BAB II

DASAR TEORI

II.1. Dasar-dasar Fisika Tomografi

Teknik rekonstruksi sangat penting artinya dalam teknik analisis obyek atau materi dan teknik ini berkembang pesat sejak ditemukan sinar-X pada tahun 1895 oleh W.C Roentgen. Teknologi ini dimungkinkan karena kemampuan sinar-X menembus suatu bahan padat sehingga bermanfaat terutama di bidang kesehatan khususnya radiologi, yaitu dihasilkannya foto Roentgen yang merupakan hasil radiografi konvensional (Houzer, 1990).

Pada prosedur pelaksanaan radiografi konvensional akan diperoleh gambaran pada suatu bidang datar (pada film), sehingga akan memvisualkan gambaran dua dimensi dari semua struktur. Struktur yang tergambar berada pada garis lurus antara tabung Roentgen dan film, sehingga konsekuensinya akan menghasilkan gambar "superposisi" antara struktur yang satu dengan struktur yang lainnya sehingga memungkinkan ketidakjelasan obyek yang diharapkan gambarnya (Koman Suganda,1984).

Untuk mengatasi kelemahan tersebut di atas telah diupayakan suatu teknik rekonstruksi jaringan tubuh manusia yang dikenal dengan "Tomografi" yang merupakan aplikasi ilmu fisika dalam bidang industri kesehatan, khususnya untuk menangani permasalahan diagnosa.

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)

Tomografi adalah teknik yang dapat menggambar secara radiologis dari suatu bidang/daerah tubuh tertentu, dengan cara mengaburkan struktur yang berada di atas dan di bawahnya (Koman Suganda, 1984).

Dalam pemeriksaan tomografi sumber radiasinya sama seperti pemeriksaan radiografi biasa yaitu sinar-X yang dibangkitkan oleh tegangan tinggi arus searah di antara dua elektroda (katoda dan anoda) dalam sebuah tabung hampa udara. Berkas elektron akan dipancarkan dari katoda menuju dan menumbuk anoda di mana energi elektron-elektron ini sebagian menjadi gelombang elektromagnetik (sinar-X).

Apabila radiasi melalui bahan maka intensitasnya akan berkurang sebagai akibat interaksi yang terjadi antara radiasi dengan bahan tersebut. Berkurangnya intensitas radiasi tersebut dinamakan atenuasi (Soekotjo,dkkl,1989).

Banyaknya energi yang diserap dalam bahan tergantung pada kualitas dan kuantitas radiasi yang mengenainya. Pada jaringan tubuh makhluk hidup ternyata sejumlah energi yang sama terserap, tetapi berasal dari berbagai jenis radiasi yang berbeda, akan menyebabkan akibat biologik yang berbeda pula (Soekotjo, dkk, 1989).

Gelombang elektromagnetik mempunyai dua sifat yang biasa disebut dualisme gelombang elektromagnetik yaitu :

1. Sebagai gelombang
2. Sebagai partikel

Dengan demikian , energi yang dilepaskan tidak tersebar merata ke seluruh permukaan gelombang, tetapi dilepaskan dalam bentuk paket-paket seperti

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)

partikel. Sebuah paket energi diskrit dari radiasi elektromagnetik disebut foton.

Menurut Max Planck radiasi elektromagnetik memancarkan gelombang elektromagnetik dan mempunyai energi. Pertukaran energi antara radiasi berlangsung melalui catu energi yang disebut kuanta.

Kuanta energi radiasi (E) suatu gelombang elektomagnetik sama dengan suatu konstanta dikalikan dengan frekuensi radiasi, yang dinyatakan dalam persamaan :

$$E = h f \qquad (2.1)$$

sedangkan $f = c/\lambda$, maka

$$E = h\, c/\lambda \qquad (2.2)$$

dengan :

h = konstanta Planck = $6{,}626 \times 10^{-34}$ Js

c = kecepatan cahaya = 3×10^{8} ms^{-1}

λ = panjang gelombang

f = frekuensi

Setiap partikel yang mempunyai tenaga harus juga mempunyai momentum, walaupun tidak mempunyai massa diam. Karena massa diam foton = 0, maka momentum suatu foton yang mempunyai tenaga E mengikuti persamaan (Beiser,1991):

$$p = E/c \quad \text{atau} \quad E = pc \qquad (2.3)$$

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)

Sehingga panjang gelombang sebuah foton dan momentumnya dihubungkan oleh persamaan :

$$p = h/\lambda \qquad (2.4)$$

Jadi panjang gelombang foton :

$$\lambda = h/p \qquad (2.5)$$

Interaksi antara radiasi gelombang elektromagnetik dengan materi menurut Sukotjo, dkk, 1989 meliputi tiga proses :

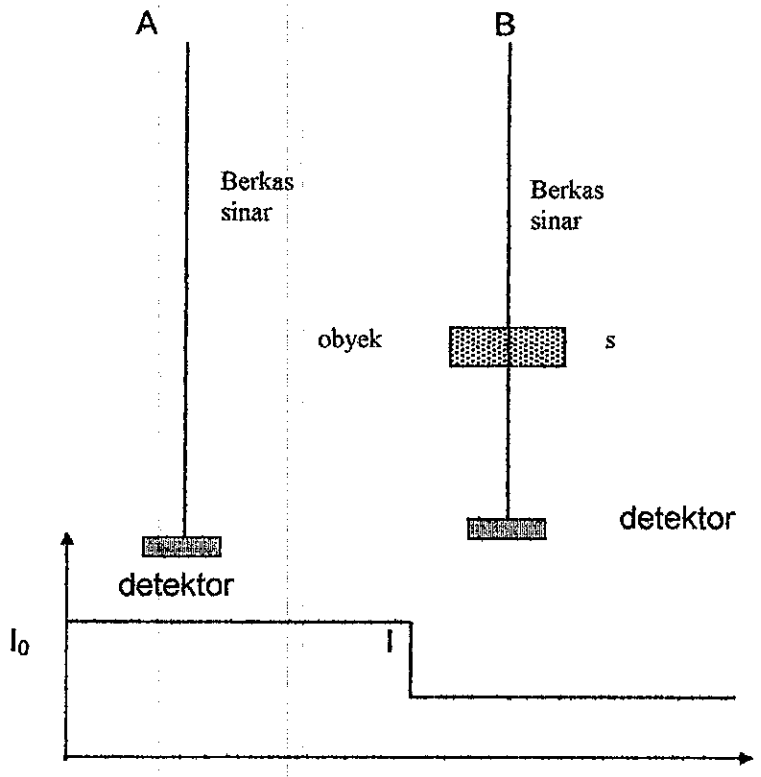
1. Efek foto listrik
2. Efek Compton
3. Produksi pasangan

Jika sinar-X digunakan untuk diagnosa, maka ketiga proses itu dapat terjadi melalui interaksinya dengan jaringan tubuh manusia. Namun demikian berdasarkan energi sinar-X yang digunakan, efek foto listrik yang paling dominan.

II.2. Prinsip Transmisi (Marshall, 1982)

Misalkan dibuat situasi sederhana dimana sumber sinar-X dan detektor seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.1. berikut 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 2.1. Dasar pengukuran transmisi.
Pengukuran A (tanpa absorber) dan B (dengan absorber).
Perubahan relatif intensitas (I) akibat atenuasi obyek setebal (S)
(Marshall, 1982)

Jika objek ditempatkan antara sumber dan detektor, maka intensitas radiasi sinar-X akan berkurang akibat atenuasi di dalam obyek. Fluks pengurangan intensitas tersebut dapat diperkirakan dari perubahan nilai pembacaan oleh detektor, hal ini dapat diperoleh jika pengukuran cukup sensitif terhadap perubahan. Deteksi variasi atenuasi inilah yang menjadi dasar semua transmisi berupa bayangan (*Imaging*).

Secara umum jika energi sinar-X yang digunakan rendah, maka fraksi yang dipancarkan menjadi terlalu kecil untuk dapat memperoleh informasi. Sedangkan jika energi sinar-X terlalu tinggi, maka atenuasi cukup kecil untuk

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)

dapat dimodulasi pada pancaran sinar. maka dari itu perlu ditentukan energi optimum pada setiap pengukuran transmisi sehingga diperoleh atenuasi dan transmisi yang cukup. Umumnya energi optimum akan lebih rendah jika obyek lebih kecil, dan lebih tinggi jika obyeknya lebih besar. Pada sistem tomografi penggunaan sinar-x disesuaikan dengan ketebalan obyek.

Dalam prakteknya, pengukuran-pengukuran transmisi tidak selalu dapat mengamati perubahan-perubahan atenuasi yang kecil, kecuali energi sinar-X yang digunakan optimal.

II. 3. Persamaan Transmisi (Marshall, 1982)

Bila suatu radiasi dengan intensitas Io dikenakan pada obyek, maka intensitas radiasi foton yang dilewatkan bahan (obyek) I akan berkurang secara eksponensial sebanding dengan ketebalan (s), yang dinyatakan secara matematis sebagai berikut;

$$I = Io \exp(-\mu s) \qquad (2.7)$$

dimana μ adalah koefisien serapan linier bahan untuk radiasi foton energi sinar-X.

Dari persamaan (2.7) menunjukkan bahwa untuk material tertentu, besarnya serapan sangat tergantung pada ketebalan dan jenis material tersebut.

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)

II.4. Prinsip Atenuasi (Marshall, 1982)

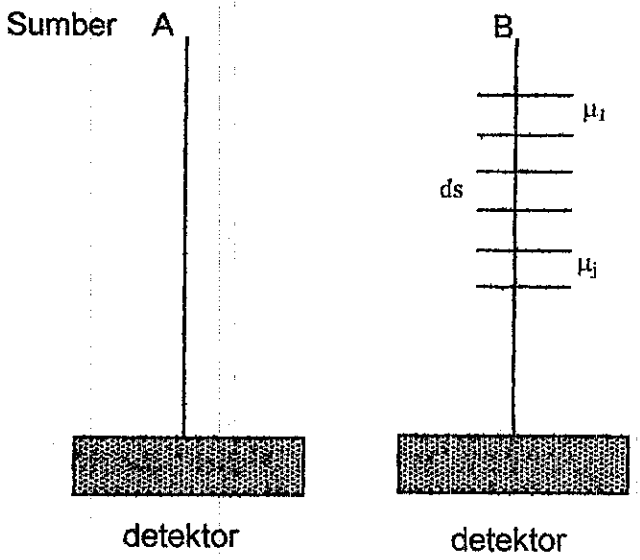
Sinar-X yang diserap (teratenuasi) dalam materi telah banyak dijelaskan dalam beberapa buku teks fisika radiasi. Secara umum energi sinar-X berupa sinar yang digunakan dalam tomografi sebagian diserap dan sebagian dihamburkan atau dibelokkan dari sinar asalnya. Energi yang diserap harus sesuai dengan dosis radiasi yang diperbolehkan pada pasien, sedangkan yang terhambur biasanya sebagai kesalahan yang terjadi pada sistem pengukuran tersebut.

Misalnya contoh yang paling sederhana melalui persamaan transmisi terhadap objek yang komposisinya serba sama *(uniform)*, sehingga karakteristiknya dapat diberikan melalui nilai koefisien serapan tunggal (μ) melalui persamaan;

$$\mu s = \ln (Io / I) \qquad (2.8)$$

Dalam prakteknya persamaan (2.8) tidak digunakan secara langsung untuk radiasi sinar yang melewati objek, karena objek biasanya tidak *uniform* dan sinar harus menembus melalui daerah tertentu yang berbeda sifat-sifat atenuasinya, sehingga dengan demikian harus dikembangkan model persamaan yang dapat mencakup situasi yang lebih kompleks melalui pendekatan jumlahan dari elemen-elemen ketebalan ds , masing-masing mempunyai nilai atenuasi/serapan yang *uniform.*

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 (2.2) Serapan total oleh objek yang komplek. Serapan total dapat diandaikan dari jumlahan garis atenuasi oleh elemen ds dengan koefisien serapan individu (μ_1 , ... μ_j, atau berupa integral garis dari μ sepanjang lintasan sinar (Parker,1981)

Setiap elemen lapisan ds mereduksi intensitas sinar, kemudian intensitas akhir disajikan melalui persamaan;

$$I = Io \; [\exp(\mu_1 \, ds + \mu_2 \, ds + \ldots\ldots\ldots\ldots + \mu_j \, ds)] \qquad (2.9)$$

yang dapat disajikan dalam bentuk;

$$\sum_{j=1}^{n} \mu_j \, ds = \ln (Io \; / I) \qquad (2.10)$$

Persamaan (2.10) ini merupakan jumlahan garis atenuasi sepanjang lintasan sinar. Jika jumlah lapisan objek dibuat lapisan-lapisan kecil tak hingga dapat dibuat persamaan kontinu dalam bentuk ;

$$P = \int_s \mu \; ds = \ln (Io \; / I) \qquad ...(2.11)$$

dimana P merupakan jumlahan sinar *(ray sum).*

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)

Bila disajikan dalam konteks dua dimensi maka persamaan(2.11) menjadi berbentuk ;

$$P = \int_s \mu\,(x,y)\,dx\,dy \qquad ...(2.12)$$

Dengan persamaan (2.12) dapat ditentukan koefisien distribusi serapan linier bahan yang dilalui foton, yang secara langsung menunjukkan karakteristik obyek. Untuk itu diperlukan sejumlah nilai P yang diperoleh dari berbagai sudut dan posisi, sehingga dapat memberikan sumbangan hasil perhitungan koefisien serapan (μ) linier suatu bahan.

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)