron ini, kembali terjadi kekosongan elektron pada kulit L ($n=2$). Kekosongan elektron akan segera diisi oleh elektron-elektron dari kulit sebelah luar berikutnya. Elektron-elektron memancarkan energi yang berupa sinar-X karakteristik ketika mengisi kekosongan elektron. Hasilnya berupa puncak-puncak spektrum sinar-X yang energinya bersifat diskrit. Transisi elektron dari kulit yang berbeda akan menghasilkan jenis sinar-X karakteristik yang berbeda dengan energi yang berbeda pula tergantung pada energi ikat elektron dalam kulit atom.



Gambar-2. 4 Proses Terjadinya Sinar-X Karakteristik(7)

2.1.4 Interaksi Radiasi dengan Materi

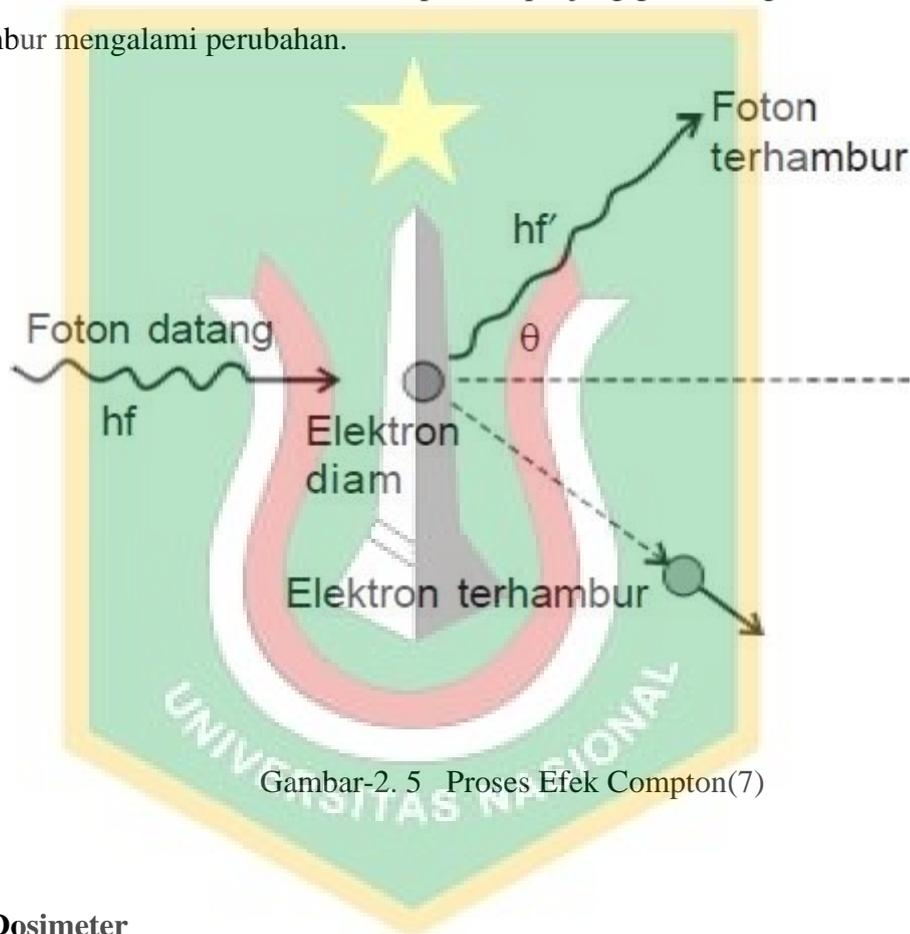
Interaksi radiasi dengan materi adalah perpindahan energi dari radiasi ke materi. Materi inti atom dan elektron-elektron. Radiasi bisa berinteraksi dengan salah satu atau kedua unsur pokok pembentuk materi ini. Kemungkinan terjadinya interaksi, daya tembus beberapa radiasi, tergantung pada tipe dan energi radiasi dan juga pada sifat medium penyerap.

1. Efek fotolistrik

Efek fotolistrik terjadi ketika foton dengan energi tertentu diserap oleh elektron, sehingga menyebabkan elektron keluar dari atom. Besar energi kinetik elektron yang terlepas nilainya sama dengan energi foton yang diserap oleh elektron. Agar efek fotolistrik terjadi, energi foton harus lebih besar atau sama dengan energi ikat elektron yang keluar. Energi yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari kulit terluar atom yaitu setengah dari energi yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari kulit dalam atom. Setelah interaksi fotolistrik, atom terionisasi, dan menyebabkan kulit dalam kekosongan elektron. Kekosongan ini akan diisi oleh elektron dari kulit sebelah luarnya.

2. Efek Compton

Efek Compton adalah hamburan foton oleh partikel bermuatan seperti elektron yang ditemukan Arthur Holly Compton pada tahun 1920. Foton menumbuk suatu materi kemudian terjadi hamburan sedangkan elektron akan menerima impuls. Saat terjadi tumbukkan, sebagian energi foton akan hilang. Besar energi foton yang hilang besarnya sama dengan energi kinetik yang diterima elektron. Dalam peristiwa hamburan Compton berlaku hukum kekekalan energi dan hukum kekekalan momentum. Maka diperoleh panjang gelombang dari foton yang terhambur mengalami perubahan.



Gambar-2. 5 Proses Efek Compton(7)

2.1.5 Dosimeter

Dosimeter adalah alat yang mampu mengukur kuantitas radiasi baik secara langsung maupun tidak langsung. Detektor adalah bagian yang peka terhadap radiasi dan elektrometer adalah alat elektronik yang mengubah tanggapan detektor menjadi besaran fisika yang diinginkan. Berdasarkan prinsip interaksi radiasi dengan materi, semua jenis detektor harus dapat digunakan untuk mengukur dosis dan paparan radiasi. Besaran fisika yang diukur dalam pendeteksian radiasi adalah banyaknya ionisasi yang dihasilkan dari interaksi radiasi dengan materi detektor.

Berdasarkan nilai ionisasi tersebut akan diperoleh besaran dosis atau paparan radiasi. Setiap detektor harus memiliki faktor yang dapat mengubah besaran yang terukur oleh detektor menjadi besaran yang diinginkan dalam proses pengukuran. Faktor pengubah tersebut dikenal sebagai faktor kalibrasi, dan akan sangat menentukan ketepatan hasil pengukuran(7). Detektor yang ideal harus memenuhi beberapa kriteria, antara lain :

1. Akurasi

Menyatakan kemampuan detektor untuk mengukur besaran radiasi dengan benar. Gabungan kesalahan mengakibatkan pergeseran hasil pengukuran dan secara umum dikenal sebagai deviasi.

2. Presisi

Menyatakan kemampuan detektor untuk memberikan pengulangan hasil pengukuran yang sama pada kondisi yang tetap.

3. Linearitas

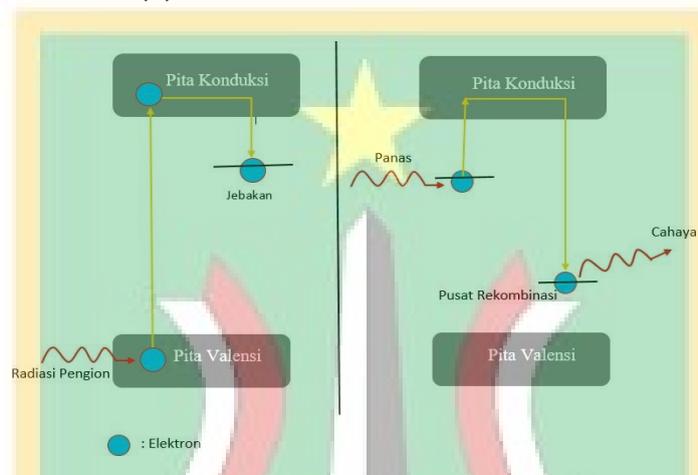
Linearitas menyatakan respons dosimeter terhadap perubahan dosis. Dosimeter harus memiliki respons yang linier terhadap perubahan dosis. Linearitas dan non-linearitas bergantung pada jenis dosimeter yang digunakan. Idealnya, pembacaan dosimeter (M) harus berbanding lurus dengan kuantitas dosimetrik (Q).(8)

4. Ketergantungan energi

Ketergantungan energi menyatakan perubahan respons dosimeter terhadap variasi energi radiasi yaitu ketika intensitas berupa sinyal yang dipancarkan dosimeter luminesensi secara langsung proporsional dengan nilai yang diukur. Idealnya, respons energi harus datar (yaitu kalibrasi sistem harus tidak bergantung pada energi pada rentang kualitas radiasi tertentu). Pada kenyataannya, respons energi dosimeter bervariasi dan memerlukan faktor koreksi energi dalam penentuan kuantitas dosimetrik (Q).

Thermoluminescence Dosimeter

Thermoluminescent dosimeter adalah jenis dosimeter radiasi yang digunakan untuk mengukur paparan radiasi pengion dengan mengukur intensitas cahaya tampak yang dipancarkan oleh kristal di dalam dosimeter pada saat kristal dipanaskan. Intensitas cahaya yang dipancarkan tergantung pada paparan radiasi. Peristiwa penyerapan energi yang diikuti dengan pancaran cahaya disebut luminesensi. Peristiwa luminesensi dengan bantuan energi panas dari luar disebut *thermoluminescence*.(7)



Gambar-2. 6 Proses Termoluminesensi(7)

Thermoluminescence adalah proses pemancaran cahaya dari benda padat yang tereksitasi oleh radiasi pengion. Konsep dasar untuk menjelaskan termoluminesensi adalah konsep pita energi elektron (model pita). Dalam model ini ditunjukkan bahwa di dalam kristal terdapat tingkatan-tingkatan energi tertentu yang dipisahkan oleh pita atau energy gap. Bahan termoluminesensi termasuk bahan semikonduktor yang dengan pita energi yang terdiri dari valensi dan pita konduksi yang dipisahkan dengan energy gap. Bahan dosimeter akan menyerap energi radiasi pengion yang datang membentuk elektron-elektron bebas melalui proses efek fotolistrik dan efek Compton. Elektron bebas dapat melompat dari pita valensi ke pita konduksi. Pada pita konduksi elektron-elektron bergerak bebas karena tidak ada ikatan dengan inti atom. Elektron kemudian terperangkap dalam perangkap elektron. Jika energi panas diberikan pada bahan dosimeter maka elektron akan lepas dari perangkapnya masing-masing. Elektron yang terlepas dari perangkap ini selanjutnya akan

berkombinasi di pusat luminesensi disertai dengan pancaran cahaya tampak yang disebut cahaya luminesensi.(7)



Gambar-2. 7 TLD(7)

Optically Stimulated Luminescence Dosimeter

Luminesensi yang distimulasi secara optik adalah metode untuk mengukur radiasi pengion dengan melepaskan elektron yang terperangkap diantara pita valensi dan pita konduksi. Saat radiasi mengenai material, elektron di dalam material akan berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi biasanya disebut dengan eksitasi. Elektron bergerak bebas dalam pita konduksi. Selanjutnya elektron tersebut terperangkap ke dalam perangkap elektron. Di bawah rangsangan cahaya, elektron-elektron dapat melepaskan diri dari perangkap dan masuk ke pita konduksi. Elektron yang terlepas dari perangkap selanjutnya akan berkombinasi di pusat luminesensi disertai dengan pancaran cahaya tampak yang disebut cahaya luminesensi. Dalam proses stimulasi cahaya yang diberikan dengan panjang gelombang yang sesuai menyebabkan elektron mengalami transisi atau berpindah dari perangkap ke pita konduksi. Besarnya sinyal OSL yang dilepaskan oleh dosimeter setelah diinduksi dengan laser atau cahaya akan sebanding dengan muatan elektron yang terperangkap di dalam material

2.2 Hasil Penelitian Terkini

Pada tahun 2013 dilakuakn penelitian tentang respon energi dosimeter OSL dan akurasi dosis di 24 – 1250 keV yang di bandingkan dengan TLD-100H dan TLD-100. Pada penelitian ini dosis yang diberikan adalah Hp(10) dan Hp(0.07) sebesar 1 mSv. Dosimeter OSL, TLD-100H, dan TLD-100 disinari secara bersamaan. Untuk radiasi foton penyinarannya menggunakan mesin sinar X yang mana energinya sesuai dengan ISO 4037-1, dan radiasi gamma. Energi yang disinarkan ada 11 energi yaitu 24, 32, 47, 65, 84, 102, 121, 171, 218, 662 dan 1250 keV. Hasil dari penelitian ini OSLD menunjukkan kinerja yang lebih baik untuk Hp(10), sedangkan untuk Hp(0.07), TLD 100H yang lebih baik.(9) Pada tahun 2017 telah dilakukan penelitian oleh Musa Y, dkk. tentang respon dari dosimeter OSL terhadap energi dari sinar x diagnostik. Pada penelitian ini respon dosimeter OSL akan disinari di udara menggunakan tegangan tabung 70 kV, 80 kV dan 120 kV, dan arus tabung mulai dari 10 mAs sampai dengan 100 mAs. Hasilnya meunjukkan lineritas dan reproduktifitas yang baik. Dengan koefisien variasi (CV) berkisar antara 2.3% sampai 3.5 %. Ini mewakili reproduktifitas yang baik.(10) Pada tahun 2018 telah dilakukan penelitian tentang kinerja teknik TL dan OSL menggunakan CaSO_4 dan Al_2O_3 untuk Mean Glandular Dose (MGD) dan Entrance Skin Dose (ESD) dalam digital pada pesawat mammografi. Pada penelitian ini menghasilkan dosimeter TL dan OSL berbahan CaSO_4 dan Al_2O_3 . Mampu mengevaluasi dosis ESD serta MGD di unit mammografi, yang akurat sesuai persyaratan, praktis sederhana dan berbiaya rendah.(11) Selanjutnya dilakukan lagi penelitian mengenai karakteristik dosis OSL yang digunakan untuk penilaian dari tomografi. Pada penelitian ini OSL dengan jumlah 452 diradiasi dengan dosis yang sama menunjukkan 330 OSLD menampilkan sinyal dalam interval 4.7% dari rata-rata. dosimeter menyajikan respon yang bergantung pada energi. Respon kerma udara dari sinyal OSL menunjukkan linear untuk sinar X dan Ct scan, dengan perbedaan kemiringan sekitar 10%. OSL Al_2O_3 mampu digunakan untuk evaluasi dosis dalam ctscan.(12) Kemudian dilakukan penelitian oleh Benali, dkk. Tentang respon energi dari FD-7 RPL dosimeter terhadap dosimeter LiF Mg, Ti dan $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$. dalam penlitian ini membandingkan pengukuran dengan simulasi montecarlo. Untuk berkas foton dosimeter menunjukkan respon yang meningkat dengan penurunan

energi dengan respon yang signifikan pada dosimeter FD-7 RPL pada tegangan 70 kVp. Untuk berkas elektron, dosimeter RPLGD maksimum 5,1% dan TLD-100 3.5%. dan untuk OSL maximum 6% di energi 6-20 MeV dan 11% di 4 MeV.(13) Kemudian pada tahun 2019 dilakukan untuk mengetahui respon dari dosimeter OSL lingkungan terhadap dosis rendah. Metode dilakukan dengan menyiapkan 4 kelompok dosimeter OSL dan diiradiasi dengan radiasi gamma ^{137}Cs sebesar 0,1 mSv, 0,5 mSv, 1 mSv dan tanpa diiradiasi (kontrol) sebanyak dua kali penyinaran dengan konfigurasi dosimeter yang berbeda-beda. Respon dosis Hp(10) menunjukkan kurva yang linier dengan persamaan Y (dosis bacaan) = $0,802 * X$ (dosis penyinaran) - 0,121 dan $Y = 0,851 * X - 0,119$ serta faktor korelasi 0,97-0,98. Dosis penyinaran pada dosimeter OSL dapat direspon oleh OSLD microStar reader apabila melebihi 0,151 mSv dan 0,140 mSv.(14)

